

Wydział WFiIS	Imię i nazwisko 1.Mateusz Kulig 2.Przemysław Ryś		Rok 2021	Grupa 1	Zespół 3
PRACOWNIA FIZYCZNA WFiIS AGH	Temat: Elektroliza				Nr ćwiczenia 35
Data wykonania 14.10.2021	Data oddania	Zwrot do popr.	Data oddania	Data zaliczenia	OCENA

W sprawozdaniu opisaliśmy pomiary wartości elektrochemicznego równoważnika miedzi, stałej Faradaya i ładunku elementarnego za pomocą reakcji elektrolizy. Proces przebiegał 30 minut i przez cały ten czas regulowaliśmy natężenie prądu biorącego udział w doświadczeniu, aby utrzymać jego stałą wartość. W doświadczeniu użyliśmy jednej katody i dwóch anod, w celu zwiększeniu wydajności reakcji. Badanym elektrolitem był wodny roztwór siarczanu miedzi (II). Otrzymane wartości są w zgodzie z wartością tablicową w granicach niepewności pomiaru.

1. Wstęp teoretyczny

Niektóre związki chemiczne rozpuszczone w pewnych środowiskach, na przykład w wodzie, przewodzą prąd elektryczny. Dzieje się tak, ponieważ podczas dysocjacji, czyli rozpuszczania, dana substancja rozpada się na kationy i aniony. W otrzymanym w ten sposób roztworze, nazywanym elektrolitem, jony poruszają się bezładnie. Jednak w momencie gdy do roztworu włożymy elektrody, między którymi istnieje pewna różnica potencjałów, dodatnie kationy zaczną poruszać się w stronę ujemnej katody, a ujemne aniony w stronę dodatniej katody. Powstanie wtedy uporządkowany ruch ładunków, a więc popłynie prąd elektryczny. Gdy ładunki dotrą do elektrod, zostaną na nich zobojętnione i na anodzie oraz katodzie pojawi się osad.

Wartość ładunku całkowitego wydzielonego podczas procesu elektrolizy można przedstawić jako iloraz natężenia płynącego prądu i całkowitego czasu reakcji

$$Q = It. \quad (1)$$

Ładunek pojedynczego jonu to

$$q = ew, \quad (2)$$

w którym e to ładunek elementarny, a w jest wartościowością jonu. Tak więc liczba wytworzonych atomów, będąca stosunkiem wartości ładunku całkowitego do ładunku pojedynczego jonu wyraża się wzorem

$$N = \frac{It}{ew}. \quad (3)$$

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

$$m = N \frac{\mu}{N_A} = \frac{\mu}{e w N_A} I t \quad (4)$$

W 1834 roku, angielski fizyk i chemik, Michael Faraday sformułował dwa prawa elektrolizy. Pierwsze z nich głosi, że masa substancji wydzielonej podczas elektrolizy jest proporcjonalna do ładunku, który przepłynął przez elektrolit, co można zapisać jako

$$m = kQ = kIt. \quad (5)$$

Jeśli porównamy wzory (5) i (4) to otrzymamy, że współczynnik proporcjonalności wynosi

$$k = \frac{\mu}{e w N_A}. \quad (6)$$

Nazywamy go elektrochemicznym równoważnikiem substancji. Drugie prawo Faradaya mówi, że równoważniki elektrochemiczne k pierwiastków są proporcjonalne do ich równoważników chemicznych μ/w . Iloczyn eN_A wyraża ładunek potrzebny do wydzielania jednego gramorównoważnika chemicznego substancji i jest nazywany stałą Faradaya F . Za pomocą wzoru (6) otrzymamy równość

$$F = \frac{\mu}{w k}. \quad (7)$$

2. Aparatura

W eksperymencie, mającym na celu wyznaczenie wartości stałej Faradaya oraz równoważnika elektrochemicznego miedzi metodą elektrolizy, użyliśmy następujących przyrządów:

- Stoper marki Q&Q – stopera użyliśmy do zmierzenia czasu trwania reakcji elektrolizy. Jego dokładność wynosiła 0,01[s],
- Waga marki RADWAG – waga posłużyła nam do sprawdzenia masy miedzi wytworzonej w procesie elektrolizy. Jej dokładność znamionowa wynosiła 0,001 grama, a zakres wynosił od 0 do 200 gramów,
- Amperomierz marki ERA – za pomocą amperomierza kontrolowaliśmy natężenie prądu płynącego przez obwód. Zastosowaliśmy miernik o zakresie od 0 do 0,75 ampera i klasie 0,5%,
- Opornica suwakowa,
- Statyw na anody i katodę oraz zbiornik z elektrolitem – użyte przez nas w doświadczeniu elektrody wykonane były z miedzi, a elektrolitem był wodny roztwór CuSO_4 .

