

## РЕШЕНИЯ

### 9 класс

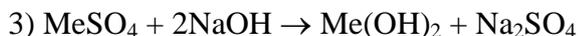
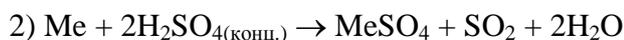
#### Задание 1

На 17,6 г смеси двух металлов, которые могут проявлять в соединениях степень окисления +2, действовали раствором серной кислоты. При этом выделился водород объемом 4,48 л (н.у.). При действии на это же количество смеси концентрированной серной кислоты выделился сернистый газ объемом 2,24 л (н.у.). Если к последнему раствору добавить разбавленный раствор гидроксида натрия, то выпадет осадок, массой 9,8 г.

Определите, какие металлы входили в состав смеси и каковы их массовые доли.

#### Решение

1. Уравнения реакций:



$$2. \nu(\text{H}_2) = 4,48/22,4 = 0,2 \text{ моль}$$

$$\nu(\text{SO}_2) = 2,24/22,4 = 0,1 \text{ моль}$$

Поскольку выделяется разное количество газов, причем в реакции с разбавленной серной кислотой больше, чем в реакции с концентрированной, то можно сделать вывод о том, что либо оба металла взаимодействуют с разбавленной кислотой и только один с концентрированной, либо один металл взаимодействует с разбавленной, а другой с концентрированной.

В обоих случаях во втором растворе будет содержаться соль только одного металла количеством вещества 0,1 моль ( $\nu(\text{MeSO}_4) = \nu(\text{SO}_2)$ ).

3. Рассчитаем количество гидроксида, образовавшегося при добавлении раствора соли к раствору щелочи (уравнение 3).

$$\nu(\text{Me(OH)}_2) = \nu(\text{MeSO}_4) = 0,1 \text{ моль}, \quad m(\text{Me(OH)}_2) = 9,8 \text{ г}, \Rightarrow \\ M(\text{Me(OH)}_2) = 9,8/0,1 = 98 \text{ (г/моль)} = M(\text{Me}) + 34, \Rightarrow \text{Me} = 98 - 34 = 64, \Rightarrow \text{это Cu (медь)}.$$

$$4. \nu(\text{Cu}) = \nu(\text{SO}_2) = 0,1 \text{ моль}, \quad m(\text{Cu}) = 6,4 \text{ г}, \Rightarrow \\ m(\text{второго металла}) = 17,6 - 6,4 = 11,2 \text{ г}$$

Медь не реагирует с разбавленной серной кислотой,  $\Rightarrow \nu(\text{Me}_2) = \nu(\text{H}_2) = 0,2 \text{ моль}$

$M(\text{Me}_2) = 11,2/0,2 = 56 \text{ (г/моль)}$ ,  $\Rightarrow \text{Fe}$  (железо не реагирует при н.у. с концентрированной серной кислотой).

$$5. \omega(\text{Cu}) = 6,4/17,6 = 0,364 \text{ (36,4\%)}$$

$$\omega(\text{Fe}) = 11,2/17,6 = 0,636 \text{ (63,6\%)}$$

#### Критерии оценивания

1. Каждое уравнение	по 1 баллу	3 балла
2. Найдены количества газов		2 балла
Сделан вывод о вариантах взаимодействия металлов с серной кислотой		3 балла
3. Определена медь		5 баллов
4. Определено железо		5 баллов
5. Рассчитаны массовые доли металлов в смеси		2 балла
ИТОГО		20 баллов

## Задание 2

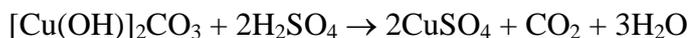
Смесь малахита и медной пыли растворили в 80 мл 20%-ной серной кислоты (плотность 1,14 г/мл, кислота взята в избытке). При этом выделилось 0,8 л газа (н.у.).

Во втором эксперименте такое же количество исходной смеси прокалили на воздухе и после охлаждения растворили так же как и в первом случае. Оба полученных раствора охладили до 0°C. Во втором растворе выпало 11,4 г медного купороса. Растворимость сульфата меди составляет 12,9 г на 100 г воды при 0°C.

