Методика решения задач на смеси и сплавы металлов

Задачи на смеси — очень частый вид задач в химии. Они требуют чёткого представления о том, какие из веществ вступают в предлагаемую в задаче реакцию, а какие нет. О смеси мы говорим тогда, когда у нас есть не одно, а несколько веществ (компонентов), «ссыпанных» в одну емкость. Вещества эти не должны взаимодействовать друг с другом.

Необходимые теоретические сведения.

Способы выражения состава смесей.

* **Массовая доля компонента в смеси** — отношение массы компонента к массе всей смеси. Обычно массовую долю выражают в %, но не обязательно.

ω [«омега»] = mкомпонента / mсмеси

* **Мольная доля компонента в смеси** — отношение числа моль (количества вещества) компонента к суммарному числу моль всех веществ в смеси. Например, если в смесь входят вещества А, В и С, то:

χ [«хи»] компонента А = nкомпонента А / (n(A) + n(B) + n(С))

* **Мольное соотношение компонентов.** Иногда в задачах для смеси указывается мольное соотношение её составляющих. Например:

nкомпонента А : nкомпонента В = 2 : 3

* **Объёмная доля компонента в смеси** *(только для газов)* — отношение объёма вещества А к общему объёму всей газовой смеси.

φ [«фи»] = Vкомпонента / Vсмеси

Электрохимический ряд напряжений металлов.

|  |
| --- |
| Li Rb K Ba Sr Ca Na Mg Al Mn Zn Cr Fe Cd Co Ni Sn Pb  H  Sb Bi Cu Hg Ag Pd Pt Au |

Реакции металлов с кислотами.

1. С минеральными кислотами, к которым относятся все растворимые кислоты (**кроме азотной и концентрированной серной**, взаимодействие которых с металлами происходит по-особому), реагируют **только металлы**, в электрохимическом ряду напряжений находящиеся **до (левее) водорода**.
2. При этом металлы, имеющие несколько степеней окисления (железо, хром, марганец, кобальт), проявляют минимальную из возможных степень окисления — обычно это +2.
3. Взаимодействие металлов с **азотной кислотой** приводит к образованию, вместо водорода, продуктов восстановления азота, а с **серной концентрированной кислотой** — к выделению продуктов восстановления серы. Так как реально образуется смесь продуктов восстановления, часто в задаче есть прямое указание на конкретное вещество.

Продукты восстановления азотной кислоты.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Чем активнее металл и чем меньше концентрация кислоты, тем дальше восстанавливается азот | | | | |
| **NO2** | **NO** | **N2O** | **N2** | **NH4NO3** |
| Неактивные металлы (правее железа) + конц. кислота Неметаллы + конц. кислота | Неактивные металлы (правее железа) + разб. кислота | Активные металлы (щелочные, щелочноземельные, цинк) + конц. кислота | Активные металлы (щелочные, щелочноземельные, цинк) + кислота среднего разбавления | Активные металлы (щелочные, щелочноземельные, цинк) + очень разб. кислота |
| **Пассивация:** с холодной концентрированной азотной кислотой не реагируют: Al, Cr, Fe, Be, Co. | | | | |
| **Не реагируют** с азотной кислотой **ни при какой концентрации**: Au, Pt, Pd. | | | | |

Продукты восстановления серной кислоты.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **SO2** | **S** | **H2S** | **H2** |
| Неактивные металлы (правее железа) + конц. кислота Неметаллы + конц. кислота | Щелочноземельные металлы + конц. кислота | Щелочные металлы и цинк + концентрированная кислота. | Разбавленная серная кислота ведет себя как обычная минеральная кислота (например, соляная) |
| **Пассивация:** с холодной концентрированной серной кислотой не реагируют: Al, Cr, Fe, Be, Co. | | | |
| **Не реагируют** с серной кислотой **ни при какой концентрации**: Au, Pt, Pd. | | | |

Реакции металлов с водой и со щелочами.

1. В воде при комнатной температуре растворяются **только** металлы, которым соответствуют растворимые основания (щелочи). Это щелочные металлы (Li, Na, K, Rb, Cs), а также металлы IIA группы: Са, Sr, Ba. При этом образуется щелочь и водород. При кипячении в воде также можно растворить магний.
2. В щелочи могут раствориться только амфотерные металлы: алюминий, цинк и олово. При этом образуются гидроксокомплексы и выделяется водород.

Примеры решения задач.

Рассмотрим три примера задач, в которых смеси металлов реагируют с *соляной* кислотой:

**Пример 1.** *При действии на смесь меди и железа массой 20 г избытком соляной кислоты выделилось 5,6 л газа (н.у.). Определить массовые доли металлов в смеси.*

В первом примере медь не реагирует с соляной кислотой, то есть водород выделяется при реакции кислоты с железом. Таким образом, зная объём водорода, мы сразу сможем найти количество и массу железа. И, соответственно, массовые доли веществ в смеси.

Решение примера 1.

1. Находим количество водорода:  
   n = V / Vm = 5,6 / 22,4 = 0,25 моль.
2. По уравнению реакции:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 0,25 |  | 0,25 |
| Fe + | 2HCl = FeCl2 + | H2 |
| 1 моль |  | 1 моль |

1. Количество железа тоже 0,25 моль. Можно найти его массу:  
   mFe = 0,25 • 56 = 14 г.
2. Теперь можно рассчитать массовые доли металлов в смеси:  
   ωFe = mFe/mвсей смеси = 14 / 20 = 0,7 = 70%

Ответ: 70% железа, 30% меди.