3. Metodyka doświadczenia

Przeprowadzone doświadczenie polegało na wyznaczeniu stałej Faradaya oraz równoważnika elektrochemicznego miedzi metodą elektrolizy. W tym celu użyliśmy układu którego schemat znajduje się na rys.1.. Przed rozpoczęciem doświadczenia dokładnie przeczyszciliśmy miedziane płytki papierem ściernym po czym obmyliśmy je

wodą destylowaną i wysuszyliśmy suszarką. Po tej czynności dokonaliśmy trzykrotnego pomiaru masy każdej z płytek (jednej katody i dwóch anod) i za wartość przyjętą do obliczeń wzięliśmy średnią z nich. Następnie do roztworu elektrolitu wstawiliśmy elektrody i włączyliśmy źródło prądu stałego, po czym przez elektrolit zaczął przepływać prąd. Czekałmy 30 minut, by na katodzie wytrąciła się miedź w wyniku zjawiska elektrolizy. Tu również po uprzednim obmyciu i wysuszeniu dokonaliśmy trzykrotnego pomiaru masy, po czym wyciągnęliśmy średnią z nich. W przypadku katody odjęliśmy jej wagę po od wagi przed doświadczeniem. Na podstawie masy wydzielonej miedzi oraz wzorów na pierwsze i drugie prawo Faradaya byliśmy w stanie wyznaczyć szukane wartości.

4. Analiza danych

Poniżej przedstawiono zebrane dane:

Tab.1. Tabela zawierająca dane trzech serii pomiarowych masy (m_i) dla każdej z trzech elektrod przed jak i po przeprowadzonym doświadczeniu oraz średnia dla każdej serii.

	Masa przed doświadczeniem				Masa po doświadczeniu			
	m_1 [g]	m_2 [g]	m_3 [g]	\overline{m}_a [g]	m_4 [g]	m_5 [g]	m_6 [g]	\overline{m}_b [g]
Katoda	104,181	104,210	104,205	104,199	104,543	104,550	104,547	104,547
Anoda 1	138,232	138,272	138,265	138,256	138,217	138,116	138,131	138,155
Anoda 2	112,517	112,511	112,515	112,514	112,333	112,336	112,333	112,334

Zmiana masy anod w wyniku wykonanego eksperymentu wynosi:

$$\overline{m}_{a1} - \overline{m}_{b1} = 0,101 \text{ [g]}$$

$$\overline{m}_{a2} - \overline{m}_{b2} = 0,180 \text{ [g]}$$

Masa katody z już wydzieloną miedzią otrzymana w wyniku eksperymentu wynosi $\overline{m}_b = 104,547 \text{ [g]}$, przed eksperymentem wynosiła natomiast $\overline{m}_a = 104,199 \text{ [g]}$.

Masa wydzielonej miedzi równa jest zatem różnicy pomiędzy tymi wynikami.

Wynosi ona $m = 0,348 \text{ [g]}$.

Następnie przekształcając wzór (5), otrzymujemy

$$k = \frac{m}{It}.$$

Podstawiając do niego dane: $I = 0,6 \text{ [A]}$, $t = 1800 \text{ [s]}$ oraz podaną wyżej masę wydzielonej miedzi m , otrzymujemy $k = 0,0003222 \left[\frac{\text{g}}{\text{C}} \right]$. Jest to równoważnik

elektrochemiczny dla miedzi. Jego wartość tablicowa wynosi $k_t = 0,0003294 \left[\frac{\text{g}}{\text{C}} \right]$. [1]

Różnica pomiędzy tymi wartościami wynosi $|k - k_t| = 0,0000072 \left[\frac{\text{g}}{\text{C}} \right]$.

Błąd względny dokonanego pomiaru wynosi zatem $u'(k) = \frac{|k - k_t|}{k_t} = 0,022$.

Za pomocą wzoru (7) jesteśmy w stanie wyznaczyć stałą Faradaya. Podstawiając dane: $\mu = 63,58 \left[\frac{\text{g}}{\text{mol}} \right]$, $w = 2$, otrzymujemy wynik $F = \frac{\mu}{wk} = 98659 \text{ [C]}$.

Gdzie wartość tablicowa stałej Faradaya wynosi $F_t = 96500 \text{ [C]}$. [1]

Różnica pomiędzy tymi wartościami wynosi $|F - F_t| = 2159 \text{ [C]}$.

Błąd względny dokonanego pomiaru wynosi zatem $u'(F) = \frac{|F-F_t|}{F_t} = 0,022$.