- 1) Напишите уравнения реакций, определите массу и состав исходной смеси ( $\omega$ , %).
- 2) Определите массу медного купороса, выпавшего при охлаждении первого раствора.
- 3) Изменится ли количество медного купороса во втором опыте, если прокаливание смеси проводить в атмосфере инертного газа? Ответ поясните.

## Решение

В первом варианте малахит растворяется в серной кислоте:



Объем раствора серной кислоты:  $V_{\text{р-ра}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = 80 \cdot 1,14 = 91,2$  г

$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 91,2 \cdot 0,2 = 18,2$  г

$m(\text{H}_2\text{O}) = 91,2 - 18,2 = 73$  г

$v(\text{CO}_2) = 0,8/22,4 = 0,0357$  моль,  $\Rightarrow v([\text{Cu}(\text{OH})_2\text{CO}_3]) = 0,0357$  моль,

$m([\text{Cu}(\text{OH})_2\text{CO}_3]) = 0,0357 \cdot 222 = 7,93$  г

$v(\text{CuSO}_4) = 0,0357 \cdot 2 = 0,0714$  моль

$m(\text{CuSO}_4) = 11,42$  г

$v(\text{H}_2\text{O}) = 0,0357 \cdot 3 = 0,11$  моль

$m(\text{H}_2\text{O}) = 1,93$  г

$m(\text{H}_2\text{O})$  в растворе =  $73 + 1,93 = 74,93$  г

При охлаждении раствора до 0 °C весь  $\text{CuSO}_4$  станет кристаллогидратом  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .  $v(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = v(\text{CuSO}_4) = 0,0714$  моль.

$m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 0,0714 \cdot 250 = 17,85$  г.

При этом  $m(\text{H}_2\text{O})$ , пошедшей на образование кристаллогидрата, составит  $0,0714 \cdot 5 \cdot 18 = 6,43$  г. А масса оставшейся свободной воды в растворе  $74,93 - 6,43 = 68,5$  г

По условию сказано, что растворимость  $\text{CuSO}_4$  при данных условиях составляет 12,9 г на 100 г воды. Пересчитаем это на кристаллогидрат.

$m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 12,9/160 \cdot 250 = 20,16$  г

При этом при образовании кристаллогидрата из раствора уйдет вода:

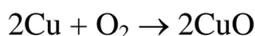
$m(\text{H}_2\text{O})$  связанной =  $12,9/160 \cdot 5 \cdot 18 = 7,26$  г

$m(\text{H}_2\text{O})$  свободной =  $100 - 7,26 = 92,74$  г.

Тогда 20,16 г  $(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})$  растворяется в 92,74 г  $\text{H}_2\text{O}$ , а в 68,5 г свободной воды растворится  $x$  г кристаллогидрата.  $X = 14,89$  г.

Масса выпавшего в осадок  $(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})$  составит  $17,85 - 14,89 = 2,96$  г

При прокаливании смеси на воздухе (второй вариант) медь окисляется до оксида меди (II), а малахит разлагается:



$v(\text{CuO})$  из малахита =  $2 \cdot 0,0357 = 0,0714$  моль

$v(\text{CuO})$  из медных стружек =  $v(\text{Cu}) = x$  моль

$v(\text{CuSO}_4) = (0,0714 + x)$  моль =  $v(\text{H}_2\text{O})$ , получившейся в реакции

$v(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = (0,0714 + x)$  моль

$m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = (0,0714 + x) \cdot 250 = (17,85 + 250x)$  г

$m(\text{H}_2\text{O})$  в растворе =  $73 + (0,0714 + x) \cdot 18 = 73 + 1,285 + 18x = 74,285 + 18x$

$m(\text{H}_2\text{O})$ , связанной в кристаллогидрат =  $(0,0714 + x) \cdot 5 \cdot 18 = 6,426 + 90x$

$m(\text{H}_2\text{O})$ , оставшейся в растворе =  $74,285 + 18x - 6,426 - 90x = 67,859 - 72x$