**Пример 2.** *При действии на смесь алюминия и железа массой 11 г избытком соляной кислоты выделилось 8,96 л газа (н.у.). Определить массовые доли металлов в смеси.*

Во втором примере в реакцию вступают **оба** металла. Здесь уже водород из кислоты выделяется в обеих реакциях. Поэтому прямым расчётом здесь нельзя воспользоваться. В таких случаях удобно решать с помощью очень простой системы уравнений, приняв за х — число моль одного из металлов, а за у — количество вещества второго.

Решение примера 2.

1. Находим количество водорода:  
   n = V / Vm = 8,96 / 22,4 = 0,4 моль.
2. Пусть количество алюминия — х моль, а железа у моль. Тогда можно выразить через х и у количество выделившегося водорода:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| x |  | 1,5x (мольное соотношение Al:Н2 = 2:3) |
| 2Al | + 6HCl = 2AlCl3 + | 3H2 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| y |  | y |
| Fe | + 2HCl = FeCl2 + | H2 |

1. Нам известно общее количество водорода: 0,4 моль. Значит,  
   1,5х + у = 0,4 (это первое уравнение в системе).
2. Для смеси металлов нужно выразить **массы** через количества веществ.  
   m = M • n  
   Значит, масса алюминия  
   mAl = 27x,  
   масса железа  
   mFe = 56у,  
   а масса всей смеси  
   27х + 56у = 11 (это второе уравнение в системе).
3. Итак, мы имеем систему из двух уравнений:

|  |  |
| --- | --- |
| { | 1,5x + y = 0,4 |
| 27x + 56y = 11 |

1. Решать такие системы гораздо удобнее методом вычитания, домножив первое уравнение на 18:  
   27х + 18у = 7,2  
   и вычитая первое уравнение из второго:
2. (56 − 18)у = 11 − 7,2  
   у = 3,8 / 38 = 0,1 моль (Fe)  
   х = 0,2 моль (Al)
3. Дальше находим массы металлов и их массовые доли в смеси:

mFe = n • M = 0,1 • 56 = 5,6 г  
mAl = 0,2 • 27 = 5,4 г  
ωFe = mFe / mсмеси = 5,6 / 11 = 0,50909 (50,91%),

соответственно,  
ωAl = 100% − 50,91% = 49,09%

Ответ: 50,91% железа, 49,09% алюминия.

**Пример 3.** *16 г смеси цинка, алюминия и меди обработали избытком раствора соляной кислоты. При этом выделилось 5,6 л газа (н.у.) и не растворилось 5 г вещества. Определить массовые доли металлов в смеси.*

В третьем примере два металла реагируют, а третий металл (медь) не вступает в реакцию. Поэтому остаток 5 г — это масса меди. Количества остальных двух металлов — цинка и алюминия (учтите, что их общая масса 16 − 5 = 11 г) можно найти с помощью системы уравнений, как в примере №2.

Ответ к Примеру 3: 56,25% цинка, 12,5% алюминия, 31,25% меди.

Следующие три примера задач (№4, 5, 6) содержат реакции металлов с азотной и серной кислотами. Главное в таких задачах — правильно определить, какой металл будет растворяться в ней, а какой не будет.

**Пример 4.** *На смесь железа, алюминия и меди подействовали избытком холодной концентрированной серной кислоты. При этом часть смеси растворилась, и выделилось 5,6 л газа (н.у.). Оставшуюся смесь обработали избытком раствора едкого натра. Выделилось 3,36 л газа и осталось 3 г не растворившегося остатка. Определить массу и состав исходной смеси металлов.*

В этом примере надо помнить, что **холодная концентрированная** серная кислота не реагирует с железом и алюминием (пассивация), но реагирует с медью. При этом выделяется оксид серы (IV).  
**Со щелочью** реагирует **только алюминий** — амфотерный металл (кроме алюминия, в щелочах растворяются ещё цинк и олово, в горячей концентрированной щелочи — ещё можно растворить бериллий).

Решение примера 4.

1. С концентрированной серной кислотой реагирует только медь, число моль газа:  
   nSO2 = V / Vm = 5,6 / 22,4 = 0,25 моль

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 0,25 |  | 0,25 |
| Cu + | 2H2SO4 (конц.) = CuSO4 + | SO2 + 2H2O |

1. (не забудьте, что такие реакции надо обязательно уравнивать с помощью электронного баланса)
2. Так как мольное соотношение меди и сернистого газа 1:1, то меди тоже 0,25 моль. Можно найти массу меди:  
   mCu = n • M = 0,25 • 64 = 16 г.
3. В реакцию с раствором щелочи вступает алюминий, при этом образуется гидроксокомплекс алюминия и водород:  
   2Al + 2NaOH + 6H2O = 2Na[Al(OH)4] + 3H2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Al0 − 3e = Al3+ | | | 2 |
| 2H+ + 2e = H2 | 3 |

1. Число моль водорода:  
   nH2 = 3,36 / 22,4 = 0,15 моль,  
   мольное соотношение алюминия и водорода 2:3 и, следовательно,  
   nAl = 0,15 / 1,5 = 0,1 моль.  
   Масса алюминия:  
   mAl = n • M = 0,1 • 27= 2,7 г
2. Остаток — это железо, массой 3 г. Можно найти массу смеси:  
   mсмеси = 16 + 2,7 + 3 = 21,7 г.
3. Массовые доли металлов:

ωCu = mCu / mсмеси = 16 / 21,7 = 0,7373 (73,73%)  
ωAl = 2,7 / 21,7 = 0,1244 (12,44%)  
ωFe = 13,83%

Ответ: 73,73% меди, 12,44% алюминия, 13,83% железа.

