

### Задача 9-4

#### ການເຊື່ອມຕໍ່ຂອງສອງອົງປະກອບ

Однажды ранним ясным утром, химик Колбочкин, к большому удивлению, получил посылку от его давнего друга из Лаоса – химика Тигельвонга. В посылке оказались хорошо упакованные образцы веществ и письмо, в котором учёный подробно описывал новую область своих интересов – изучение бипарных соединений, образуемых элементами **X** и **Y**. Среди них наиболее известны вещества **A**, **B**, **C**, образцы которых и были в посылке. Их свойства кратко описаны в таблице, представленной ниже.

Вещество	Название	Агрегатное состояние при н.у.	Особенности
<b>A</b>	ຫນຶ່ງ	Газ	Обладает неприятным запахом
<b>B</b>	ສອງ	Жидкость	Используется в качестве топлива
<b>C</b>	ສາມ	Жидкость	Его водные растворы проявляют кислотные свойства

Испытывая большие проблемы со знанием лаосского языка, химик Колбочкин был вынужден самостоятельно идентифицировать каждое из них. Для этого он провёл следующие эксперименты:

- Образец вещества **A** массой 8,5 мг поглотили с помощью 10 мл 0,200 М раствора соляной кислоты. На титрование избытка кислоты потребовалось 7,5 мл 0,200 М раствора гидроксида калия. Дополнительно известно, что вещество **A** взаимодействует с соляной кислотой в соотношении 1:1.
- Образец вещества **B** массой 144,0 мг растворили в 100 мл воды. На титрование аликвоты полученного раствора объёмом 10 мл потребовалось 30 мл 0,030 М раствора иода. Дополнительно известно, что вещество **B** взаимодействует с иодом в соотношении 1:2.

- Образец вещества **C** массой 64,5 мг растворили в 100 мл воды. На титрование аликвоты полученного раствора объёмом 10 мл потребовалось 10 мл 0,015 М КОН. Дополнительно известно, что вещество **C** взаимодействует с гидроксидом калия в соотношении 1:1.

Получив обратную телеграмму с формулами веществ **A-C**, лаосский учёный Тигельвонг восхитился упорством Колбочкина и предложил ему поучаствовать в расшифровке данных кристаллографического анализа твёрдых соединений **D** и **E**, которые были синтезированы путём взаимодействия различных пар из упомянутых выше веществ.

- Вещество **D**, имеющее плотность 1,419 г/см<sup>3</sup>, кристаллизуется в моноклинной элементарной ячейке со сторонами  $a = 5,641 \text{ Å}$ ,  $b = 5,521 \text{ Å}$ ,  $c = 11,306 \text{ Å}$  и углом  $\beta = 93,26^\circ$ , содержащей 4 формульные единицы.
- Вещество **E**, имеющее плотность 1365 кг/м<sup>3</sup>, кристаллизуется в ромбической элементарной ячейке с длинами сторон  $a = 893,3 \text{ пм}$ ,  $b = 378,2 \text{ пм}$ ,  $c = 865,2 \text{ пм}$ , содержащей 4 формульные единицы.

#### Вопросы:

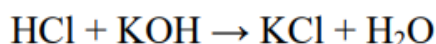
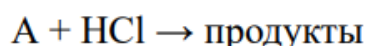
- Установите формулы веществ **A**, **B** и **C**. Ответ подтвердите расчётами.
- Установите состав соединений **D** и **E**. Ответ подтвердите расчётами.
- При взаимодействии каких пар из веществ **A**, **B** и **C** могли быть получены соединения **D** и **E**?

#### Справочные данные:

- $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$  – постоянная Авогадро,  $1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ м}$ ,  $1 \text{ пм} = 10^{-12} \text{ м}$
- Объём моноклинной элементарной ячейки:  $V = a b c \cdot \sin \beta$   
Объём ромбической элементарной ячейки:  $V = a b c$

**Решение задачи 9-4 (авторы: Крысанов Н.С., Шалыбкова А.А.)**

1. Рассчитаем молярную массу вещества **A** исходя из результатов кислотно-основного титрования:



- Исходное количество кислоты в растворе:

$$\nu_{\text{исх}}(HCl) = c(HCl) \cdot V(HCl) = 0,200 \text{ М} \cdot 0,010 \text{ л} = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ моль}$$

- Количество щёлочи, затраченное на титрование:

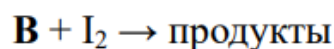
$$\nu_{\text{реак}}(KOH) = c(KOH) \cdot V(KOH) = 0,200 \text{ М} \cdot 0,0075 \text{ л} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ моль}$$

- Согласно условию задачи, вещество **A** взаимодействует с соляной кислотой в соотношении 1:1, тогда:

$$\nu(A) = \nu_{\text{изб}}(HCl) = \nu_{\text{исх}}(HCl) - \nu_{\text{реак}}(KOH) = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ моль}$$

$$M(A) = \frac{m_{\text{образца}}}{\nu(A)} = \frac{8,5 \cdot 10^{-3} \text{ г}}{0,5 \cdot 10^{-3} \text{ моль}} = 17 \text{ г/моль}$$

Рассчитаем молярную массу вещества **B** исходя из результатов окислительно-восстановительного титрования:



- Количество иода, пошедшее на титрование аликвоты исходного раствора:

$$\nu_{\text{титр}}(I_2) = c(I_2) \cdot V(I_2) = 0,030 \text{ М} \cdot 0,030 \text{ л} = 9,0 \cdot 10^{-4} \text{ моль}$$

- Количество вещества **B** в аликвоте раствора:

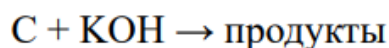
$$\nu_{\text{ал}}(B) = 0,5 \nu_{\text{титр}}(I_2) = 4,5 \cdot 10^{-4} \text{ моль}$$

- Количество вещества **B** в исходном образце:

$$\nu_{\text{обр}}(B) = \nu_{\text{ал}}(B) \cdot \frac{V_{\text{р-ра}}}{V_{\text{ал}}} = 4,5 \cdot 10^{-4} \text{ моль} \cdot \frac{100 \text{ мл}}{10 \text{ мл}} = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ моль}$$

$$M(B) = \frac{m_{\text{образца}}}{\nu_{\text{обр}}(B)} = \frac{144 \cdot 10^{-3} \text{ г}}{4,5 \cdot 10^{-3} \text{ моль}} = 32 \text{ г/моль}$$

Рассчитаем молярную массу вещества **C** исходя из результатов кислотно-основного титрования:



- Количество щёлочи, пошедшее на титрование аликвоты исходного раствора:

$$v_{\text{титр}}(\text{KOH}) = c(\text{KOH}) \cdot V(\text{KOH}) = 0,015\text{М} \cdot 0,010\text{ л} = 1,5 \cdot 10^{-4}\text{ моль}$$

- Количество вещества **С** в аликвоте раствора:

$$v_{\text{ал}}(\text{C}) = v_{\text{титр}}(\text{KOH}) = 1,5 \cdot 10^{-4}\text{ моль}$$

- Количество вещества **С** в исходном образце:

$$v_{\text{обр}}(\text{C}) = v_{\text{ал}}(\text{C}) \cdot \frac{V_{\text{р-ра}}}{V_{\text{ал}}} = 1,5 \cdot 10^{-4}\text{ моль} \cdot \frac{100\text{ мл}}{10\text{ мл}} = 1,5 \cdot 10^{-3}\text{ моль}$$

$$M(\text{C}) = \frac{m_{\text{образца}}}{v_{\text{обр}}(\text{C})} = \frac{64,5 \cdot 10^{-3}\text{ г}}{1,5 \cdot 10^{-3}\text{ моль}} = 43\text{ г/моль}$$

По результатам расчётов было установлено, что **А** является газом с неприятным запахом и молярной массой 17 г/моль, проявляющим основные свойства (реагирует с HCl). Исходя из крайне низкой молярной массы данного вещества предположим, что в его состав входит водород – H, тогда другим элементом является азот – N, а вещество имеет формулу **А = NH<sub>3</sub>**. Зная элементный состав и молярные массы веществ **В** и **С** несложно установить их химический состав: **В = N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>**, **С = HN<sub>3</sub>**.

- Исходя из результатов кристаллографического анализа рассчитаем молярные массы веществ **Д** и **Е**:

$$M(\text{D}) = \frac{\rho(\text{D}) \cdot N_a \cdot V}{z} = \frac{\rho(\text{D}) \cdot N_a \cdot a b c \sin \beta}{z} =$$

$$= \frac{1,419 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} \cdot 5,641 \cdot 5,521 \cdot 11,306 \cdot 10^{-24} \text{ см}^3 \cdot \sin 93,26^\circ}{4} =$$

$$= 75,1\text{ г/моль}$$

$$M(\text{E}) = \frac{\rho(\text{E}) \cdot N_a \cdot V}{z} = \frac{\rho(\text{E}) \cdot N_a \cdot abc}{z} =$$

$$= \frac{1365 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} \cdot 893,3 \cdot 378,2 \cdot 865,2 \cdot 10^{-36} \text{ м}^3}{4} =$$

$$= 0,06007 \frac{\text{кг}}{\text{моль}} = 60,07\text{ г/моль}$$

Несложно убедиться, что данные вещества имеют формулы  $\mathbf{D = N_5H_5}$  и  $\mathbf{E = N_4H_4}$ . Заметим, что формула вещества  $\mathbf{D}$  получается путём сложения формул веществ  $\mathbf{B = N_2H_4}$  и  $\mathbf{C = HN_3}$ , то есть вещество  $\mathbf{D}$  является азидом гидразония  $\mathbf{D = N_2H_5^+N_3^-}$ . Аналогично вещество  $\mathbf{E}$  является азидом аммония  $\mathbf{E = NH_4^+N_3^-}$ .

3. Таким образом, соединение  $\mathbf{D}$  может быть получено при взаимодействии веществ  $\mathbf{B}$  и  $\mathbf{C}$  ( $\mathbf{N_2H_4}$  и  $\mathbf{HN_3}$ ) а  $\mathbf{E}$  – по реакции между  $\mathbf{A}$  и  $\mathbf{C}$  ( $\mathbf{NH_3}$  и  $\mathbf{HN_3}$ ).

**Система оценивания:**

1.	Определение веществ $\mathbf{A}$ , $\mathbf{B}$ и $\mathbf{C}$ по 4 балла <i>из них расчёт на основании данных титрования - 3 балла, если расчёт не приведён, то верно приведенные вещества не оцениваются</i> <i>верный состав –1 балл</i>	<b>12 баллов</b>
2.	Определение веществ $\mathbf{D}$ и $\mathbf{E}$ по 3 балла <i>из них расчёт - 2 балла, если расчёт не приведён, то верно приведенные вещества не оцениваются</i> <i>верный состав –1 балл</i>	<b>6 баллов</b>
3.	Верные пары веществ по 1 баллу	<b>2 балла</b>
	<b>Итого:</b>	<b>20 баллов</b>