

**Решение заданий Всероссийской олимпиады школьников по химии
(муниципальный этап)
10 класс
2023-2024 учебный год**

Задание 1. Через две последовательно соединенные промывные склянки с растворами гидроксида бария и сульфита натрия пропускали хлороводород. В начальный период масса раствора в одном из сосудов увеличивалась, затем стала уменьшаться, но через некоторое время вновь стала увеличиваться. Какое из веществ находилось в этом сосуде? Напишите химические реакции и обоснование увеличения или уменьшения массы растворов.

Решение

1. В сосуде №1 с гидроксидом бария протекала реакция
$$\text{Ba}(\text{OH})_2 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{BaCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O},$$

2. Масса сосуда постоянно увеличивалась, т.к. даже после окончания реакции шло поглощение хлороводорода раствором.

3. В растворе с сульфитом натрия (сосуд №2) сначала шла реакция
$$\text{HCl} + \text{Na}_2\text{SO}_3 \rightarrow \text{NaHSO}_3 + \text{NaCl},$$

4. Масса раствора увеличивалась.

5. Затем начала протекать реакция
$$\text{NaHSO}_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} + \text{SO}_2\uparrow.$$

6. Масса раствора начала уменьшаться, т. к. масса поглощаемого газа (HCl) была меньше массы уходящего из сосуда газа (SO₂).

7. После окончания реакции шло поглощение хлороводорода раствором, и масса раствора вновь стала увеличиваться.

8. Следовательно, условию задачи соответствует сульфит натрия (сосуд №2).

Система оценивания:

1	Реакция в сосуде №1 $\text{Ba}(\text{OH})_2 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{BaCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	3
2	Утверждение, что масса сосуда №1 постоянно увеличивалась	2
3	1-я реакция в сосуде №2 $\text{HCl} + \text{Na}_2\text{SO}_3 \rightarrow \text{NaHSO}_3 + \text{NaCl}$	3
4	Утверждение, что масса сосуда №2 сначала увеличивалась до начала реакции 2	2
5	2-я реакция в сосуде №2 $\text{NaHSO}_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} + \text{SO}_2\uparrow.$	3

6	Масса раствора №2 начала уменьшаться, т. к. масса поглощаемого газа (HCl) была меньше массы уходящего из сосуда газа (SO ₂).	2
7	Утверждение, что после окончания реакции 2 шло поглощение HCl, и масса раствора вновь стала увеличиваться	2
8	Утверждение, что в сосуде №2 сульфит натрия	3
Итого		20 баллов

Задача 2. Какой объем водорода (н.у.) получится при взаимодействии 2 моль металлического натрия с 96%-ным (по массе) раствором этанола в воде ($V = 100$ мл, плотность $\rho = 0,8$ г/мл).

Решение.

1. В условии задачи даны количества обоих реагентов - это верный признак того, что какой-нибудь из них находится в избытке.

2. Найдем массу этанола, введенного в реакцию:

$$m(\text{раствора}) = V \times \rho = 100 \text{ мл} \times 0,8 \text{ г/мл} = 80 \text{ г}$$

$$m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = \{m(\text{раствора}) \times \omega\% \} : 100\% = 80 \text{ г} \times 0,96 = 76,8 \text{ г}$$

3. Реакция спирта с металлическим натрием:



на 2 моль этанола -- 2 моль натрия -- 1 моль водорода

4. Найдем заданное количество этанола в моль:

$$n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) / M(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 76,84 \text{ г} : 46 \text{ г/моль} = 1,67 \text{ моль}$$

5. Поскольку заданное количество натрия составляло 2 моль, натрий в нашей задаче присутствует в избытке. Поэтому объем выделенного водорода будет определяться количеством этанола.

