

7. Лаборант Коля поставил 2 одинаковых стакана на чаши рычажных весов. В **I** стакан он поместил 21.310 г $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, прилил 3.52 мл 26.20% HCl ($\rho = 1.130$ г/мл) и 194.866 г воды. После этого он подключил к **I** стакану установку для электролиза с силой тока 8.660 А. Во **II** стакан Коля налил 79.094 г концентрированного раствора AlCl_3 и разместил над стаканом капельную воронку, которая позволяет проводить приливание 14.00% раствора Na_2CO_3 ($\rho = 1.146$ г/мл) со скоростью 2.000 мл/мин. Затем Коля одновременно запустил процесс электролиза и открыл капельную воронку, а через 7 минут ушёл на обед. Когда Коля вернулся, то достал электроды из **I** стакана и закрыл капельную воронку, после чего он заметил, что чаши весов пришли в равновесие. Запишите уравнения упомянутых реакций. Оцените, сколько длился обед Коли.

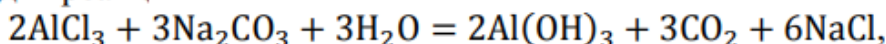
Примечание. Выход по току составляет 100%, постоянная Фарадея равна 96 485 Кл/моль. Считайте, что газы, выделяющиеся в процессе реакции, полностью улетучиваются.

№ 7

Посчитаем изменение массы в единицу времени во **II** стакане: за 1 мин приливается 2 мл Na_2CO_3 , что соответствует

$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{2.00 \text{ мл} \cdot 0.140 \cdot 1.146 \text{ г} \cdot \text{мл}^{-1}}{105.99 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1}} = 0.0030 \text{ моль}.$$

При этом происходит реакция



из сферы реакции выделяется только CO_2 , тогда $n(\text{CO}_2) = n(\text{Na}_2\text{CO}_3)$, что за 1 мин соответствует умножению $m(\text{CO}_2) = 0.0030 \text{ моль} \cdot 44.01 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1} = 0.1320 \text{ г}$. Тогда изменение массы во **II** стакане в единицу времени составляет

$$\Delta m_{\text{II}} = m_{\text{пра}}(\text{Na}_2\text{CO}_3) - m(\text{CO}_2) = 2.000 \text{ мл} \cdot \text{мин}^{-1} \cdot 1.146 \text{ г} \cdot \text{мл}^{-1} - 0.1320 \text{ г} \cdot \text{мин}^{-1} = 2.160 \text{ г} \cdot \text{мин}^{-1}.$$

Переведём в моли реагирующие вещества в **I** стакане:

$$n(\text{CuCl}_2) = n(\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = \frac{21.310 \text{ г}}{170.483 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1}} = 0.1250 \text{ моль},$$

$$n(\text{HCl}) = \frac{3.52 \text{ мл} \cdot 0.2620 \cdot 1.130 \text{ г} \cdot \text{мл}^{-1}}{36.46 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1}} = 0.0286 \text{ моль}.$$

Во время электролиза сначала будет происходить разложение CuCl_2 , затем HCl , затем H_2O .

По закону Фарадея рассчитаем время, необходимое на полное разложение CuCl_2 :

$$\tau_1 = \frac{zFn}{I} = \frac{2 \cdot 96485 \text{ Кл} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot 0.1250 \text{ моль}}{8.66 \text{ А}} = 2785 \text{ с} = 46.42 \text{ мин}.$$

При электролизе происходит следующая реакция: $\text{CuCl}_2 = \text{Cu} + \text{Cl}_2$, при этом медь осталась на электроде, который извлекли после прохождения реакции, а хлор полностью улетучился, тогда изменение массы составит:

$$\Delta m_1^{\text{CuCl}_2} = m(\text{Cu}) + m(\text{Cl}_2) = m(\text{CuCl}_2) = 0.1250 \text{ моль} \cdot 134.46 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1} = 16.81 \text{ г}.$$