**Пример 5.** *21,1 г смеси цинка и алюминия растворили в 565 мл раствора азотной кислоты, содержащего 20 мас. % НNО3 и имеющего плотность 1,115 г/мл. Объем выделившегося газа, являющегося простым веществом и единственным продуктом восстановления азотной кислоты, составил 2,912 л (н.у.). Определите состав полученного раствора в массовых процентах. (РХТУ)*

В тексте этой задачи чётко указан продукт восстановления азота — «простое вещество». Так как азотная кислота с металлами не даёт водорода, то это — азот. Оба металла растворились в кислоте.  
В задаче спрашивается не состав исходной смеси металлов, а состав получившегося после реакций раствора. Это делает задачу более сложной.

Решение примера 5.

1. Определяем количество вещества газа:  
   nN2 = V / Vm = 2,912 / 22,4 = 0,13 моль.
2. Определяем массу раствора азотной кислоты, массу и количество вещества растворенной HNO3:

mраствора = ρ • V = 1,115 • 565 = 630,3 г  
mHNO3 = ω • mраствора = 0,2 • 630,3 = 126,06 г  
nHNO3 = m / M = 126,06 / 63 = 2 моль

Обратите внимание, что так как металлы полностью растворились, значит — **кислоты точно хватило** (с водой эти металлы не реагируют). Соответственно, надо будет проверить, **не оказалась ли кислота в избытке**, и сколько ее осталось после реакции в полученном растворе.

1. Составляем уравнения реакций (**не забудьте про электронный баланс**) и, для удобства расчетов, принимаем за 5х — количество цинка, а за 10у — количество алюминия. Тогда, в соответствии с коэффициентами в уравнениях, азота в первой реакции получится х моль, а во второй — 3у моль:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 5x |  | | x |  |
| 5Zn | + 12HNO3 = 5Zn(NO3)2 + | | N2 | + 6H2O |
| Zn0 − 2e = Zn2+ | | | 5 |
| 2N+5 + 10e = N2 | 1 |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 10y |  | | 3y |  |
| 10Al | + 36HNO3 = 10Al(NO3)3 + | | 3N2 | + 18H2O |
| Al0 − 3e = Al3+ | | | 10 |
| 2N+5 + 10e = N2 | 3 |

1. Тогда, учитывая, что масса смеси металлов 21,1 г, их молярные массы — 65 г/моль у цинка и 27 г/моль у алюминия, получим следующую систему уравнений:

|  |  |
| --- | --- |
| { | х + 3у = 0,13 (количество азота) |
| 65 • 5х + 27 • 10у = 21,1 (масса смеси двух металлов) |

1. Решать эту систему удобно, домножив первое уравнение на 90 и вычитая первое уравнение их второго.
2. х = 0,04, значит, nZn = 0,04 • 5 = 0,2 моль  
   у = 0,03, значит, nAl = 0,03 • 10 = 0,3 моль
3. Проверим массу смеси:  
   0,2 • 65 + 0,3 • 27 = 21,1 г.
4. Теперь переходим к составу раствора. Удобно будет переписать реакции ещё раз и записать над реакциями количества всех прореагировавших и образовавшихся веществ (кроме воды):

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 0,2 | 0,48 | 0,2 | 0,03 |  |
| 5Zn | + 12HNO3 = | 5Zn(NO3)2 | + N2 + | 6H2O |
| 0,3 | 1,08 | 0,3 | 0,09 |  |
| 10Al | + 36HNO3 = | 10Al(NO3)3 | + 3N2 + | 18H2O |

1. Следующий вопрос: осталась ли в растворе азотная кислота и сколько её осталось?  
   По уравнениям реакций, количество кислоты, вступившей в реакцию:  
   nHNO3 = 0,48 + 1,08 = 1,56 моль,  
   т.е. кислота была в избытке и можно вычислить её остаток в растворе:  
   nHNO3ост. = 2 − 1,56 = 0,44 моль.
2. Итак, в **итоговом растворе** содержатся:

нитрат цинка в количестве 0,2 моль:  
mZn(NO3)2 = n • M = 0,2 • 189 = 37,8 г  
нитрат алюминия в количестве 0,3 моль:  
mAl(NO3)3 = n • M = 0,3 • 213 = 63,9 г  
избыток азотной кислоты в количестве 0,44 моль:  
mHNO3ост. = n • M = 0,44 • 63 = 27,72 г

1. Какова масса итогового раствора?  
   Вспомним, что масса итогового раствора складывается из тех компонентов, которые мы смешивали (растворы и вещества) минус те продукты реакции, которые ушли из раствора (осадки и газы):

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Масса нового раствора | = | Сумма масс смешиваемых растворов и/или веществ | - | Масса осадков | - | Масса газов |

1. Тогда для нашей задачи:
2. mнов. раствора = масса раствора кислоты + масса сплава металлов — масса азота  
   mN2 = n • M = 28 • (0,03 + 0,09) = 3,36 г  
   mнов. раствора = 630,3 + 21,1 − 3,36 = 648,04 г
3. Теперь можно рассчитать массовые доли веществ в получившемся растворе:

ωZn(NO3)2 = mв-ва / mр-ра = 37,8 / 648,04 = 0,0583  
ωAl(NO3)3 = mв-ва / mр-ра = 63,9 / 648,04 = 0,0986  
ωHNO3ост. = mв-ва / mр-ра = 27,72 / 648,04 = 0,0428

Ответ: 5,83% нитрата цинка, 9,86% нитрата алюминия, 4,28% азотной кислоты.

**Пример 6.** *При обработке 17,4 г смеси меди, железа и алюминия избытком концентрированной азотной кислоты выделилось 4,48 л газа (н.у.), а при действии на эту смесь такой же массы избытка хлороводородной кислоты — 8,96 л газа (н.у.). Определите состав исходной смеси. (РХТУ)*

При решении этой задачи надо вспомнить, во-первых, что концентрированная азотная кислота с неактивным металлом (медь) даёт NO2, а железо и алюминий с ней не реагируют. Соляная кислота, напротив, не реагирует с медью.