6. Объем выделенного водорода после реакции (1) с этанолом:

$$n_1(\text{H}_2) = 1/2 n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 1/2 \times 1,67 \text{ моль} = 0,835 \text{ моль}$$

$$V_1(\text{H}_2) = n_1(\text{H}_2) \times V_M = 0,835 \text{ моль} \times 22,4 \text{ л/моль} = 18,7 \text{ л}$$

7. Вода, содержащаяся в растворе спирта, тоже реагирует с натрием с выделением водорода. Найдем массу воды:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = \{m(\text{раствора}) \times \omega\% \} : 100\% = 80 \text{ г} \times 0,04 = 3,2 \text{ г}$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{H}_2\text{O})/M(\text{H}_2\text{O}) = 3,2 \text{ г} : 18 \text{ г/моль} = 0,178 \text{ моль}$$

8. Реакция воды с металлическим натрием:



на 2 моль воды → 2 моль натрия → 1 моль водорода

9. Количество натрия, оставшееся неизрасходованным после реакции с этанолом, составит:

$$n(\text{Na, остаток}) = 2 \text{ моль} - 1,67 \text{ моль} = 0,33 \text{ моль}$$

10. Таким образом, и по сравнению с заданным количеством воды (0,178 моль) натрий все равно оказывается в избытке.

11. Найдем количество и объем водорода, выделившегося по реакции (2):

$$n_2(\text{H}_2) = \frac{1}{2} n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{1}{2} \times 0,178 \text{ моль} = 0,089 \text{ моль}$$

$$V_2(\text{H}_2) = n_2(\text{H}_2) \times V_m = 0,089 \text{ моль} \times 22,4 \text{ л/моль} = 1,99 \text{ л}$$

12. Общий объем водорода:

$$V(\text{H}_2) = V_1(\text{H}_2) + V_2(\text{H}_2) = 18,7 \text{ л} + 1,99 \text{ л} = 20,69 \text{ л}$$

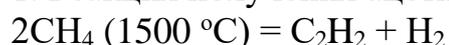
Система оценивания:

1	Утверждение, что какой-нибудь из реагентов находится в избытке.	1
2	Определение массы этанола, введенного в реакцию:	3
3	Реакция спирта с металлическим натрием	2
4	Определение заданного количество этанола в молях.	2
5	Утверждение, что натрий в задаче присутствует в избытке. Поэтому объем выделенного водорода будет определяться количеством этанола.	1
6	Определение объема выделенного водорода после реакции (1) с этанолом.	2
7	Определение массы воды	2
8	Написание реакции воды с металлическим натрием:	1
9	Определение количества натрия, оставшееся неизрасходованным после реакции с этанолом	2
10	Расчет, что натрий все равно оказывается в избытке.	1
11	Определение количества и объема водорода, выделившегося по реакции (2).	2
12	Определение общего объема водорода	1
Итого		20 баллов

Задача 3. На экспериментальной установке из 300 л метана (н.у.) получили 100 г бензола. Найдите практический выход бензола.

Решение.

1. Реакция получения ацетилена из метана



2. Определение полученного объема ацетилена

Из двух молей CH_4 получается 1 моль C_2H_2 или $V(\text{C}_2\text{H}_2) = 300:2 = 150 \text{ л}$.

3. Реакция получения бензола из ацетилена:



4. Определение полученного количества ацетилена
 $n(\text{C}_2\text{H}_2) = V(\text{C}_2\text{H}_2) / V_M = 150 \text{ л} : 22,4 \text{ л/моль} = 6,70 \text{ моль}$

5. Определение теоретического количества бензола
 $n(\text{C}_6\text{H}_6)_{\text{теор}} = 1/3 \times n(\text{C}_2\text{H}_2) = 1/3 \times 6,70 \text{ моль} = 2,23 \text{ моль}$

6. Определение практического количества бензола
 $n(\text{C}_6\text{H}_6)_{\text{практ}} = m(\text{C}_6\text{H}_6) / M(\text{C}_6\text{H}_6) = 100 \text{ г} : 78 \text{ г/моль} = 1,28 \text{ моль}$

7. Выход = $(n_{\text{практ}} : n_{\text{теор}}) \times 100\% = (1,28 : 2,23) \times 100\% = 57,4\%$

Система оценивания:

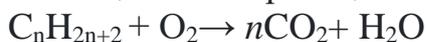
1	Реакция получения ацетилена из метана	3
2	Определение полученного объема ацетилена	2
3	Реакция получения бензола из ацетилена	3
4	Определение полученного количества ацетилена	2
5	Определение теоретического количества бензола	3
6	Определение практического количества бензола	3
7	Определение выхода	4
Итого		20 баллов

Задача 4. 448 мл (н. у.) газообразного предельного нециклического углеводорода сожгли, и продукты реакции пропустили через избыток известковой воды, при этом образовалось 8 г осадка. Какой углеводород был взят?

