

Задача 10-1

Пятачок и Винни-Пух решили порадовать ослика Иа-Иа, у которого болел живот, и приготовить ему в подарок белую магнезию. Вооружившись практикумом по неорганической химии, они узнали, что для получения белой магнезии необходимо смешать растворы хлорида магния и карбоната натрия.

Пятачок подошёл к вопросу ответственно, взвесил декагидрат карбоната натрия (53.451 г) растворил его в воде, довел объём раствора в мерной колбе до 100мл, затем взвесил гексагидрат хлорида магния (39.873 г) и приготовил 100 мл его раствора в мерной колбе. Затем он смешал полученные растворы (*р-ция 1*), отфильтровал, промыл и высушил выпавший осадок вещества **X**.

Винни-Пух хотел всё сделать аккуратно и даже взвесил 38.157 г гексагидрата хлорида магния, но возня с мерными колбами ему не нравилась. Он взял две банки из-под мёда (Пятачок настоял, и Винни пришлось их помыть) в одну из них насыпал навеску хлорида магния, а в другую ложкой насыпал карбонат натрия, залил водой, размешал чайной ложкой и перелил раствор карбоната натрия к раствору хлорида магния (*р-ция 1*). Пятачок удивился, но у Винни-Пуха выпал осадок, который тоже оказался веществом **X**.

Винни-Пух хотел всё сделать аккуратно и даже взвесил 38.157 г гексагидрата хлорида магния, но возня с мерными колбами ему не нравилась. Он взял две банки из-под мёда (Пятачок настоял, и Винни пришлось их помыть) в одну из них насыпал навеску хлорида магния, а в другую ложкой насыпал карбонат натрия, залил водой, размешал чайной ложкой и перелил раствор карбоната натрия к раствору хлорида магния (*р-ция 1*). Пятачок удивился, но у Винни-Пуха выпал осадок, который тоже оказался веществом **X**.

После фильтрования и промывания осадка Винни заскучал и отправился к Кролику инспектировать его запасы мёда, а Пятачок остался в лаборатории, взвесил осадки и обнаружил, что у Винни-Пуха получилось больше вещества. Сначала Пятачок проанализировал осадки. При прокаливании 0.468 г высушенного вещества **X** (*р-ция 2*) образуется 97.4 мл углекислого газа ($p = 10^5$ Па, $T = 20$ °C) и 0.090 г воды.

Затем он нагрел свой фильтрат, из прозрачного раствора выпал осадок вещества **Y**, и выделился газ (*р-ция 3*). При нагревании фильтрата Винни-Пуха газ выделялся, но осадок не выпадал (*р-ция 4*). Это озадачило Пятачка, он отделил осадок и высушил его. Затем прокалил 0.365 г полученного **Y** (*р-ция 5*), в результате чего образовалось – 64.3 мл ($p = 10^5$ Па, $T = 20$ °C) газа и 0.143 г воды.

Вопросы:

1. Определите молярные концентрации карбоната натрия и хлорида магния в растворах, приготовленных Пятачком.
2. Определите вещества **X** и **Y**, состав подтвердите расчётом
3. Запишите реакции **1 – 5**. Реакции **1** и **3** запишите в полной молекулярной и сокращённой ионной форме.
4. Определите массовые доли веществ в растворах, которые готовил Пятачок:
 - а. над осадком **X**;
 - б. в фильтрате после нагревания и выпадения осадка **Y**.

Считайте, что все реакции протекают количественно, упариванием раствора можно пренебречь, а плотности исходных растворов карбоната натрия и хлорида магния равны 1.187 г/мл и 1.141 г/мл, соответственно.

5. Объясните с чем связаны различия в опытах, проведенных Пятачком и Винни-Пухом.

Решение задачи 10-1 (автор: Птицын А.Д.)

1. Для определения молярных концентраций достаточно поделить количество вещества на объём раствора:

$$C(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{\nu(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{V, \text{ л}} = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) / M(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O})}{V, \text{ л}}$$
$$\frac{53.451 / 286.138}{0.1} = 1.868 \frac{\text{моль}}{\text{л}}$$

Аналогично

$$C(\text{MgCl}_2) = \frac{39.873 / 203.301}{0.1} = 1.961 \frac{\text{моль}}{\text{л}}$$

2. При разложении X выделяются CO_2 и H_2O . Определим их количества:

$$\nu(\text{CO}_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{10^5 (\text{Па}) \cdot 97.4 (\text{мл})}{8.314 \left(\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \right) \cdot 293 (\text{К})} : 1000 \approx 4 \text{ ммоль}$$