Ответ к примеру 6: 36,8% меди, 32,2% железа, 31% алюминия.

Задачи для самостоятельного решения.

1. Несложные задачи с двумя компонентами смеси.

**1-1.** Смесь меди и алюминия массой 20 г обработали 96 %-ным раствором азотной кислоты, при этом выделилось 8,96 л газа (н. у.). Определить массовую долю алюминия в смеси.

**1-2.** Смесь меди и цинка массой 10 г обработали концентрированным раствором щелочи. При этом выделилось 2,24 л газа (н.y.). Вычислите массовую долю цинка в исходной смеси.

**1-3.** Смесь магния и оксида магния массой 6,4 г обработали достаточным количеством разбавленной серной кислоты. При этом выделилось 2,24 л газа (н.у.). Найти массовую долю магния в смеси.

**1-4.** Смесь цинка и оксида цинка массой 3,08 г растворили в разбавленной серной кислоте. Получили сульфат цинка массой 6,44 г. Вычислите массовую долю цинка в исходной смеси.

**1-5.** При действии смеси порошков железа и цинка массой 9,3 г на избыток раствора хлорида меди (II) образовалось 9,6 г меди. Определите состав исходной смеси.

**1-6.** Какая масса 20%-ного раствора соляной кислоты потребуется для полного растворения 20 г смеси цинка с оксидом цинка, если при этом выделился водород объемом 4,48 л (н.у.)?

**1-7.** При растворении в разбавленной азотной кислоте 3,04 г смеси железа и меди выделяется оксид азота (II) объемом 0,896 л (н.у.). Определите состав исходной смеси.

**1-8.** При растворении 1,11 г смеси железных и алюминиевых опилок в 16%-ном растворе соляной кислоты (ρ = 1,09 г/мл) выделилось 0,672 л водорода (н.у.). Найдите массовые доли металлов в смеси и определите объем израсходованной соляной кислоты.

2. Задачи более сложные.

**2-1.** Смесь кальция и алюминия массой 18,8 г прокалили без доступа воздуха с избытком порошка графита. Продукт реакции обработали разбавленной соляной кислотой, при этом выделилось 11,2 л газа (н.у.). Определите массовые доли металлов в смеси.

**2-2.** Для растворения 1,26 г сплава магния с алюминием использовано 35 мл 19,6%-ного раствора серной кислоты (ρ = 1,1 г/мл). Избыток кислоты вступил в реакцию с 28,6 мл раствора гидрокарбоната калия с концентрацией 1,4 моль/л. Определите массовые доли металлов в сплаве и объем газа (н.у.), выделившегося при растворения сплава.

**2-3.** При растворении 27,2 г смеси железа и оксида железа (II) в серной кислоте и выпаривании раствора досуха образовалось 111,2 г железного купороса — гептагидрата сульфата железа (II). Определите количественный состав исходной смеси.

**2-4.** При взаимодействии железа массой 28 г с хлором образовалась смесь хлоридов железа (II) и (III) массой 77,7 г. Вычислите массу хлорида железа (III) в полученной смеси.

**2-5.** Чему была равна массовая доля калия в его смеси с литием, если в результате обработки этой смеси избытком хлора образовалась смесь, в которой массовая доля хлорида калия составила 80%?

**2-6.** После обработки избытком брома смеси калия и магния общей массой 10,2 г масса полученной смеси твердых веществ оказалась равной 42,2 г. Эту смесь обработали избытком раствора гидроксида натрия, после чего осадок отделили и прокалили до постоянной массы. Вычислите массу полученного при этом остатка.

**2-7.** Смесь лития и натрия общей массой 7,6 г окислили избытком кислорода, всего было израсходовано 3,92 л (н.у.). Полученную смесь растворили в 80 г 24,5%-го раствора серной кислоты. Вычислите массовые доли веществ в образовавшемся растворе.

**2-8.** Сплав алюминия с серебром обработали избытком концентрированного раствора азотной кислоты, остаток растворили в уксусной кислоте. Объемы газов, выделившихся в обеих реакциях измеренные при одинаковых условиях, оказались равными между собой. Вычислите массовые доли металлов в сплаве.

3. Три металла и сложные задачи.

**3-1.** При обработке 8,2 г смеси меди, железа и алюминия избытком концентрированной азотной кислоты выделилось 2,24 л газа. Такой же объем газа выделяется и при обработке этой же смеси такой же массы избытком разбавленной серной кислоты (н.у.). Определите состав исходной смеси в массовых процентах.

**3-2.** 14,7 г смеси железа, меди и алюминия, взаимодействуя с избытком разбавленной серной кислоты, выделяет 5,6 л водорода (н.у.). Определите состав смеси в массовых процентах, если для хлорирования такой же навески смеси требуется 8,96 л хлора (н.у.).

**3-3.** Железные, цинковые и алюминиевые опилки смешаны в мольном отношении 2:4:3 (в порядке перечисления). 4,53 г такой смеси обработали избытком хлора. Полученную смесь хлоридов растворили в 200 мл воды. Определить концентрации веществ в полученном растворе.

**3-4.** Сплав меди, железа и цинка массой 6 г (массы всех компонентов равны) поместили в 18,25 % раствор соляной кислоты массой 160 г. Рассчитайте массовые доли веществ в получившемся растворе.

**3-5.** 13,8 г смеси, состоящей из кремния, алюминия и железа, обработали при нагревании избытком гидроксида натрия, при этом выделилось 11,2 л газа (н.у.). При действии на такую массу смеси избытка соляной кислоты выделяется 8,96 л газа (н.у.). Определите массы веществ в исходной смеси.