Проверим, придут ли весы в равновесие. Условие равновесия: $m_1 = m_{\text{II}}$ или $m_1^0 + \Delta m_1 = m_2^0 + \Delta m_{\text{II}}$, где m_1^0 , m_2^0 — начальные массы растворов в стакане, рассчитаем их:

$$\begin{aligned} m_1^0 &= m(\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) + m_{\text{пра}}(\text{HCl}) + m(\text{H}_2\text{O}) \\ &= 21.310 \text{ г} + 3.52 \text{ мл} \cdot 1.130 \text{ г} \cdot \text{мл}^{-1} + 194.866 \text{ г} = 220.154 \text{ г}, \end{aligned}$$

$$m_2^0 = m_{\text{пра}}(\text{AlCl}_3) = 79.0936 \text{ г}.$$

Тогда

$$m_I = m_1^0 - \Delta m_1^{\text{CuCl}_2} = 220.154 \text{ г} - 16.81 \text{ г} = 203.3 \text{ г}, m_{II} = m_2^0 + \Delta m_{II} \tau_1 = 79.094 \text{ г} + 2.160 \text{ г} \cdot \text{мин}^{-1} \cdot 46.42 \text{ мин} = 179.4 \text{ г}.$$

Видно, что $m_I > m_{II}$, тогда времени τ_1 недостаточно для установления равновесия, следовательно, необходимо учесть последующий электролиз HCl.

По закону Фарадея рассчитаем время, необходимое на полное разложение HCl: $\tau_2 = \frac{zFn}{I} = \frac{2 \cdot 96485 \text{ Кл} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot 0.0286 \text{ моль}}{8.66 \text{ А}} = 637 \text{ с} = 10.62 \text{ мин}$. При электролизе происходит следующая реакция: $2\text{HCl} = \text{H}_2 + \text{Cl}_2$, при этом H_2 и Cl_2 улетучиваются, тогда изменение массы составит: $\Delta m_1^{\text{HCl}} = m(\text{H}_2) + m(\text{Cl}_2) = m(\text{HCl}) = 0.0286 \text{ моль} \cdot 36.46 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1} = 1.043 \text{ г}$.

Проверим, придут ли весы в равновесие:

$$\begin{aligned} m_I &= m_1^0 - \Delta m_1^{\text{CuCl}_2} - \Delta m_1^{\text{HCl}} = 220.154 \text{ г} - 16.81 \text{ г} - 1.043 \text{ г} = 202.3 \text{ г}, m_{II} \\ &= m_2^0 + \Delta m_{II}(\tau_1 + \tau_2) = 79.094 \text{ г} + 2.16 \text{ г} \cdot \text{мин}^{-1} \cdot (46.42 \text{ мин} + 10.62 \text{ мин}) \\ &= 202.3 \text{ г}. \end{aligned}$$

Т.к. $m_I = m_{II}$, система находится в равновесии. Таким образом, общее время реакции составит $\tau_{\text{общ}} = \tau_1 + \tau_2 = 46.42 \text{ мин} + 10.62 \text{ мин} = 57.04 \text{ мин}$. Т.к. Коля ушёл на обед через 7 мин от начала реакции, то его обед длился примерно 50 минут.

Примечание. Данная задача может быть решена и другим способом, например, аналитическим решением системы кусочно-заданных функций изменения массы от времени или графически.

Рекомендации к оцениванию:

- | | |
|---|-----------------------------|
| 1. Записаны три уравнения упомянутых реакций – по 0.5 балла за каждое (если в уравнении неверно расставлены коэффициенты, за него ставится 0.25 балла). | $0.5 \times 3 = 1.5$ баллов |
| 2. Рассчитано изменение массы за счёт электролиза CuCl_2 – 1.5 балла. | 1.5 балл |
| 3. Рассчитано изменение массы за счёт электролиза HCl – 1.5 балла. | 1.5 балла |
| 4. Рассчитано изменение массы за счёт реакции гидролиза – 1.5 балла. | 1.5 балла |
| 5. Рассчитано время обеда Коли – 4 балла. | 4 балла |

ИТОГО:

10 баллов