Тогда, в 92,74 г  $\text{H}_2\text{O}$  растворяется 20,16 г кристаллогидрата

67,859 г  $\text{H}_2\text{O}$  - у г кристаллогидрата

$$y = \frac{20,16 \cdot (67,859 - 72x)}{92,74} = 14,751 - 15,56x$$

По условию, из раствора в этом случае выпадает 11,4 г кристаллогидрата, =>

$(17,85 + 250x) - (14,751 - 15,56x) = 11,4$

$x = 0,03$  моль

$m(\text{Cu}) = 0,03 \cdot 64 = 2$  г

$m$  исх. смеси =  $7,93 + 2 = 9,93$  г

$\omega(\text{Cu}) = 2/9,93 = 0,202$  (20,2%)

$\omega([\text{Cu}(\text{OH})_2\text{CO}_3]) = 79,8\%$

При прокаливании смеси в атмосфере инертного газа будут протекать реакции:



Медь в недостатке, реагирует полностью, поэтому  $v(\text{Cu}_2\text{O}) = 0,03$  моль,

$v(\text{CuO})$  оставшегося =  $0,0714 - 0,03 = 0,0414$  моль

$v(\text{CuSO}_4) = 0,0414$  моль

$m(\text{CuSO}_4) = 6,624$  г. Это вполнину меньше растворимости, поэтому осадка образовываться не будет.

### Критерии оценивания:

1) 5 уравнений по 1 баллу	-	5 баллов
2) расчет массы малахита	-	1 балл
3) расчет массы воды в растворе после реакции	-	1 балл
4) расчет массы кристаллогидрата в осадке в 1 случае	-	5 баллов
5) расчет массовой доли меди в исходной смеси	-	6 баллов
6) расчет к 3 вопросу	-	2 балла
ИТОГО		20 баллов

### Задание 3

Смесь, состоящую из двухвалентного металла и некоторого оксида, прокалили и получили смесь двух веществ **А** и **Б**. Растворение этой смеси в избытке соляной кислоты привело к образованию соли **В** и газообразного вещества **Г** (плотность по воздуху 1,1). Газ **Г** на воздухе самовоспламенился и сгорел с образованием оксида и воды.

К раствору, содержащему 4,75 г соли **В**, прилили избыток раствора щелочи. Это привело к выпадению осадка **Д**. Прокалывание промытого и высушенного вещества **Д** привело к получению 2,00 г вещества **Е**. Какие вещества зашифрованы буквами? Запишите уравнения реакций и подтвердите свои предположения расчетами.

### Решение

1) Относительная молекулярная масса газа Г равна  $29 \cdot 1,1 = 32$  г/моль. По условию задачи газ Г самовоспламеняется на воздухе. По-видимому, это силан  $\text{SiH}_4$ .

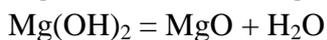
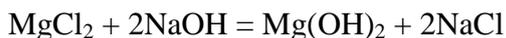
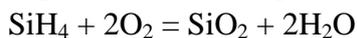
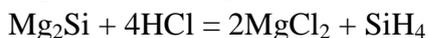
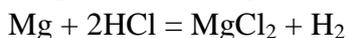
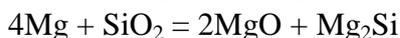
2) Значит, по условию задачи, с неким металлом прокалили оксид кремния. В результате образовался силицид этого металла и его оксид (вещества А и Б). Растворение этой смеси в избытке кислоты привело к выделению силана (газ Г), а также к образованию соли исходного металла  $\text{MeCl}_2$  (вещество В). Очевидно, Д – гидроксид металла  $\text{Me}(\text{OH})_2$ , а Е – его оксид –  $\text{MeO}$ .

3) Обозначим относительную атомную массу металла за X. Количество вещества хлорида металла равно количеству вещества его оксида, тогда справедливо следующее уравнение:

$$\frac{4,75}{X + 71} = \frac{2,00}{X + 16}$$

$X = 24, \Rightarrow \text{Mg}$ .