**3-6.** При обработке смеси цинка, меди и железа избытком концентрированного раствора щелочи выделился газ, а масса нерастворившегося остатка оказалась в 2 раза меньше массы исходной смеси. Этот остаток обработали избытком соляной кислоты, объем выделившегося газа при этом оказался равным объему газа, выделившегося в первом случае (объемы измерялись при одинаковых условиях). Вычислите массовые доли металлов в исходной смеси.

**3-7.** Имеется смесь кальция, оксида кальция и карбида кальция с молярным соотношением компонентов 3:2:5 (в порядке перечисления). Какой минимальный объем воды может вступить в химическое взаимодействие с такой смесью массой 55,2 г?

**3-8.** Смесь хрома, цинка и серебра общей массой 7,1 г обработали разбавленной соляной кислотой, масса нерастворившегося остатка оказалась равной 3,2 г. Раствор после отделения осадка обработали бромом в щелочной среде, а по окончании реакции обработали избытком нитрата бария. Масса образовавшегося осадка оказалась равной 12,65 г. Вычислите массовые доли металлов в исходной смеси.

Ответы и комментарии к задачам для самостоятельного решения.

1-1. 36% (алюминий не реагирует с концентрированной азотной кислотой);

1-2. 65% (в щелочи растворяется только амфотерный металл — цинк);

1-3. 37,5%;

1-4. 21,1%;

1-5. 30,1% Fe (железо, вытесняя медь, переходит в степень окисления +2);

1-6. 88,8 г;

1-7. 36,84% Fe (железо в азотной кислоте переходит в +3);

1-8. 75,68% Fe (железо в реакции с соляной кислотой переходит в +2); 12,56 мл раствора HCl.

2-1. 42,55 % Са (кальций и алюминий с графитом (углеродом) образуют карбиды СаС2 и Al4C3; при их гидролизе водой или HCl выделяются, соответственно, ацетилен С2Н2 и метан СН4);

2-2. 74,3 % Mg;

2-3. 61,76% Fe (гептагидрат сульфата железа — FeSO4 • 7H2O);

2-4. 44,7 г;

2-5. 92,7%;

2-6. 4 г;

2-7. 5,9% Li2SO4, 22,9% Na2SO4, 5,47% H2O2 (при окислении кислородом лития образуется его оксид, а при окислении натрия — пероксид Na2O2, который в воде гидролизуется до пероксида водорода и щелочи);

2-8. 14,3 % Al;

3-1. 39% Cu, 3,4% Al;

3-2. 38,1% Fe, 43,5% Cu;

3-3. 1,53% FeCl3, 2,56% ZnCl2, 1,88% AlCl3 (железо в реакции с хлором переходит в степень окисления +3);

3-4. 2,77% FeCl2, 2,565% ZnCl2, 14,86% HCl (не забудьте, что медь не реагирует с соляной кислотой, поэтому её масса не входит в массу нового раствора);

3-5. 2,8 г Si, 5,4 г Al, 5,6 г Fe (кремний — неметалл, он реагирует с раствором щелочи, образуя силикат натрия и водород; с соляной кислотой он не реагирует);

3-6. 6,9% Cu, 43,1% Fe, 50% Zn;

3-7. 32,4 мл;

# 3-8. 45,1% Ag, 36,6% Cr, 18,3% Zn (хром при растворении в соляной кислоте переходит в хлорид хрома (II), который при действии брома в щелочной среде переходит в хромат; при добавлении соли бария образуется нерастворимый хромат бария) Новая версия задачи С2 в ЕГЭ по химии 2012. Особенности и подводные камни

В 2012 году предложена новая форма задания С2 — в виде текста, описывающего последовательность экспериментальных действий, которые нужно превратить в уравнения реакций.  
Трудность такого задания состоит в том, что школьники очень плохо представляют себе экспериментальную, не бумажную химию, не всегда понимают используемые термины и протекающие процессы. Попробуем разобраться.  
Очень часто понятия, которые химику кажутся совершенно ясными, абитуриентами воспринимаются неправильно, не так, как предполагалось. В словаре приведены примеры неправильного понимания.

Словарь непонятных терминов.

1. **Навеска** — это просто некоторая порция вещества определенной массы (её взвесили **на весах**). Она не имеет никакого отношения к навесу над крыльцом.
2. **Прокалить** — нагреть вещество до высокой температуры и греть до окончания химических реакций. Это не «смешивание с калием» и не «прокалывание гвоздём».
3. **«Взорвали смесь газов»** — это значит, что вещества прореагировали со взрывом. Обычно для этого используют электрическую искру. Колба или сосуд при этом **не взрываются**!
4. **Отфильтровать** — отделить осадок от раствора.
5. **Профильтровать** — пропустить раствор через фильтр, чтобы отделить осадок.
6. **Фильтрат** — это профильтрованный **раствор**.
7. **Растворение вещества** — это переход вещества в раствор. Оно может происходить без химических реакций (например, при растворении в воде поваренной соли NaCl получается раствор поваренной же соли NaCl, а не щелочь и кислота отдельно), либо в процессе растворения вещество реагирует с водой и образует раствор другого вещества (при растворении оксида бария получится раствор гидроксида бария). Растворять можно вещества не только в воде, но и в кислотах, в щелочах и т.д.
8. **Выпаривание** — это удаление из раствора воды и летучих веществ без разложения содержащихся в растворе твёрдых веществ.
9. **Упаривание** — это просто уменьшение массы воды в растворе с помощью кипячения.
10. **Сплавление** — это совместное нагревание двух или более твёрдых веществ до температуры, когда начинается их плавление и взаимодействие. С плаванием по реке ничего общего не имеет.
11. **Осадок и остаток.** Очень часто путают эти термины. Хотя это совершенно разные понятия. **«Реакция протекает с выделением осадка»** — это означает, что одно из веществ, получающихся в реакции, малорастворимо. Такие вещества выпадают на дно реакционного сосуда (пробирки или колбы). **«Остаток»** — это вещество, которое **осталось**, не истратилось полностью или вообще не прореагировало. Например, если смесь нескольких металлов обработали кислотой, а один из металлов не прореагировал — его могут назвать **остатком**.
12. **Насыщенный** раствор — это раствор, в котором при данной температуре концентрация вещества максимально возможная и больше уже не растворяется.  
    **Ненасыщенный** раствор — это раствор, концентрация вещества в котором не является максимально возможной, в таком растворе можно дополнительно растворить ещё какое-то количество данного вещества, до тех пор, пока он не станет насыщенным.  
    **Разбавленный** и **«очень» разбавленный** раствор — это весьма условные понятия, скорее качественные, чем количественные. Подразумевается, что концентрация вещества невелика.  
    Для кислот и щелочей также используют термин **«концентрированный»** раствор. Это тоже характеристика условная. Например, концентрированная соляная кислота имеет концентрацию всего около 40%. А концентрированная серная — это безводная, 100%-ная кислота.

