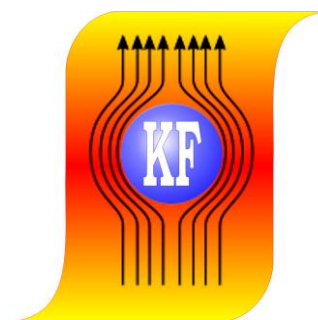
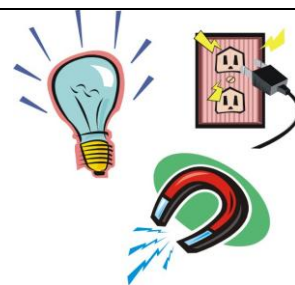


***KATEDRA FIZYKI***

***WYDZIAŁ INŻYNIERII PRODUKCJI  
I TECHNOLOGII MATERIAŁÓW  
POLITECHNIKA CZĘSTOCHOWSKA***



***PRACOWNIA  
ELEKTRYCZNOŚCI I MAGNETYZMU***



***ĆWICZENIE NR E-10***

***WYZNACZANIE RÓWNOWAŻNIKA  
ELEKTROCHEMICZNEGO MIEDZI  
I STAŁEJ FARADAYA***

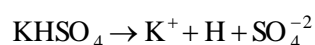
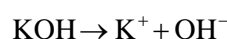
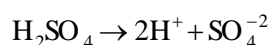
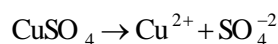
## I. Zagadnienia do przestudiowania

1. Dysocjacja elektrolityczna.
2. Przewodnictwo elektryczne cieczy - zjawisko elektrolizy.
3. Prawa elektrolizy Faradaya.
4. Równoważnik elektrochemiczny i stała Faradaya.

## II. Wprowadzenie teoretyczne

**Elektrolitami** nazywamy ciecze i niektóre ciała stałe, które mogą przewodzić prąd elektryczny i podlegają w czasie tego przepływu procesowi rozkładu chemicznego.

Cząsteczki kwasów, zasad i soli ulegają w roztworze wodnym **dysocjacji elektrolitycznej**, która polega na rozpadzie cząstek na dwie grupy jonów: dodatnie (tzw. kationy) i ujemne (aniony). Oba rodzaje jonów muszą występować jednocześnie w elektrolicie w ilościach elektrycznie równoważnych i dzięki temu sam elektrolit jest elektrycznie obojętny. Przykłady dysocjacji elektrolitycznej:



Dysocjacji elektrolitycznej ulega tylko pewien procent wszystkich cząstek substancji. Stosunek liczby cząstek dysocjowanych do ogólnej liczby cząstek w roztworze nazywamy **stopniem dysocjacji**

$$\alpha = n / N \quad (1)$$

gdzie:  $n$  - liczba cząstek dysocjowanych,  $N$  - ogólna liczba cząstek rozpuszczonych.

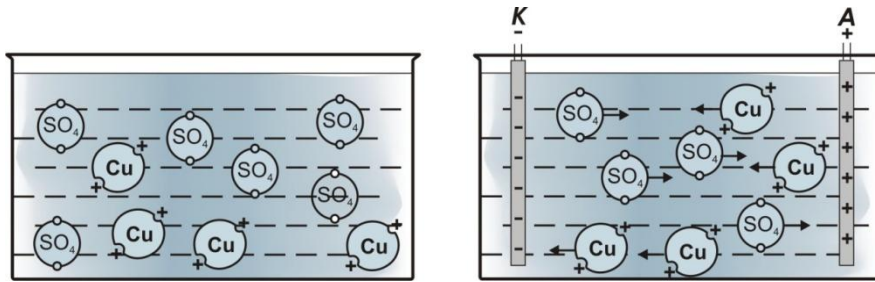
Stopień dysocjacji zależy m.in. od temperatury, stężenia roztworu, rodzaju rozpuszczonego ciała, natury rozpuszczalnika. Dysocjacji elektrolitycznej ulegają tylko takie substancje, których cząstki posiadają wiązania jonowe. Gdy taką substancję umieścimy w środowisku o dużej stałej dielektrycznej, siły przyciągania między jonami maleją w myśl prawa Coulomba

$$F = \frac{q_1 q_2}{\epsilon_0 \epsilon_r 4\pi r^2} \quad (2)$$

gdzie:  $q_1, q_2$  - ładunki jonów,  $r$  - odległość między jonami,  $\epsilon_0$  - przenikalność elektryczna względem rozpuszczalnika,  $\epsilon_r$  - przenikalność elektryczna w próżni.

Jeżeli do elektrolitu wstawimy dwie elektrody z tego samego materiału i podłączymy je do źródła prądu stałego, to pomiędzy elektrodami powstanie pole elektryczne skierowane od elektrody dodatniej (anody) do elektrody ujemnej (katody). Pod wpływem takiego pola kationy poruszają się w kierunku

katody, a aniony w kierunku anody (rys. 1). Na elektrodach jony oddają swój ładunek elektryczny i wydzielają się w postaci obojętnych atomów lub cząsteczek.