4) Уравнения реакций:



### Критерии оценивания:

1) Расчет молярной массы Г	-	0,5 балла
2) Расчет молярной массы металла и определение металла	-	1,5 балла
3) Определение веществ А – Е	- по 1 баллу за каждое, всего 6 баллов	
4) За каждое написанное уравнение	- по 2 балла, всего 12 баллов	
ИТОГО		20 баллов

### Задание 4

Фтористый азот может быть получен при взаимодействии аммиака со фтором, однако реакционную смесь следует сильно разбавлять азотом для предотвращения протекания побочных реакций, снижающих выход конечного продукта. При нагревании смеси фтористого азота с углем получается еще один фторид с содержанием азота 26,9%.

1) Какова структура молекулы фтористого азота? Одинаков ли валентный угол в молекуле этого соединения и в молекуле аммиака? Дайте обоснованный ответ

2) Сравните полярность молекул аммиака и фтористого азота. Какое из этих соединений кипит при более низкой температуре и почему?

3) Имеются ли различия во взаимодействии фтористого азота и хлористого азота с водой? Какие именно? Приведите уравнения реакций.

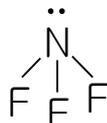
4) Напишите уравнения реакций получения фтористого азота и одной из основных побочных реакций.

5) Что представляет собой второй фторид азота, приведите его формулу (учтите, что он диамагнитный) и изобразите структуру Льюиса.

6) Рассчитайте плотность последнего соединения при  $127^\circ\text{C}$  и давлении 570 мм. рт.ст. и напишите уравнение реакции его синтеза.

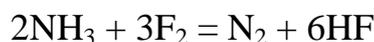
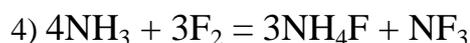
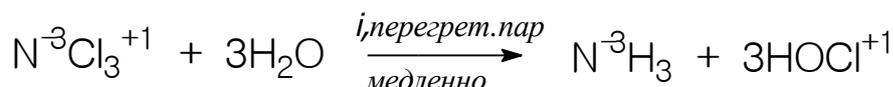
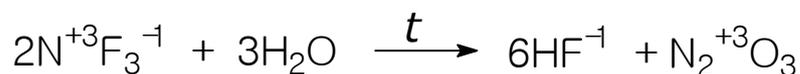
### Решение

1) Структура молекул  $\text{NF}_3$  и  $\text{NH}_3$  одинакова – пирамида с одной неподеленной электронной парой. Валентный угол в  $\text{NH}_3$  больше, чем в  $\text{NF}_3$  ( $107^\circ$  и  $102^\circ$ ). Взаимное отталкивание электронных пар связей  $\text{N} - \text{F}$  меньше, чем  $\text{N} - \text{H}$ . Это связано с уменьшением объема связывающей электронной пары в случае  $\text{N} - \text{F}$  (больше электроотрицательность фтора).



2) Полярность молекул аммиака больше, т.к. направление дипольного момента всех  $\text{N} - \text{H}$  связей совпадает с направлением дипольного момента несвязывающей электронной пары. В случае  $\text{NF}_3$  ситуация иная – моменты связей  $\text{N} - \text{F}$  и электронной пары направлены в противоположные стороны и при сложении они значительно компенсируют друг друга. При более низкой температуре кипит малополярный фторид азота ( $-33^\circ\text{C}$  аммиак и  $-129^\circ\text{C}$  фторид азота).

3) Различная степень окисления азота в этих соединениях обуславливает различный характер протекания реакции гидролиза:

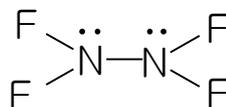


5) Определим формулу еще одного фторида азота:

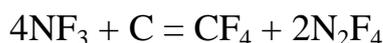
$$\omega(\text{N}) = \frac{M(\text{N})}{M(\text{NF}_x)}$$

$$0,269 = \frac{14}{14 + 19x}$$

$x = 2$ ,  $\Rightarrow \text{NF}_2$  димер  $\text{N}_2\text{F}_4$  (диамагнитность)



$$6) \rho = \frac{PM}{RT} = \frac{0,75(\text{атм}) \cdot 104\left(\frac{\text{г}}{\text{моль}}\right)}{0,082\left(\frac{\text{л}\cdot\text{атм}}{\text{моль}\cdot\text{К}}\right) \cdot 400(\text{К})} = 2,38 \left(\frac{\text{г}}{\text{л}}\right)$$



