

Wydział WI	Imię i nazwisko Piotr Karamon Hubert Kasprzycki		Rok 2	Grupa 12	Zespół 5
PRACOWNIA FIZYCZNA WFiIS AGH	Temat: Elektroliza				Nr ćwiczenia 35
Data wykonania 07.11.2023	Data oddania 14.11.2023	Zwrot do popr.	Data oddania	Data zaliczenia	OCENA

1 Cel ćwiczenia

Pomiar różnicy mas Δm miedzianych elektrod po przeprowadzeniu elektrolizy, w celu wyznaczenia wartości równoważnika elektrochemicznego k miedzi, stałej Faradaya F oraz ładunku elementarnego e .

2 Wstęp teoretyczny

Charakterystyczną grupę przewodników prądu elektrycznego stanowią elektrolity. Są to przeważnie wodne roztwory kwasów, zasad i soli, czyli substancji krystalicznych o wiązaniu jonowym. Przy rozpuszczaniu kryształu wiązania między jonami zostają zerwane i większa część atomów przechodzi do roztworu w postaci jonów, poruszających się bezładnie w roztworze.

Gdy do roztworu elektrolitu wstawimy elektrody i dołączymy je do zewnętrznego źródła prądu stałego o różnicy potencjałów U , to ruch jonów staje się uporządkowany. Kationy zdążają do ujemnej katody, aniony do anody, czyli przez elektrolit płynie prąd. Na elektrodach jony zostają zobojętnione i stają się zwykłymi atomami lub zgrupowaniami atomów. Przepływowi prądu towarzyszy więc wydzielanie się substancji na elektrodach. Proces ten nazywamy elektrolizą.

Aby naładowany elektrycznie jon mógł zmienić się na elektrodzie na obojętny atom, musi przepłynąć ładunek równy $w \cdot e$, gdzie e jest ładunkiem elementarnym elektronu, natomiast w wartościowością

Liczba atomów wydzielonych na elektrodzie jest stosunkiem ładunku całkowitego (czyli iloczynu prądu I i czasu t) do ładunku pojedynczego jonu

$$N = \frac{It}{we} \quad (1)$$

Pierwsze prawo elektrolizy Faradaya: Masa m substancji wydzielonej na elektrodzie jest proporcjonalna do natężenia prądu I oraz czasu jego przepływu t (lub po prostu ładunku Q):

$$m = kIt \quad \text{lub} \quad m = kQ \quad (2)$$

Współczynnik proporcjonalności nazywamy elektrochemicznym równoważnikiem substancji i wynosi on:

$$k = \frac{u}{weN_A} \quad (3)$$

Masę powstałych atomów można obliczyć mnożąc liczbę atomów N przez masę pojedynczego atomu równą stosunkowi masy molowej μ do liczby Avogadra N_A , czyli

$$m = N \frac{\mu}{N_A} = \frac{\mu}{weN_A} It \quad (4)$$

Iloczyn eN_A wyraża ładunek potrzebny do wydzielania jednego gramorównoważnika chemicznego substancji. Oznacza się go zwykle literą F i nazywa stałą Faradaya. Z wzoru (3) wynika jej związek z wartością k ,

$$F = \frac{u}{wk} \quad (5)$$

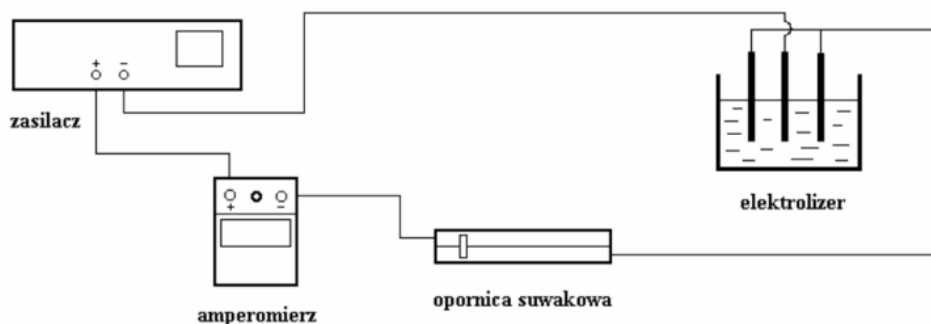
jej wartość tabelaryczna wynosi $F = eN_A = 96500 \text{ C}$

Rezultatem elektrolizy roztworu siarczanu miedzi CuSO_4 , przy użyciu elektrod miedzianych, jest wydzielanie się miedzi na katodzie i ubytek takiej samej masy elektrody dodatniej (anody).