Rys. 1. Przebieg procesu elektrolizy dla  $\text{CuSO}_4$

Elektroliza odbywa się według praw odkrytych przez Faradaya, które brzmią następująco:

### I prawo Faradaya

Masa  $m$  produktu wydzielonego na elektrodzie jest wprost proporcjonalna do wielkości przeniesionego przez prąd ładunku  $q$

$$m = k q \quad (3)$$

Jeżeli stosujemy prąd stały, to  $q = I \cdot t$  ( $I$  - natężenie prądu,  $t$  - czas przepływu). Wówczas

$$m = k I t \quad (4)$$

Współczynnik  $k$  występujący w równaniach (3) i (4) nosi nazwę równoważnika elektrochemicznego danego pierwiastka. Jego wymiar wynosi:

$$[k] = \frac{[m]}{[q]} = \frac{[m]}{[I][t]} = \frac{\text{kg}}{\text{A} \cdot \text{s}} \equiv \text{kg} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \quad (5)$$

W układzie SI równoważnik elektrochemiczny jest liczbowo równy masie pierwiastka wyrażonej w kg, którą wydzieli z elektrolitu prąd o natężeniu 1A w czasie 1 s.

**II prawo Faradaya** wynika z pierwszego i mówi, że ten sam prąd (tzn. prąd o tym samym natężeniu i jednakowym czasie przepływu) wydzieli z różnych elektrolitów masy proporcjonalne do ich gramorównoważników chemicznych

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{R_1}{R_2} \quad (6)$$

gdzie:  $m_1$ ,  $m_2$  - masy wydzielone przez ten sam prąd z różnych elektrolitów,  $R_1$ ,  $R_2$  - odpowiednie gramorównoważniki chemiczne pierwiastków.

Jeżeli  $m = R$ , gdzie

$$R = A / w \quad (7)$$

to

$$Q = F \quad (8)$$

Symbole wykorzystane we wzorach (6), (7) i (8) oznaczają odpowiednio:

$A$  - gramojon, tj. liczba gramów substancji równa masie atomowej lub cząsteczkowej jonu wydzielającego się na elektrodzie,

$w$  - wartościowość jonu, tj. liczba podająca, ile atomów (jonów) wodoru może związać w związku chemicznym dany jon,

$Q$  - ładunek elektryczny,

$F$  - stała Faradaya

$$F = \frac{R}{k} \quad (9)$$

$$R = k \cdot F \quad (10)$$

Z równania (9) wyliczymy wymiar stałej Faradaya

$$[F] = \frac{\text{kg}}{\text{kg} / (\text{A} \cdot \text{s})} = \text{A} \cdot \text{s} = \text{C}$$

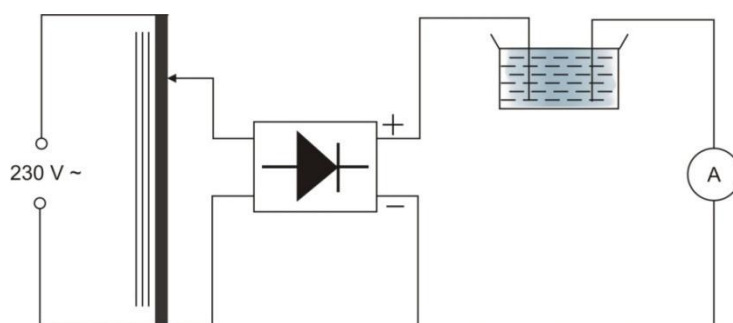
Z równań (9) oraz (3) widzimy, że stała Faradaya przedstawia ładunek elektryczny, który, przepływając przez dowolny elektrolit, wydzieli na elektrodach 1 gramorównoważnik substancji.

Elektrolizę stosuje się m.in. do uzyskiwania bardzo czystych metali, zapobiegania korozji.

### III. Zestaw pomiarowy

Zasilacz, woltametr miedziowy, amperomierz, waga analityczna, suszarka, stoper.

### IV. Schemat obwodu



## V. Przebieg ćwiczenia

1. Przygotować elektrody miedziane i elektrolit.
2. Jedną z elektrod (katodę) oczyścić za pomocą papieru ściernego.
3. Oszacować przybliżoną masę katody na wadze szalkowej.

**Zapoznać się dokładnie z instrukcją obsługi wagi analitycznej!**

4. Wyznaczyć dokładną masę  $m_1$  katody za pomocą wagi analitycznej:
  - umieścić katodę na lewej szalce wagi, na prawą przenieść odważniki z wagi szalkowej,
  - zasunąć drzwiczki,
  - odaretować wagę i dokładnie zważyć elektrodę.

