

### Задачи с кристаллогидратами

**[1]** Нитрат меди (II) частично разложился при нагревании, при этом выделилось 39,2 л газов (н.у.) и образовалось 93,6 г твердого остатка. Твердый остаток добавили к 122,5 г теплой 36%-ной азотной кислоты, полученный раствор отфильтровали и охладили до 10°C. Вычислите массу выкристаллизовавшейся шестиводной соли, если растворимость нитрата меди при 10°C равна 100 г на 100 г воды.

**[2]** Из 60 г медного купороса ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) приготовили 12%-ный раствор и пропускали через него электрический ток до тех пор, пока его масса не стала равной 308,8 г. К полученному раствору осторожно добавили 1,84 г натрия. Вычислите массовую долю сульфата меди в конечном растворе.

**[3]** Смесь цинка и цинкового купороса ( $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) полностью растворилась в 160 г раствора гидроксида натрия, при этом выделилось 2,24 л газа (н.у.) и образовался раствор массой 172,04 г. Вычислите массовые доли солей в полученном растворе.

**[4]** Калий массой 5,85 г растворили в воде и получили 15%-ный раствор щелочи. К нему последовательно добавили 21,25 г медного купороса и 6,5 г цинка. Вычислите массовые доли веществ в растворе после завершения реакций.

**[5]** К 10%-му раствору соли, полученному при растворении в воде 25 г медного купороса ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ), добавили 19,5 г цинка. После завершения реакции к полученной смеси прибавили 240 г 30%-го раствора гидроксида натрия. Определите массовую долю гидроксида натрия в полученном растворе.

**[6]** В 15%-ный раствор сульфата меди (II) массой 240 г поместили 5,4 г алюминия, а затем добавили 114,4 г кристаллической соды ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ). Вычислите массовую долю карбоната натрия в полученном растворе.

**[7]** В 10%-ный раствор соли, полученный при растворении цинкового купороса ( $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) массой 8,61 г в воде, внесли 1,08 г порошка алюминия. Затем в этот же сосуд прилили 50 г раствора гидроксида натрия и наблюдали полное растворение осадка. Вычислите массовую долю сульфата натрия в полученном растворе.

**[8]** Нитрат железа (II) прокалили, при этом выделилась смесь газов объемом 3,024 л (при н.у.). Твердый остаток поместили в 50 г 11,76%-ной серной кислоты, раствор профильтровали и медленно выпарили. Вычислите массу полученного в результате упаривания нонагидрата.

## Решения задач

### [Задача №1]

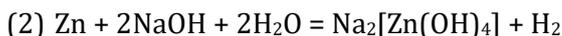
1. Запишем уравнения реакций:  
(1)  $2\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 = 2\text{CuO} + 4\text{NO}_2 + \text{O}_2$   
(2)  $\text{CuO} + 2\text{HNO}_3 = \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O}$   
(3)  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 (\text{p-p}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{ж}) \rightarrow \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} \downarrow$  – схема образования КГ
2. Определим состав твердой смеси  
 $n(\text{газов}) = 39,2 : 22,4 = 1,75$  моль  
 $n(\text{CuO}) = 5/2 n(\text{газов}) = 0,7$  моль  
 $m(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2)_{\text{ост.}} = m_{\text{тв. ост.}} - m(\text{CuO}) = 93,6 - 0,7 \cdot 80 = 37,6$  г
3. Составим уравнение для вычисления количества кристаллогидрата  
 $n(\text{HNO}_3) = 122,5 \cdot 0,36 : 63 = 0,7$  моль – в недостатке в реакции (2)  
 $n(\text{CuO}_{\text{прореаг.}}) = n_2(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2) = 0,5n(\text{HNO}_3) = 0,35$  моль  
 $m(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2)_{\text{в р-ре}} = 37,6 + 0,35 \cdot 188 = 103,4$  г  
 $m(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{H}_2\text{O}_{\text{в р-ре HNO}_3}) + m(\text{H}_2\text{O})_{\text{по р. (2)}} = 122,5 \cdot 0,64 + 0,35 \cdot 18 = 84,7$  г  
Если в осадок выпало  $x$  моль кристаллогидрата, то на его образование необходимо  $x$  моль  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  и  $6x$  моль воды. Растворимость 100 г на 100 г воды  $\Rightarrow$  в конечном растворе масса соли равна массе воды:  
 $103,4 - 188x = 84,7 - 18 \cdot 6x$
4. Вычислим массу кристаллогидрата  
Решим уравнение:  $x = 0,23375$  моль (можно округлить до 0,234)  
 $m(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = 0,23375 \cdot (188 + 6 \cdot 18) = 69,19$  г