Posługując się otrzymaną wyżej wartością stałej Faradaya, jesteśmy w stanie wyznaczyć wartość liczbową ładunku elementarnego e .

Podstawiając wielkości do wzoru $e = \frac{F}{N_A}$, otrzymujemy, że $e = 1,6383 \cdot 10^{-19}$ [C].

Wartość tablicowa ładunku elementarnego wynosi $e_t = 1,6022 \cdot 10^{-19}$ [C][2].

Różnica pomiędzy tymi wartościami wynosi $|e - e_t| = 0,0361 \cdot 10^{-19}$ [C].

Błąd względny dokonanego pomiaru wynosi zatem $u'(e) = \frac{|e-e_t|}{e_t} = 0,022$.

Za niepewność pomiaru masy przyjmujemy $u(m) = 0,05$ [g], ponieważ w przypadku trzykrotnego pomiaru masy każdej z elektrod wyniki różnią się o mniejszy rząd, ale na wynik mogło wpłynąć jeszcze zabrudzenie elektrolitu oraz niedokładność związana z myciem elektrod.

Niepewność natężenia prądu wynosi $u(I) = \frac{(\text{klasa amperomierza} \cdot \text{zakres})}{100} = 0,00375$ [A].

Ponieważ zakładamy, iż pomiar czasu jest obciążony zerową niepewnością (względna niepewność procentowa wynosi 0,0056%) za niepewność ładunku, który przepłynął, przyjmujemy $u(Q) = u(I) \cdot t = 6,75$ [C].

Niepewność pomiaru k wyznaczamy za pomocą prawa przenoszenia niepewności, do tego celu użyjemy wzoru

$$u(k) = \sqrt{\left(\frac{1}{It} \cdot u(m)\right)^2 + \left(\frac{-m}{I^2 t} \cdot u(I)\right)^2}.$$

Podstawiając odpowiednie wielkości otrzymujemy, że $u(k) = 0,00004634$ $\left[\frac{\text{g}}{\text{C}}\right]$.

Zatem niepewność względna pomiaru k wynosi $\frac{u(k)}{k} = 0,1438$.

Niepewność pomiaru F wyznaczamy za pomocą prawa przenoszenia niepewności, do tego celu użyjemy wzoru

$$u(F) = \left| \frac{-\mu \cdot u(k)}{wk^2} \right| = \frac{\mu \cdot u(k)}{wk^2}.$$

Podstawiając odpowiednie wielkości otrzymujemy, że $u(F) = 14189$ [C].

Co daje niepewność względną równą $\frac{u(F)}{F} = 0,1438$.

5. Podsumowanie

W wyniku zastosowania metody elektrolizy do wyznaczenia wartości równoważnika elektrochemicznego k , wartości stałej Faradaya F oraz wartości ładunku elementarnego e , wartości, które otrzymaliśmy wynoszą kolejno $k = 0,3222$ $\left[\frac{\text{mg}}{\text{C}}\right]$, $F = 98659$ [C], $e = 1,6383 \cdot 10^{-19}$ [C]. Niepewności względne otrzymanych wyników obliczone na podstawie odpowiednich wzorów pozyskanych z prawa przenoszenia niepewności są w przybliżeniu równe dla wszystkich trzech wielkości i wynoszą $u(k) = u(F) = u(e) = 0,1438$. Licząc różnice między naszymi wynikami, a wynikami tablicowymi k_t , F_t i e_t oraz dzieląc to przez owe wartości tablicowe otrzymujemy również w przybliżeniu równe sobie błędy względne wynoszące $u'(k) = u'(F) = u'(e) = 0,022$.

Jeśli skorzystamy z niepewności rozszerzonej i przeskalujemy otrzymane niepewności dla każdej z wielkości przez czynnik 2, to niepewność względna również zostanie przeskalowana o ten czynnik. Wtedy odchylenie otrzymane w wyniku przeprowadzonego eksperymentu będzie mieścić się w zakresie niepewności otrzymanej poprzez teoretyczne przewidywanie. Suma zmian wartości mas anod nie jest równa zmianie masy katody, co jest w sprzeczności z prawem zachowania masy, pomimo założenia, iż płytki nie były idealnie obmyte, a sam roztwór mógł być zanieczyszczony jonami miedzi, czy też innych metali, które w następstwie przepływu prądu wydzieliły się na katodzie.

6. Literatura

- [1] http://www.fis.agh.edu.pl/~pracownia_fizyczna/cwiczenia/35_opis.pdf - 06.11.2021
- [2] https://pl.wikipedia.org/wiki/Ładunek_elektryczny_elementarny - 06.11.2021