3 Opis stanowiska i aparatury pomiarowej

Stanowisko składało się z:

- cyfrowego zasilacza napięcia stałego
- amperomierza
- trzech elektrod (dwie anody, jedna katoda) w postaci miedzianych płyt
- naczynia wypełnionego siarczanem miedzi (CuSO_4)
- wody destylowanej i suszarki
- wagi elektronicznej
- stopera w telefonie



Rysunek 1: Schematu układu pomiarowego

4 Przebieg doświadczenia

1. Oczyszcziliśmy elektrody przy użyciu papieru ściernego, następnie umyliśmy wodą zwykłą, potem destylowaną.
2. Płytki osuszyliśmy suszarkami, odczekaliśmy aż wystygną, a następnie je zważyliśmy.
3. Po zanurzeniu elektrod w elektrolicie uruchomiliśmy jednocześnie stoper oraz zasilanie układu. Amperomierz wskazał natężenie 0,5A zatem regulacja nie była potrzebna.
4. Odczekaliśmy 29 minut.
5. Po tym czasie:

- (a) wyłączyliśmy zasilanie
- (b) wynurzyliśmy elektrody
- (c) odczekaliśmy aż elektrolit spłynął z płytek
- (d) osuszyliśmy płytki
- (e) poczekaliśmy, aż wystygną
- (f) ponownie je zważyliśmy

5 Wyniki pomiarów

Tabela 1: Wyniki pomiarów

Czas elektrolizy	$t = 29 \text{ min}$
Natężenie prądu	$I = 0,5 A$
Masa katody przed elektrolizą	$m_1 = 110,387 \text{ g}$
Masa katody po elektrolizie	$m_2 = 110,683 \text{ g}$
Masa wydzielonej miedzi	$m = m_2 - m_1 = 0,296 \text{ g}$
Masa anod przed elektrolizą	$M_1 = 190,402 \text{ g}$
Masa anod po elektrolizie	$M_2 = 190,130 \text{ g}$
Zmiana masy anod	$M = M_1 - M_2 = 0.272 \text{ g}$

Tabela 2: Dane określające niepewność przyrządów

Klasa amperomierza	0,5
Używany zakres amperomierza	0,75 A
Niepewność graniczna wagi (znamionowa)	1 mg
Niepewność standardowa wagi	$u(m) = \frac{\Delta m}{\sqrt{3}} = 0,58 \text{ mg}$

6 Opracowanie wyników

Na początku wyznaczamy wartość współczynnika elektrochemicznego ze wzoru (2), czyli

$$m = kIt \implies k = \frac{m}{It}$$

$$k = \frac{0,296 \text{ g}}{0,5 \text{ A} \cdot 29 \cdot 60 \text{ s}} = 0,34023 \frac{\text{mg}}{\text{C}}$$

Korzystając z tej wartości możemy wyznaczyć wartość stałej Faradaya ze wzoru (5), pamiętając, że dla CuSO_4 $u = 63,58 \text{ g}$ i $w = 2$

$$F = \frac{u}{kw} = \frac{63,58 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{0,34023 \frac{\text{mg}}{\text{C}} \cdot 2} = 93436,79 \frac{\text{C}}{\text{mol}}$$

Możemy również obliczyć wartość ładunku elementarnego ze wzoru $F = eN_A$

$$e = \frac{F}{N_A} = \frac{93436,79 \frac{\text{C}}{\text{mol}}}{6,02214076 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}} = 1,552 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

W przeprowadzanym doświadczeniu istnieją trzy główne źródła niepewności:

- niepewność pomiaru natężenia prądu
- niepewność pomiaru czasu
- niepewność pomiaru wagi płytek miedzianych

Niepewność pomiaru czasu zależy głównie od czasu reakcji człowieka, ale również od czasu uruchomienia zasilania od momentu wciśnięcia przycisku, zatem ustalamy

$$u(t) = 1\text{s}$$

Niepewność względna pomiaru czasu wynosi:

$$\frac{u(t)}{t} = \frac{1\text{s}}{29 \cdot 60\text{s}} = 0,058\%$$

Waga elektroniczna wykorzystana w naszym ćwiczeniu ma niepewność graniczną równą 0,001g, jednakże ważone płytki były podawane wielu zabiegom. Były czyszczone wodą destylowaną, moczone w roztworze, suszone. z tego powodu przyjmujemy, że dokładność pomiaru masy płytek wynosi:

$$\begin{aligned} u(m) &= 0,015\text{g} \\ \frac{u(m)}{m} &= \frac{0,015\text{g}}{0,296\text{g}} = 5,1\% \end{aligned}$$