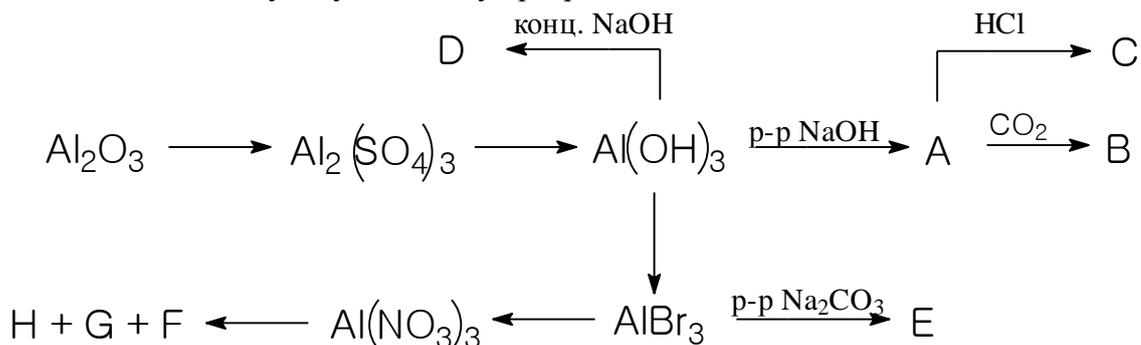
### Критерии оценивания:

- |   |           |
|---|-----------|
| 1) Указана структура молекул $\text{NF}_3$ и $\text{NH}_3$ , дано объяснение разности в валентных углах | 1,5 балла |
| Указана структура без пояснений   | 0,5 балла |
| 2) Даны правильные ответы с объяснениями  | 1,5 балла |

	без объяснения	0.5 балла
3)	За каждое уравнение гидролиза по 2 балла,	6 баллов
4)	За каждое уравнение по 2 балла,	4 балла
5)	Определена формула $\text{NF}_2$ – 2 балла, формула димера $\text{N}_2\text{F}_4$ – 1 балл, нарисована формула Льюиса для димера – 1 балл	4 балла
6)	Посчитана плотность – 1 балл, написано уравнение – 2 балла	3 балла
ИТОГО		20 баллов

### Задание 5

Выполните следующую цепочку превращений:



### Решение

- $\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{H}_2\text{O}$
- $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 6\text{NaOH} \longrightarrow 2\text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{Na}_2\text{SO}_4$
- $2\text{Al}(\text{OH})_3 + \text{NaOH} \longrightarrow \text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4] \text{ ( A)}$
- $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4] + \text{CO}_2 \longrightarrow \text{NaHCO}_3 + \text{Al}(\text{OH})_3 \text{ ( B)}$
- $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4] + \text{HCl} \longrightarrow \text{NaCl} + \text{Al}(\text{OH})_3 \text{ ( C)}$   
 $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4] + 4\text{HCl}_{(\text{изб.})} \longrightarrow \text{NaCl} + 4\text{H}_2\text{O} + \text{AlCl}_3 \text{ ( C)}$
- $\text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{NaOH}_{\text{конц.}} \longrightarrow \text{Na}_3[\text{Al}(\text{OH})_6] \text{ ( D)}$
- $\text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{HBr} \longrightarrow \text{AlBr}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$
- $2\text{AlBr}_3 + 3\text{Na}_2\text{CO}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 6\text{NaBr} + 3\text{CO}_2 + 2\text{Al}(\text{OH})_3 \text{ ( E)}$
- $\text{AlBr}_3 + 3\text{AgNO}_3 \longrightarrow 3\text{AgBr} + \text{Al}(\text{NO}_3)_3$
- $4\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \xrightarrow{150^\circ} 2\text{Al}_2\text{O}_3 + 12\text{NO}_2 + 3\text{O}_2 \text{ ( F + G + H)}$

### Критерии оценивания:

За каждое уравнение по 2 балла  
ИТОГО 20 баллов