Для расчета в системе СИ *мл* необходимо перевести в м^3 , т.е. разделить на 10^6 , тогда ответ будет в *моль*.

$$\nu(\text{H}_2\text{O}) = \frac{0.090}{18.015} \cdot 1000 \approx 5 \text{ ммоль}$$

Если предположить, что в осадок выпал карбонат магния, то твердый остаток прокаливания – это оксид магния, вычислим его массу:

$$m(\text{MgO}) = 0.468 - 0.090 - 4 \cdot 10^{-3} \cdot 44.009 = 0.202 \text{ г}$$

$$\nu(\text{MgO}) = \frac{0.202}{40.304} \cdot 1000 \approx 5 \text{ ммоль}$$

$$\nu(\text{MgO}) : \nu(\text{CO}_2) : \nu(\text{H}_2\text{O}) = 5 : 4 : 5$$

X – это основной карбонат магния состава $5\text{MgO} \cdot 4\text{CO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ или $4\text{MgCO}_3 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ или $\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

Повторим те же вычисления для Y:

$$\nu(\text{CO}_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{10^5 (\text{Па}) \cdot 64.3 (\text{мл})}{8.314 \left(\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \right) \cdot 293 (\text{К})} : 1000 \approx 2.64 \text{ ммоль}$$

$$\nu(\text{H}_2\text{O}) = \frac{0.143}{18.015} \cdot 1000 \approx 7.94 \text{ ммоль}$$

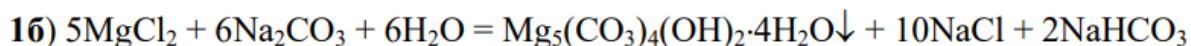
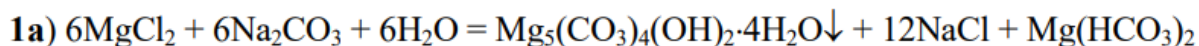
$$m(\text{MgO}) = 0.365 - 0.143 - 2.64 \cdot 10^{-3} \cdot 44.009 = 0.106 \text{ г}$$

$$\nu(\text{MgO}) = \frac{0.106}{40.304} \cdot 1000 \approx 2.63 \text{ ммоль}$$

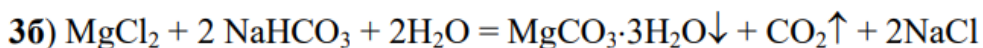
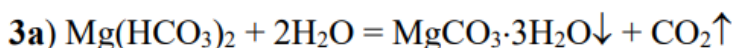
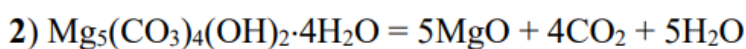
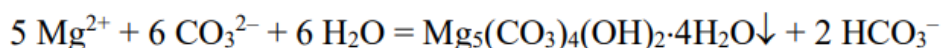
$$\nu(\text{MgO}) : \nu(\text{CO}_2) : \nu(\text{H}_2\text{O}) = 2.63 : 2.64 : 7.94 \approx 1 : 1 : 3$$

Y - это карбонат магния состава $\text{MgO} \cdot \text{CO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ или $\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

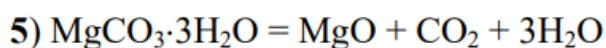
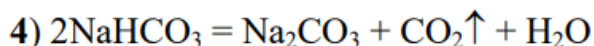
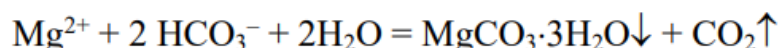
3. Уравнения реакций:



В сокращенной ионной форме уравнения реакции записываются одинаково:



В сокращенной ионной форме уравнения реакции записываются одинаково:



4. Для определения массовых долей вычислим массы исходных растворов:

$$m(p\text{-pa Na}_2\text{CO}_3) = V \cdot \rho = 118.7 \text{ г} \qquad m(p\text{-pa MgCl}_2) = 114.1 \text{ г}$$

Согласно расчетам в п. 1 в недостатке находится карбонат натрия.