Для того, чтобы решать такие задачи, надо чётко знать свойства большинства металлов, неметаллов и их соединений: оксидов, гидроксидов, солей. Необходимо повторить свойства азотной и серной кислот, перманганата и дихромата калия, окислительно-восстановительные свойства различных соединений, электролиз растворов и расплавов различных веществ, реакции разложения соединений разных классов, амфотерность, гидролиз солей и других соединений, взаимный гидролиз двух солей.  
Кроме того, необходимо иметь представление о цвете и агрегатном состоянии большинства изучаемых веществ — металлов, неметаллов, оксидов, солей.  
Именно поэтому мы разбираем этот вид заданий в самом конце изучения общей и неорганической химии. Рассмотрим несколько примеров подобных заданий.

1. **Пример 1:** Продукт взаимодействия лития с азотом обработали водой. Полученный газ пропустили через раствор серной кислоты до прекращения химических реакций. Полученный раствор обработали хлоридом бария. Раствор профильтровали, а фильтрат смешали с раствором нитрита натрия и нагрели.

**Решение:**

1. Литий реагирует с азотом при комнатной температуре, образуя твёрдый нитрид лития:  
   6Li + N2 = 2Li3N
2. При взаимодействии нитридов с водой образуется аммиак:  
   Li3N + 3H2O = 3LiOH + NH3
3. Аммиак реагирует с кислотами, образуя средние и кислые соли. Слова в тексте «до прекращения химических реакций» означают, что образуется средняя соль, ведь первоначально получившаяся кислая соль далее будет взаимодействовать с аммиаком и в итоге в растворе будет сульфат аммония:  
   2NH3 + H2SO4 = (NH4)2SO4
4. Обменная реакция между сульфатом аммония и хлоридом бария протекает с образованием осадка сульфата бария:  
   (NH4)2SO4 + BaCl2 = BaSO4 + 2NH4Cl
5. После удаления осадка фильтрат содержит хлорид аммония, при взаимодействии которого с раствором нитрита натрия выделяется азот, причём эта реакция идёт уже при 85 градусах:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| NH4Cl + NaNO2 | t° | N2 + 2H2O + NaCl |
| → |

1. **Пример 2: Навеску** алюминия растворили в разбавленной азотной кислоте, при этом выделялось газообразное простое вещество. К полученному раствору добавили карбонат натрия до полного прекращения выделения газа. Выпавший **осадок отфильтровали** и **прокалили**, фильтрат **упарили**, полученный твёрдый **остаток сплавили** с хлоридом аммония. Выделившийся газ смешали с аммиаком и нагрели полученную смесь.

**Решение:**

1. Алюминий окисляется азотной кислотой, образуя нитрат алюминия. А вот продукт восстановления азота может быть разным, в зависимости от концентрации кислоты. Но надо помнить, что при взаимодействии азотной кислоты с металлами **не выделяется водород**! Поэтому простым веществом может быть только азот:  
   10Al + 36HNO3 = 10Al(NO3)3 + 3N2 + 18H2O

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Al0 − 3e = Al3+ | | | 10 |
| 2N+5 + 10e = N20 | 3 |

1. Если к раствору нитрата алюминия добавить карбонат натрия, то идёт процесс взаимного гидролиза (карбонат алюминия не существует в водном растворе, поэтому катион алюминия и карбонат-анион взаимодействуют с водой). Образуется осадок гидроксида алюминия и выделяется углекислый газ:  
   2Al(NO3)3 + 3Na2CO3 + 3H2O = 2Al(OH)3↓ + 3CO2↑ + 6NaNO3
2. Осадок — гидроксид алюминия, при нагревании разлагается на оксид и воду:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 2Al(OH)3 | t° | Al2O3 + 3H2O |
| → |

1. В растворе остался нитрат натрия. При его сплавлении с солями аммония идёт окислительно-восстановительная реакция и выделяется оксид азота (I) (такой же процесс происходит при прокаливании нитрата аммония):  
   NaNO3 + NH4Cl = N2O + 2H2O + NaCl
2. Оксид азота (I) — является активным окислителем, реагирует с восстановителями, образуя азот:  
   3N2O + 2NH3 = 4N2 + 3H2O
3. **Пример 3:** Оксид алюминия сплавили с карбонатом натрия, полученное твёрдое вещество растворили в воде. Через полученный раствор пропускали сернистый газ до полного прекращения взаимодействия. Выпавший осадок отфильтровали, а к профильтрованному раствору прибавили бромную воду. Полученный раствор нейтрализовали гидроксидом натрия.