Решение.

1. Общая формула газообразного предельного нециклического углеводорода (алкана) — $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$

2. Общая схема реакции сгорания:

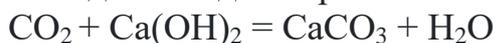


3. Нетрудно заметить, что при сгорании 1 моль алкана выделится n моль углекислого газа.

4. Количество вещества алкана находим по его объёму:

$$v(\text{C}_n\text{H}_{2n+2}) = 0,448 / 22,4 = 0,02 \text{ моль.}$$

5. При пропускании углекислого газа через известковую воду $\text{Ca}(\text{OH})_2$ выпадает осадок карбоната кальция:



6. Масса осадка карбоната кальция — 8 г, молярная масса карбоната кальция 100 г/моль. Значит, количество карбоната кальция $\nu(\text{CaCO}_3) = 8 / 100 = 0,08$ моль.

7. Количество вещества углекислого газа равно количеству карбоната кальция 0,08 моль.

8. Количество углекислого газа в 4 раза больше ($n=0,08$ моль/0,02 моль), чем алкана, значит формула алкана C_4H_{10} .

1	Общая формула алканов	1
2	Общая схема реакции сгорания алкана	3
3	Утверждение, что при сгорании 1 моль алкана выделится n моль углекислого газа	2
4	Определение количество вещества алкана по его объёму	3
5	Формула $\text{CO}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 = \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	3
6	Определение количества вещества карбоната кальция	3
7	Определение количества вещества углекислого газа	3
8	Формула алкана C_4H_{10}	2
Итого		20 баллов

Задача 5. Железную пластинку опустили в 50 г раствора азотнокислого свинца. Через некоторое время пластинку вынули из раствора, просушили и определили ее массу, которая увеличилась на 2,160 г. При осаждении в сильноокислой среде сульфида свинца из 1,000 г полученного раствора выделилось осадка в 1,5 раза меньше, чем из 1,000 г исходного раствора $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$. Вычислите массовую долю $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ в исходном растворе.

Решение:

1. Примем ω как массовую долю $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ в исходном растворе. Тогда $m_1(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = 50 \text{ г} \times \omega$.

2. Записываем уравнение реакции: $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + \text{Fe} = \text{Fe}(\text{NO}_3)_2 + \text{Pb}$.

3. Определение массы прореагировавшего $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$

Если бы на пластинке выделился 1 моль свинца, то увеличение масс пластинки составило бы $\Delta m = M(\text{Pb}) - M(\text{Fe})$.

Составим пропорцию: 1 моль Pb ----- $\Delta m (207,19 - 55,85) = 151,34 \text{ г}$
 x моль ----- $\Delta m = 2,160 \text{ г}$,

$x = 0,01427$ моль

Следовательно, прореагировало $1,427 \cdot 10^{-3}$ моль $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ или $207,19 \times 1,427 \cdot 10^{-3} = 4,726 \text{ г}$.

4. Тогда масса $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ в полученном растворе составила:

$m_2(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = 50 \times \omega - 4,726$

5. Определение массы полученного раствора

Общая масса раствора уменьшилась на 2,160 г, тогда масса полученного раствора $m_2(\text{р-ра}) = 50 - 2,160 = 47,84$ г.

6. Общее уравнение для расчета массовой доли $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ в исходном растворе

$$\omega_2(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = (50 \times \omega - 4,726) / m_2(\text{р-ра}).$$

7. Расчет массовой доли $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ в исходном растворе

$$\text{По условию } \omega = 1,5 \times \omega_2 = 1,5 \times (50 \times \omega - 4,726) / 47,84.$$

$$\omega = 1,568 \times \omega - 1,482, \quad \omega = 0,26.$$

Система оценивания:

1	Принятие ω как массовую долю $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ в исходном р-ре	1
2	Уравнение реакции нитрата свинца с железом	2
3	Определение массы прореагировавшего $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	4
4	Определение массы $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ в полученном растворе	2
5	Определение массы полученного раствора	2
6	Общее уравнение для расчета массовой доли $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ в исходном растворе	4
7	Расчет массовой доли $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ в исходном растворе	5
Итого		20 баллов