Из уравнения *р-ции* 1 видно, что $\nu(\text{X}) = \frac{1}{6} \cdot \nu(\text{Na}_2\text{CO}_3) \approx 31.13 \text{ ммоль}$

$$m(\text{X}) = 31.13 \cdot 10^{-3} \cdot 467.631 \approx 14.6 \text{ г}$$

Таким образом, масса раствора:

$$m(p\text{-ра}) = 118.7 + 114.1 - 14.6 \approx 218.2 \text{ г}$$

При нагревании раствора гидрокарбонат-ион разлагается, при этом раствор насыщается углекислым газом, благодаря чему подавляется гидролиз катиона магния и выделяется средний карбонат магния. Количество осадка Y

определяется гидрокарбонат-ионом в растворе:

$$\nu(\text{HCO}_3^-) = \frac{\nu(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{3} = \frac{0.1868}{3} = 0.0623 \text{ моль}$$

$$\nu(\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}) = \nu(\text{CO}_2) = \frac{\nu(\text{HCO}_3^-)}{2} = \frac{\nu(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{6} = 0.0311 \text{ моль}$$

$$m(\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}) = 0.0311 \cdot 138.358 \approx 4.30 \text{ г}$$

$$m(\text{CO}_2) = 0.0311 \cdot 44.009 = 1.37 \text{ г}$$

Масса раствора после кипячения:

$$m(\text{р-ра}) = 218.2 - 4.30 - 1.37 \approx 212.5 \text{ г}$$

При определении массовых долей веществ в растворе необходимо понимать, что соли в растворе полностью диссоциируют.

Рассмотрим два варианта.

В соответствии с уравнениями 1а и 3а:

В-во в растворе над X	Кол-во в-ва, моль		m, г	ω, %
	Было	Стало		
MgCl ₂	0.1961	0.0093	0.885	0.41
Na ₂ CO ₃	0.1868	0		
NaCl	0	0.3736	21.834	10.01
Mg(HCO ₃) ₂	0	0.0311	4.551	2.09

В-во в растворе над Y	Кол-во в-ва, моль		m, г	ω, %
	Было	Стало		
MgCl ₂	0.0093	0.0093	0.885	0.42
NaCl	0.3736	0.3736	21.834	10.27
Mg(HCO ₃) ₂	0.0311	0	0	

В растворе над осадком гидрокарбоната магния присутствуют MgCl₂, NaCl и Mg(HCO₃)₂, их массовые доли равны 0.41%, 10.1% и 2.09%, соответственно.

В растворе после нагревания и выделения осадка карбоната магния присутствуют только MgCl₂, NaCl, из-за уменьшения массы раствора их массовые доли увеличились 0.42% и 10.27%, соответственно.

В соответствии с уравнениями 1б и 3б:

В-во в растворе над X	Кол-во в-ва, моль		m, г	ω, %
	Было	Стало		
MgCl ₂	0.1961	0.0404	3.846	1.76
Na ₂ CO ₃	0.1868	0		
NaCl	0	0.3113	18.193	8.34
NaHCO ₃	0	0.0623	5.234	2.40

В-во в растворе над Y	Кол-во в-ва, моль		m, г	ω, %
	Было	Стало		
MgCl ₂	0.0404	0.0093	0.885	0.42
NaCl	0.3113	0.3736	21.834	10.27
NaHCO ₃	0.0623	0	0	

В растворе над осадком гидрокарбоната магния присутствуют MgCl₂, NaCl и NaHCO₃, их массовые доли равны 1.76%, 8.34% и 2.40%, соответственно.

В растворе после нагревания и выделения осадка карбоната магния присутствуют только MgCl₂, NaCl, их массовые доли 0.42% и 10.27%, соответственно.

5. Как видно в сокращенной ионной форме реакции 1 взаимодействие между карбонатом натрия и катионами магния протекает в соотношении 6 : 5, в опыте Пятачка в растворе после выделения осадка остались катионы магния, при кипячении гидрокарбонат-ионы разлагаются:



и из-за повышения концентрации карбонат-ионов образуется осадок карбоната магния.

В опыте Винни-Пуха, судя по наблюдениям, магний полностью перешел в осадок, об этом говорит большая масса осадка, чем у Пятачка и отсутствие осадка после нагревания фильтрата. Т.е. в опыте Винни-Пуха в избытке был не хлорид магния, а карбонат.

Следует отметить, что магний образует также гидрокарбонат Mg(CO₃)(OH)₂·3H₂O, который представляет собой продукт более глубокого гидролиза катионов магния и при большом избытке карбоната натрия следует ожидать его образование наряду с Mg₅(CO₃)₄(OH)₂·4H₂O.

Система оценивания:

1.	Расчет молярных концентраций по 1 баллу	2 балла
2.	Расчет состава X и Y по 2 балла	4 баллов
3.	Уравнения реакций 1 - 5 по 1 баллу <i>оба варианта (а и б) оцениваются полным баллом</i> Сокращенные ионные уравнения по 1.5 балла	8 баллов
4.	Расчет концентраций в растворе по 2 балла	4 балла
5.	Указание на избыток карбоната натрия	2 балла
		ИТОГО: 20 баллов