### [Задача №2]

1. Запишем уравнения реакций:  
(1)  $2\text{CuSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{Cu} + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4$   
(2)  $2\text{Na} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2$
2. Вычислим количества исходных веществ и массу раствора  
 $n(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = m : M = 60 : 250 = 0,24$  моль  
 $n(\text{CuSO}_4) = n(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 0,24$  моль  
 $m(\text{CuSO}_4) = n \cdot M = 0,24 \cdot 160 = 38,4$  г  
 $m_{\text{р-ра}}(\text{CuSO}_4) = m_{\text{в-ва}} : \omega_{\text{в-ва}} = 38,4 : 0,12 = 320$  г  
 $n(\text{Na}) = m : M = 1,84 : 23 = 0,08$  моль
3. Вычислим количество оставшегося сульфата меди  
 $m_{\text{р-ра п.э.л.}} = m_{\text{р-ра}}(\text{CuSO}_4) - m(\text{Cu}) - m(\text{O}_2)$   
Пусть  $n(\text{O}_2) = x$  моль,  $n(\text{Cu}) = 2x$  моль  $\Rightarrow$   
 $308,8 = 320 - 64 \cdot 2x - 32x$   
 $x = 0,07$  моль  
 $n(\text{Cu}) = 2x = 0,14$  моль  
 $n_{\text{ост.}}(\text{CuSO}_4) = 0,24 - 0,14 = 0,1$  моль  
 $n(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,14$  моль  
В реакции (2) серная кислота оказывается в избытке, ведем вычисления по натрию.
4. Вычислим массовую долю сульфата меди  
 $m_{\text{ост.}}(\text{CuSO}_4) = n \cdot M = 0,1 \cdot 160 = 16$  г  
 $m_{\text{fin р-ра}} = m_{\text{р-ра п.э.л.}} + m(\text{Na}) - m(\text{H}_2) = 308,8 + 1,84 - 0,04 \cdot 2 = 310,56$  г  
 $\omega_{\text{ост.}}(\text{CuSO}_4) = 16 : 310,56 = 0,0515$  (5,15%)

### [Задача №3]

1. Запишем уравнения реакций:



2. Вычислим количество газа и массу цинка:

$$n(\text{H}_2) = 2,24 : 22,4 = 0,1 \text{ моль}$$

$$n(\text{Zn}) = n(\text{H}_2) = 0,1 \text{ моль}$$

$$m(\text{Zn}) = 0,1 \cdot 65 = 6,5 \text{ г}$$

$$m(\text{H}_2) = 0,1 \cdot 2 = 0,2 \text{ г}$$

3. Вычислим количества солей в растворе

$$m_{\text{р-ра}} = m_{\text{исх. р-ра}} + m(\text{Zn}) + m(\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) - m(\text{H}_2)$$

$$m(\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = m_{\text{р-ра}} - m_{\text{исх. р-ра}} - m(\text{Zn}) + m(\text{H}_2) = 172,04 - 160 - 6,5 + 0,2 = 5,74 \text{ г}$$

$$n(\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = n(\text{ZnSO}_4) = 5,74 : 287 = 0,02 \text{ моль}$$

$$n(\text{Na}_2\text{SO}_4) = n(\text{ZnSO}_4) = 0,02 \text{ моль}$$

$$n(\text{Na}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4]) = n(\text{Zn}) + n(\text{ZnSO}_4) = 0,1 + 0,02 = 0,12 \text{ моль}$$

4. Вычислим массовые доли солей

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,02 \cdot 142 = 2,84 \text{ г}$$

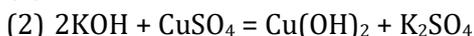
$$m(\text{Na}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4]) = 0,12 \cdot 179 = 21,48 \text{ г}$$

$$\omega(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 2,84 : 172,04 = 0,0165 \text{ или } 1,65\%$$

$$\omega(\text{Na}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4]) = 21,48 : 172,04 = 0,1249 \text{ или } 12,49\%$$

### [Задача №4]

1. Запишем уравнения реакций:



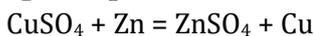
2. Вычислим количества веществ:

$$n(\text{K}) = 5,85 : 39 = 0,15 \text{ моль}$$

$$n(\text{KOH}) = n(\text{K}) = 0,15 \text{ моль}$$

$$n(\text{CuSO}_4) = n(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 21,25 : 250 = 0,085 \text{ моль}$$

$$\frac{0,15}{2} < \frac{0,085}{1}, \text{ CuSO}_4 \text{ в избытке}$$



$$n(\text{CuSO}_4)_{\text{ост.}} = n(\text{CuSO}_4)_{\text{исх.}} - 0,5n(\text{KOH}) = 0,085 - 0,075 = 0,01 \text{ моль}$$

$$n(\text{Zn}) = 6,5 : 65 = 0,1 \text{ моль (избыток)}$$

$$n(\text{K}_2\text{SO}_4) = 0,5n(\text{KOH}) = 0,075 \text{ моль}$$

$$m(\text{K}_2\text{SO}_4) = 0,075 \cdot 174 = 13,05 \text{ г}$$

$$n(\text{ZnSO}_4) = n(\text{CuSO}_4)_{\text{ост.}} = 0,01 \text{ моль}$$

$$m(\text{ZnSO}_4) = 0,01 \cdot 161 = 1,61 \text{ г}$$

Составим выражение для вычисления массы конечного раствора:

$$m_{\text{р-ра}} = m(\text{KOH})_{\text{р-ра}} + m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) + m(\text{Zn})_{\text{прор.}} - m(\text{Cu}(\text{OH})_2) - m(\text{Cu})$$

$$m(\text{KOH})_{\text{р-ра}} = m(\text{KOH}) : \omega(\text{KOH}) = 0,15 \cdot 56 : 0,15 = 56 \text{ г}$$

$$m_{\text{р-ра}} = 56 + 21,25 + 65 \cdot 0,01 - 0,075 \cdot 98 - 0,01 \cdot 64 = 69,91 \text{ г}$$

Вычислим массовые доли веществ:

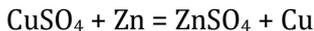
$$\omega(\text{K}_2\text{SO}_4) = 13,05 : 69,91 = 0,1867 \text{ или } 18,67\%$$

$$\omega(\text{ZnSO}_4) = 1,61 : 69,91 = 0,023 \text{ или } 2,3\%$$

Максимальный балл: 4

### [Задача №5]

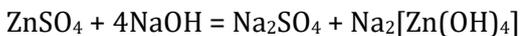
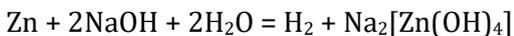
Составим уравнение реакции с цинком и обсчитаем его:



$$n(\text{Zn}) = 19,5 : 65 = 0,3 \text{ моль}$$

$$n(\text{CuSO}_4) = n(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 25 : 250 = 0,1 \text{ моль}$$

Так как цинк взят в избытке, а гидроксид натрия остается в растворе после завершения реакции, то дальнейшие превращения таковы:



Вычислим, сколько гидроксида натрия осталось:

$$m(\text{NaOH}_{\text{исх}}) = 240 \cdot 0,3 = 72 \text{ г}$$

$$m(\text{NaOH}_{\text{ост}}) = 72 - 40 \cdot (0,4 + 0,4) = 40 \text{ г}$$

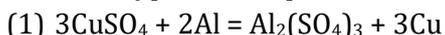
$$m(\text{р-ра}) = m(\text{CuSO}_4_{\text{р-ра}}) + m(\text{Zn}) - m(\text{Cu}) + m(\text{NaOH}_{\text{р-ра}}) - m(\text{H}_2) = 160 + 19,5 - 0,1 \cdot 64 + 240 - 0,2 \cdot 2 = 412,7 \text{ г}$$

$$m(\text{CuSO}_4_{\text{р-ра}}) = m(\text{CuSO}_4) : \omega(\text{CuSO}_4) = 0,1 \cdot 160 : 0,1 = 160 \text{ г}$$

$$\omega(\text{NaOH}) = 40 : 412,7 = 0,097 \text{ или } 9,7\%$$

### [Задача №6]

1. Запишем уравнения реакций



2. Вычислим количества данных веществ

$$m(\text{CuSO}_4) = m_{\text{р-ра}} \cdot \omega(\text{CuSO}_4) = 240 \cdot 0,15 = 36 \text{ г}$$

$$n(\text{CuSO}_4) = m : M = 36 : 160 = 0,225 \text{ моль}$$

$$n(\text{Al}) = m : M = 5,4 : 27 = 0,2 \text{ моль}$$

$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = m : M = 114,4 : 286 = 0,4 \text{ моль}$$

3. Вычислим количество оставшегося карбоната натрия

$$0,225 / 3 < 0,2 / 2 \Rightarrow \text{сульфат меди в недостатке}$$

$$n(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) = 1/3 n(\text{CuSO}_4) = 0,075 \text{ моль}$$