Niepewność analogowego amperomierza określona jest następująco:

$$\begin{aligned} \Delta I &= \frac{\text{klasa} \cdot \text{zakres}}{100} = \frac{0,5 \cdot 0,75\text{A}}{100} = 3,75\text{mA} \\ u(I) &= \frac{\Delta I}{\sqrt{3}} = \frac{0,00375\text{A}}{\sqrt{3}} = 2,2\text{mA} \\ \frac{u(I)}{I} &= \frac{2,2\text{mA}}{500\text{mA}} = 0,44\% \end{aligned}$$

k jest iloczynem i ilorazem trzech wielkości mierzonych bezpośrednio zgodnie ze wzorem (2), a zatem złożona niepewność względna jest sumą geometryczną względnych niepewności czynników

$$\begin{aligned} \frac{u(k)}{k} &= \sqrt{\left[\frac{u(m)}{m}\right]^2 + \left[\frac{u(I)}{I}\right]^2 + \left[\frac{u(t)}{t}\right]^2} = \sqrt{(0,051)^2 + (0,0044)^2 + (0,00058)^2} = 0,05119 = 5,2\% \\ u(k) &= 5,2\% \cdot 0,296\text{g} = 0,016 \frac{\text{mg}}{\text{C}} \end{aligned}$$

Stała Faradaya obliczana jest z wzoru (5) oraz ładunek elementarny obliczany jest z wzoru $F = eN_A$, w których obarczona niepewnością wartość k jest mnożona (lub dzielona) przez tablicowe wartości N_A , u oraz w , których niepewności są pomijalnie małe. Z prawa przenoszenia niepewności względnej wynika, że niepewności względne $\frac{u(F)}{F}$ oraz $\frac{u(e)}{e}$ są takie same, jak obliczona poprzednio niepewność $\frac{u(k)}{k}$.

$$\frac{u(F)}{F} = \frac{u(e)}{e} = 5,2\%$$

Zatem niepewności bezwzględne stałej Faradaya i ładunku elementarnego obliczyć można jako:

$$u(F) = F \frac{u(k)}{k} = 93436,79 \frac{\text{C}}{\text{mol}} \cdot 5,2\% = 4900 \frac{\text{C}}{\text{mol}}$$

$$u(e) = e \frac{u(k)}{k} = 1,552 \cdot 10^{-19} \text{C} \cdot 5,2\% = 0,082 \cdot 10^{-19} \text{C}$$

Tabela 3: Zestawienie wyników

	wartość tablicowa	wartość wyznaczona w eksperymentcie	różnica	niepewność	niepewność względna [%]
$k \left[\frac{\text{mg}}{\text{C}} \right]$	0,3294	0,340	0,0106	0,016	5,2
$F \left[\frac{\text{C}}{\text{mol}} \right]$	96500	93400	3100	4900	5,2
$e \left[\text{C} \right]$	$1,602 \cdot 10^{-19}$	$1,552 \cdot 10^{-19}$	$0,05 \cdot 10^{-19}$	$0,082 \cdot 10^{-19}$	5,2

Wszystkie wyliczone przez nas stałe są zgodne z wartościami tabelarycznymi, co widać porównując tabele różnic oraz niepewności. Do stwierdzenia zgodności nie potrzebowaliśmy niepewności rozszerzonej, ponieważ różnice są mniejsze od niepewności pomiarowych.

Zmiana mas anod oraz masa wydzielonej miedzi na katodzie powinny być równe, jednakże według naszych pomiarów różnią się o 0,024g. Ustalamy $U(M) = 2 \cdot u(m) = 0,030\text{g}$, ponieważ anody były dwie, a ważono jest osobno, zatem

$$U(m - M) = 2 \cdot \sqrt{[u(m)]^2 + [u(M)]^2} = 2\sqrt{5 \cdot (0,015\text{g})^2} = 0,067\text{g}$$

$$|m - M| = 0,024\text{g} < U(m - M)$$

Zatem pomimo istnienia różnicy zmiana mas anod oraz masa wydzielonej miedzi są ze sobą zgodne.

7 Wnioski

Zgodnie z przewidywaniami, wyniki uzyskane mieszczą się w zakresie wyznaczonej niepewności pomiarowej, przy czym niepewności względne wynoszą 5,2%. Z zadowalającą dokładnością wyznaczyliśmy wartość ładunku elementarnego e oraz stałej Faradaya F . Pomiedzy zmianą mas anod, a masą wydzielonej miedzi istnieje różnica 0,024g jednakże te dwie wartości są ze sobą zgodne. Głównymi źródłami niepewności były: pomiar masy przy którym trzeba było być bardzo ostrożnym i uważać by przypadkiem nie zmienić masy płytek oraz klasa przyrządów pomiarowych.