**Решение:**

1. Оксид алюминия — амфотерный оксид, при сплавлении со щелочами или карбонатами щелочных металлов образует алюминаты:  
   Al2O3 + Na2CO3 = 2NaAlO2 + CO2
2. Алюминат натрия при растворении в воде образует гидроксокомплекс:  
   NaAlO2 + 2H2O = Na[Al(OH)4]
3. Растворы гидроксокомплексов реагируют с кислотами и кислотными оксидами в растворе, образуя соли. Однако, сульфит алюминия в водном растворе не существует, поэтому будет выпадать осадок гидроксида алюминия. Обратите внимание, что в реакции получится кислая соль — гидросульфит калия:  
   Na[Al(OH)4] + SO2 = NaHSO3 + Al(OH)3
4. Гидросульфит калия является восстановителем и окисляется бромной водой до гидросульфата:  
   NaHSO3 + Br2 + H2O = NaHSO4 + 2HBr
5. Полученный раствор содержит гидросульфат калия и бромоводородную кислоту. При добавлении щелочи нужно учесть взаимодействие с ней обоих веществ:

NaHSO4 + NaOH = Na2SO4 + H2O  
HBr + NaOH = NaBr + H2O

1. **Пример 4:** Сульфид цинка обработали раствором соляной кислоты, полученный газ пропустили через избыток раствора гидроксида натрия, затем добавили раствор хлорида железа (II). Полученный осадок подвергли обжигу. Полученный газ смешали с кислородом и пропустили над катализатором.

**Решение:**

1. Сульфид цинка реагирует с соляной кислотой, при этом выделяется газ — сероводород:  
   ZnS + HCl = ZnCl2 + H2S
2. Сероводород — в водном растворе реагирует со щелочами, образуя кислые и средние соли. Поскольку в задании говорится про избыток гидроксида натрия, следовательно, образуется средняя соль — сульфид натрия:  
   H2S + NaOH = Na2S + H2O
3. Сульфид натрия реагирует с хлоридом двухвалентного железа, образуется осадок сульфида железа (II):  
   Na2S + FeCl2 = FeS + NaCl
4. Обжиг — это взаимодействие твёрдых веществ с кислородом при высокой температуре. При обжиге сульфидов выделяется сернистый газ и образуется оксид железа (III):  
   FeS + O2 = Fe2O3 + SO2
5. Сернистый газ реагирует с кислородом в присутствии катализатора, образуя серный ангидрид:  
   SO2 + O2 = SO3
6. **Пример 5:** Оксид кремния прокалили с большим избытком магния. Полученную смесь веществ обработали водой. При этом выделился газ, который сожгли в кислороде. Твёрдый продукт сжигания растворили в концентрированном растворе гидроксида цезия. К полученному раствору добавили соляную кислоту.

**Решение:**

1. При восстановлении оксида кремния магнием образуется кремний, который реагирует с избытком магния. При этом получается силицид магния:

SiO2 + Mg = MgO + Si  
Si + Mg = Mg2Si

Можно записать при большом избытке магния суммарное уравнение реакции:  
SiO2 + Mg = MgO + Mg2Si

1. При растворении в воде полученной смеси растворяется силицид магния, образуется гидроксид магния и силан (окисд магния реагирует с водой только при кипячении):  
   Mg2Si + H2O = Mg(OH)2 + SiH4
2. Силан при сгорании образует оксид кремния:  
   SiH4 + O2 = SiO2 + H2O
3. Оксид кремния — кислотный оксид, он реагирует со щелочами, образуя силикаты:  
   SiO2 + CsOH = Cs2SiO3 + H2O
4. При действии на растворы силикатов кислот, более сильных, чем кремниевая, она выделяется в виде осадка:  
   Cs2SiO3 + HCl = CsCl + H2SiO3

Задания для самостоятельной работы.

1. Нитрат меди прокалили, полученный твёрдый осадок растворили в серной кислоте. Через раствор пропустили сероводород, полученный чёрный осадок подвергли обжигу, а твёрдый остаток растворили при нагревании в концентрированной азотной кислоте.
2. Фосфат кальция сплавили с углём и песком, затем полученное простое вещество сожгли в избытке кислорода, продукт сжигания растворили в избытке едкого натра. К полученному раствору прилили раствор хлорида бария. Полученный осадок обработали избытком фосфорной кислоты.
3. Медь растворили в концентрированной азотной кислоте, полученный газ смешали с кислородом и растворили в воде. В полученном растворе растворили оксид цинка, затем к раствору прибавили большой избыток раствора гидроксида натрия.
4. На сухой хлорид натрия подействовали концентрированной серной кислотой при слабом нагревании, образующийся газ пропустили в раствор гидроксида бария. К полученному раствору прилили раствор сульфата калия. Полученный осадок сплавили с углем. Полученное вещество обработали соляной кислотой.
5. Навеску сульфида алюминия обработали соляной кислотой. При этом выделился газ и образовался бесцветный раствор. К полученному раствору добавили раствор аммиака, а газ пропустили через раствор нитрата свинца. Полученный при этом осадок обработали раствором пероксида водорода.
6. Порошок алюминия смешали с порошком серы, смесь нагрели, полученное вещество обработали водой, при этом выделился газ и образовался осадок, к которому добавили избыток раствора гидроксида калия до полного растворения. Этот раствор выпарили и прокалили. К полученному твёрдому веществу добавили избыток раствора соляной кислоты.
7. Раствор иодида калия обработали раствором хлора. Полученный осадок обработали раствором сульфита натрия. К полученному раствору прибавили сначала раствор хлорида бария, а после отделения осадка — добавили раствор нитрата серебра.
8. Серо-зелёный порошок оксида хрома (III) сплавили с избытком щёлочи, полученное вещество растворили в воде, при этом получился тёмно-зелёный раствор. К полученному щелочному раствору прибавили пероксид водорода. Получился раствор желтого цвета, который при добавлении серной кислоты приобретает оранжевый цвет. При пропускании сероводорода через полученный подкисленный оранжевый раствор он мутнеет и вновь становится зелёным.
9. (МИОО 2011, тренинговая работа) Алюминий растворили в концентрированном растворе гидроксида калия. Через полученный раствор пропускали углекислый газ до прекращения выделения осадка. Осадок отфильтровали и прокалили. Полученный твердый остаток сплавили с карбонатом натрия.
10. (МИОО 2011, тренинговая работа) Кремний растворили в концентрированном растворе гидроксида калия. К полученному раствору добавили избыток соляной кислоты. Помутневший раствор нагрели. Выделившийся осадок отфильтровали и прокалили с карбонатом кальция. Напишите уравнения описанных реакций.