$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3)_{\text{прореаг.}} = 3n(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) = 0,225 \text{ моль}$$

$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3)_{\text{ост.}} = 0,4 - 0,225 = 0,175 \text{ моль}$$

4. Вычислим массовую долю карбоната натрия

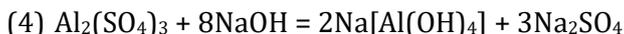
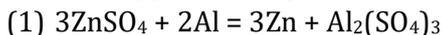
$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3)_{\text{ост.}} = n \cdot M = 0,175 \cdot 106 = 18,55 \text{ г}$$

$$m_{\text{р-ра}} = m_{\text{р-ра}}(\text{CuSO}_4) + m_{\text{прореаг.}}(\text{Al}) - m(\text{Cu}) + m(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) - m(\text{Al}(\text{OH})_3) - m(\text{CO}_2) = 240 + 0,15 \cdot 27 - 0,225 \cdot 64 + 114,4 - 0,15 \cdot 78 - 0,225 \cdot 44 = 322,45 \text{ г}$$

$$\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 18,55 : 322,45 = 5,75 \text{ или } 5,75\%$$

### [Задача №7]

1. Запишем уравнения реакций



2. Вычислим количества данных веществ и массу исходного раствора

$$n(\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = n(\text{ZnSO}_4) = m : M = 8,61 : 287 = 0,03 \text{ моль}$$

$$m(\text{ZnSO}_4) = n \cdot M = 0,03 \cdot 161 = 4,83 \text{ г}$$

$$m_{\text{р-ра}}(\text{ZnSO}_4) = m(\text{ZnSO}_4) : \omega(\text{ZnSO}_4) = 4,83 \text{ г} : 0,1 = 48,3 \text{ г}$$

$$n(\text{Al}) = m : M = 1,08 : 27 = 0,04 \text{ моль}$$

3. Вычислим массу итогового раствора  
 $0,03 / 3 < 0,04 / 2 \Rightarrow \text{Al}$  в избытке  
 $n(\text{Zn}) = n(\text{ZnSO}_4) = 0,03$  моль  
 $n(\text{Al})_{\text{прореаг.}} = 2/3 n(\text{Zn}) = 0,02$  моль  
 $n(\text{Al})_{\text{ост.}} = 0,04 - 0,02 = 0,02$  моль  
 $n(\text{H}_2) = n(\text{Zn}) + 3/2 n(\text{Al})_{\text{ост.}} = 0,03 + 0,03 = 0,06$  моль  
 $m_{\text{р-ра}} = m_{\text{р-ра}}(\text{ZnSO}_4) + m(\text{Al}) + m_{\text{р-ра}}(\text{NaOH}) - m(\text{H}_2) = 48,3 + 1,08 + 50 - 0,06 \cdot 2 = 99,26$  г
4. Вычислим массовую долю сульфата натрия  
 $n(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 3n(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) = 0,03$  моль  
 $m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = n \cdot M = 0,03 \cdot 142 = 4,26$  г  
 $\omega(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 4,26 / 99,26 = 0,0429$  или 4,29%

### [Задача №8]

1. Запишем уравнение реакции  
 (1)  $4\text{Fe}(\text{NO}_3)_2 = 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{NO}_2 + \text{O}_2$   
 (2)  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{H}_2\text{O}$   
 (3)  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 (\text{р-р}) + 9\text{H}_2\text{O} (\text{ж}) = \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O} (\text{тв.})$  – образование КГ, можно не писать
2. Вычислим количества данных веществ  
 $n(\text{NO}_2 + \text{O}_2) = V : V_m = 3,024 : 22,4 = 0,135$  моль  
 $m(\text{H}_2\text{SO}_4) = m_{\text{р-ра}} \cdot \omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 50 \cdot 0,1176 = 5,88$  г  
 $n(\text{H}_2\text{SO}_4) = m : M = 5,88 : 98 = 0,06$  моль
3. Вычислим количество сульфата железа (III)  
 $n(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3) = 2/9 n(\text{NO}_2 + \text{O}_2) = 0,03$  моль  
 $0,03/1 > 0,06/3 \Rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3$  в избытке  
 $n(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3) = 1/3 n(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,02$  моль
4. Вычислим массу кристаллогидрата  
 $n(\text{крист.}) = n(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3) = 0,02$  моль  
 $m(\text{крист.}) = 0,02 \cdot (400 + 18 \cdot 9) = 11,24$  г