

Задача 2.

Известно, что раствор **А** – это водный раствор серной кислоты, в котором число атомов водорода в 1,5 раза больше числа атомов кислорода. Раствор **Б** – это водный раствор едкого натра, мольная доля которого в 20 раз меньше, чем мольная доля растворителя.

1) Определите массовые доли серной кислоты в растворе **А** и гидроксида натрия в растворе **Б**.

В две колбы внесли несколько капель раствора лакмуса. В первую колбу внесли 145,2 г раствора **А**, а затем медленно при перемешивании вливали 400 г раствора **Б**. Во вторую колбу внесли такое же количество тех же растворов, но порядок смешения реагентов был обратный – к раствору **Б** приливали раствор **А**.

2) Какие реакции протекали в колбах по мере смешения растворов? Как при этом менялась окраска лакмуса? Различается ли состав конечных растворов в колбах? Определите массовые доли растворенных веществ.

Вариант решения

Для определенности будем брать те массы растворов, которые заданы в пункте 2 задания (возможно и решение в общем виде). Одним из подходов будет введение переменных и составление таблицы.

Для раствора серной кислоты

	H ₂ SO ₄	H ₂ O	всего
ν , моль	x	y	
$\nu(\text{H})$, моль	$2x$	$2y$	$2x+2y$
$\nu(\text{O})$, моль	$4x$	y	$4x+y$
M , г/моль	98	18	
m , г	$98x$	$18y$	$98x+18y$

Составляем и решаем систему уравнений.

$$\begin{cases} 98x + 18y = 145,2 \\ 2x + 2y = 1,5(4x + y) \end{cases}$$
$$\begin{cases} 98x + 18y = 145,2 \\ y = 8x \end{cases}$$
$$\begin{cases} x = 0,6 \\ y = 4,8 \end{cases}$$

Тогда масса серной кислоты равна

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98 \cdot 0,6 = 58,8 \text{ г}, \omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 58,8/145,2 \cdot 100\% = 40,5\%$$

Оценивание

Нахождение верной массовой доли серной кислоты любым логичным способом – 4 баллов максимум.

Для раствора гидроксида натрия. Обозначим $v(\text{NaOH}) = z$ моль. Так как гидроксид натрия и вода находятся в одном растворе, то их количества вещества относятся как их молярные доли, то есть

$$v(\text{H}_2\text{O}) = 20v(\text{NaOH}) = 20z \text{ моль.}$$

$$m(\text{NaOH}) = v(\text{NaOH}) \cdot M(\text{NaOH}) = 40z,$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = v(\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{H}_2\text{O}) = 18 \cdot 20z = 360z.$$

По условию масса раствора $m = m(\text{NaOH}) + m(\text{H}_2\text{O}) = 40z + 360z = 400 \text{ г}$. То есть $z = 1$ моль.

Тогда масса гидроксида натрия равна $m(\text{NaOH}) = 40 \cdot 1 = 40 \text{ г}$,

$$\omega(\text{NaOH}) = 40/400 \cdot 100\% = 10\%$$

Оценивание

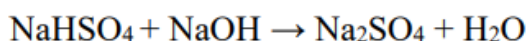
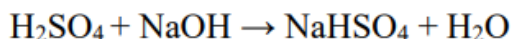
Нахождение верной массовой доли гидроксида натрия любым логичным способом – 3 балла максимум.

2. Можно отметить, что $\frac{v(\text{NaOH})}{v(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{1}{0,6} = 1,67, 1 < 1,67 < 2$.

Таким образом щелочи слишком много для образования при смешении растворов только гидросульфата натрия и слишком мало для образования только сульфата натрия, в системе после смешения растворов А и Б образуется смесь солей. Состав конечной смеси не будет зависеть от порядка смешения реагентов, однако протекающие реакции будут различны.

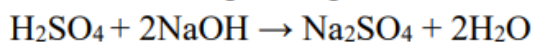
В первом случае сначала в колбу ввели раствор серной кислоты (лакмус красный). При медленном приливании раствора щелочи к раствору кислоты сначала образуется

кислая соль, которая потом только частично нейтрализуется последующими порциями щелочи.



Так как гидросульфат натрия также диссоциирует с образованием катионов водорода, то среда конечного раствора продолжит быть кислой, окраска лакмуса не будет меняться.

Во втором случае в колбу ввели раствор щелочи (лакмус синий). При добавлении первых порций серной кислоты в растворе сначала образуется сульфат натрия (в момент эквивалентности лакмус фиолетовый), который частично реагирует с новыми порциями кислоты, образование в растворе гидросульфата натрия вызывает изменение окраски индикатора на красный.



Оценивание

Вывод о недостатке щелочи – 1 балл, за каждое из уравнений - 1 балл, указание на характер изменения окраски индикатора в каждом случае – по 1 баллу (итого максимально 7 баллов).

Расчет конечного состава раствора можно вести по любой последовательности смешения реагентов. Допустим, во втором случае в первой реакции гидроксид натрия прореагирует весь, при этом образуется $\nu(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 1/2\nu(\text{NaOH}) = 0,5$ моль сульфата натрия и потратится $\nu(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1/2\nu(\text{NaOH}) = 0,5$ моль серной кислоты. Останется $\nu_{\text{ост}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,6 - 0,5 = 0,1$ моль серной кислоты. Во вторую реакцию войдет вся оставшаяся серная кислота и $\nu_{\text{р}}(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \nu_{\text{ост}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,1$ моль сульфата натрия. Тогда образуется $\nu(\text{NaHSO}_4) = 2\nu_{\text{ост}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,2$ моль гидросульфата натрия и останется $\nu_{\text{ост}}(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,6 - 0,1 = 0,4$ моль сульфата натрия.

Рассчитаем массы солей. $m(\text{NaHSO}_4) = M(\text{NaHSO}_4) \cdot \nu(\text{NaHSO}_4) = 120 \cdot 0,2 = 24$ г.

$m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = M(\text{Na}_2\text{SO}_4) \cdot \nu_{\text{ост}}(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 142 \cdot 0,4 = 56,8$ г.

Так как при сливании растворов не выделялись осадки и газы, то масса конечного раствора равна сумме масс слитых растворов А и Б.

$m(\text{раствора}) = 145,2 + 400 = 545,2$ г

$\omega(\text{Na}_2\text{SO}_4) = m(\text{Na}_2\text{SO}_4) / m(\text{раствора}) \cdot 100\% = 56,8 / 545,2 \cdot 100\% = 10,4\%$

$\omega(\text{NaHSO}_4) = m(\text{NaHSO}_4) / m(\text{раствора}) \cdot 100\% = 24 / 545,2 \cdot 100\% = 4,4\%$

Оценивание

Вывод о независимости состава конечного раствора от порядка сливания – 0,5 балла, за массу раствора 0,5 балла, за нахождение количества вещества каждой соли (любым способом) – по 1 баллу, за массу – по 0,5 балла, за массовую долю - по 1 баллу (6 баллов максимум).

Всего 20 баллов