Ответы к заданиям для самостоятельного решения:

1. **Cu(NO3)2 → CuO → CuSO4 → CuS →СuO → Cu(NO3)2**

2Cu(NO3)2 = 2CuO + 4NO2 + O2  
CuO + H2SO4 = CuSO4 + H2O  
CuSO4 + H2S = CuS + H2SO4  
2CuS + 3O2 = 2CuO + 2SO2  
CuO + 2HNO3 = Cu(NO3)2 + H2O

1. **Ca3(PO4)2 → P → P2O5 →Na3PO4 → Ba3(PO4)2 → BaHPO4 или Ba(H2PO4)2**

Ca3(PO4)2 + 5C + 3SiO2 = 3CaSiO3 + 2P + 5CO  
4P + 5O2 = 2P2O5  
P2O5 + 6NaOH = 2Na3PO4 + 3H2O  
2Na3PO4 + 3BaCl2 = Ba3(PO4)2 + 6NaCl  
Ba3(PO4)2 + 4H3PO4 = 3Ba(H2PO4)2

1. **Cu → NO2 → HNO3 → Zn(NO3)2 → Na2[Zn(OH)4]**

Cu + 4HNO3 = Cu(NO3)2 + 2NO2 + 2H2O  
4NO2 + O2 + 2H2O = 4HNO3  
ZnO + 2HNO3 = Zn(NO3)2 + H2O  
Zn(NO3)2 + 4NaOH = Na2[Zn(OH)4] + 2NaNO3

1. **NaCl → HCl →BaCl2 → BaSO4 → BaS → H2S**

2NaCl + H2SO4 = 2HCl + Na2SO4  
2HCl + Ba(OH)2 = BaCl2 + 2H2O  
BaCl2 + K2SO4 = BaSO4 + 2KCl  
BaSO4 + 4C = BaS + 4CO  
BaS + 2HCl = BaCl2 + H2S

|  |  |
| --- | --- |
| **Al2S3** | **→ H2S → PbS →PbSO4** |
| **↓** |  |
| **AlCl3** | **→ Al(OH)3** |

1. Al2S3 + 6HCl = 3H2S + 2AlCl3  
   AlCl3 + 3NH3 + 3H2O = Al(OH)3 + 3NH4Cl  
   H2S + Pb(NO3)2 = PbS + 2HNO3  
   PbS + 4H2O2 = PbSO4 + 4H2O
2. **Al → Al2S3 → Al(OH)3 →K[Al(OH)4] → KAlO2 →AlCl3**

2Al + 3S = Al2S3  
Al2S3 + 6H2O = 3H2S + 2Al(OH)3  
Al(OH)3 + KOH = K[Al(OH)4]   
K[Al(OH)4] = KAlO2 + 2H2O  
KAlO2 + 4HCl = KCl + AlCl3 + 2H2O

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **KI →** | **I2** | **→ HI → AgI** |
|  | **↓** |  |
|  | **Na2SO4 → BaSO4** | |

1. 2KI + Cl2 = 2KCl + I2  
   I2 + Na2SO3 + H2O = 2HI + Na2SO4  
   BaCl2 + Na2SO4 = BaSO4 + 2NaCl  
   HI + AgNO3 = AgI + HNO3
2. **Cr2O3 → KCrO2 → K[Cr(OH)4] →K2CrO4 →K2Cr2O7 → Cr2(SO4)3**

Cr2O3 + 2KOH = 2KCrO2 + H2O  
2KCrO2 + 3H2O2 + 2KOH = 2K2CrO4 + 4H2O  
2K2CrO4 + H2SO4 = K2Cr2O7 + K2SO4 + H2O  
K2Cr2O7 + 3H2S + 4H2SO4 = 3S + Cr2(SO4)3 + K2SO4 + 7H2O

1. **Al → K[Al(OH)4] → Al(OH)3 → Al2O3 → NaAlO2**

2Al + 2KOH + 6H2O = 2K[Al(OH)4] + 3H2  
K[Al(OH)4] + CO2 = KHCO3 + Al(OH)3

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 2Al(OH)3 | t° | Al2O3 + 3H2O |
| → |

Al2O3 + Na2CO3 = 2NaAlO2 + CO2

1. **Si → K2SiO3 → H2SiO3 → SiO2 → CaSiO3**

Si + 2KOH + H2O = K2SiO3 + 2H2  
K2SiO3 + 2HCl = H2SiO3 + 2KCl

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| H2SiO3 | t° | H2O + SiO2 |
| → |

SiO2 + CaCO3 = CaSiO3 + CO2