**UWAGA! Umieszczać i zdejmować katodę i odważniki tylko przy wadze zaaretowanej**

5. Połączyć obwód wg schematu (katodę połączyć z ujemnym biegunem źródła). Ustalić wartość natężenia prądu 0,1 A.
6. Przeprowadzić elektrolizę w czasie 20 min.
7. Po wyłączeniu źródła prądu wymontować płytkę katody, opłukać ją pod bieżącą wodą, osuszyć suszarką (nie wycierać) i z użyciem wagi analitycznej wyznaczyć masę katody  $m_2$  po elektrolizie.
8. Pomiary powtórzyć dla innych wartości prądu  $I$  oraz czasu  $t$ .
9. Wyniki wpisać do tabeli.

## VI. Tabela pomiarów

Lp.	$m_1$ [mg]	$m_2$ [mg]	$m$ [mg]	$I$ [A]	$t$ [s]
1					
2					
3					
4					

gdzie:  $m_1$  - masa początkowa katody,  $m_2$  - masa końcowa katody,  $m = m_2 - m_1$  - masa wydzielonej miedzi.

## VII. Opracowanie wyników pomiarów

1. Na podstawie dokonanych pomiarów obliczyć równoważnik elektrochemiczny miedzi  $k$  ze wzoru

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

2. Wyznaczyć stałą Faradaya  $F$  ze wzoru

$$F = \frac{R}{k}$$

gdzie gramorównoważnik dla dwuwartościowej miedzi  $R = \frac{63,54}{2} \text{ g}$ .

3. Obliczyć wartość ładunku elementarnego elektronu  $e = F/N_A$ ,

gdzie  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ 1/mol}$  jest liczbą Avogadro.

## VIII. Rachunek błędów

Dokonać obliczenia błędów z użyciem metody różniczek zupełnej. Obliczyć również błąd względny procentowy.

1. Oszacowanie wartości  $|\Delta k|$  metodą różniczek zupełnej

$$|\Delta k| = \left| \frac{\partial f}{\partial m} \right| |\Delta m| + \left| \frac{\partial f}{\partial I} \right| |\Delta UI| + \left| \frac{\partial f}{\partial t} \right| |\Delta t| = \left| \frac{1}{It} \right| |\Delta m| + \left| \frac{-m}{I^2 t} \right| |\Delta I| + \left| \frac{-m}{I t^2} \right| |\Delta t|$$

Po obliczaniu powyższych różniczek i zastosowaniu operacji modułów otrzymujemy wzór

$$|\Delta k| = \frac{1}{It} |\Delta m| + \frac{m}{I^2 t} |\Delta I| + \frac{m}{I t^2} |\Delta t|$$

Ostatecznie powyższy wzór można napisać w bardziej wygodnej do obliczeń postaci

$$|\Delta k| = k \left[ \left| \frac{\Delta m}{m} \right| + \left| \frac{\Delta I}{I} \right| + \left| \frac{\Delta t}{t} \right| \right]$$

2. Oszacowanie wartości  $|\Delta m|$ :

$$|\Delta m_1| = |\Delta m_2| \equiv |\Delta m_w| \text{ - dokładność ważenia}$$

$$|\Delta m| = |\Delta(m_2 - m_1)| \equiv |\Delta m_2| + |\Delta m_1| = 2|\Delta m_w|$$

3. Oszacowanie błędów  $|\Delta I|$ :

$$|\Delta I| = |\Delta I_m| + |\Delta I_{odcz}|$$

gdzie:  $|\Delta I_m| = \frac{KZ}{100}$  - uchyb miernika

przy czym  $K$  oznacza klasę, a  $Z$  - zakres stosowanego miernika,

błąd odczytu  $|\Delta I_{odcz}| = 1/2$  działki.

Zatem ostatecznie

$$|\Delta I| = \frac{KZ}{100} + \frac{1}{2} \text{ działki}$$

4. Ocena  $|\Delta t|$  w zasadzie sprowadza się do niepewności oceny „szybkości” momentu włączenia prądu i ustalenia jego żądanej wartości oraz momentu wyłączenia prądu z odczytaniem wskazań miernika.

Wartość ta zależy od indywidualnego „refleksu” eksperymentatora. Można jednak przyjąć, iż przeciętna wartość  $|\Delta t|$  będzie rzędu 2 s.

## Literatura

1. Dryński T., Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, PWN, Warszawa 1978.
2. Jaworski B., Dietlaf A., Kurs fizyki, t. II, Elektryczność i magnetyzm, PWN, Warszawa 1979.
3. Lech J., Opracowanie wyników pomiarów w laboratorium podstaw fizyki, Wydawnictwo Wydziału Inżynierii Procesowej, Materiałowej i Fizyki Stosowanej PCz, Częstochowa 2005.
4. Szczeniowski S., Fizyka doświadczalna, cz. III, Elektryczność i magnetyzm, PWN, Warszawa 1972.
5. Szydłowski H., Pracownia fizyczna wspomagana komputerem, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003.

## ***Instrukcja obsługi wagi analitycznej WA-31***



### **I. Dane techniczne**

Maksymalne obciążenie wagi	200 g
Wartość wagowa działki	0,2 mg
Dokładność odczytu	±0,1 mg

### **II. Uwagi ogólne o użytkowaniu wagi**

Waga analityczna jest przyrządem pomiarowym o wyjątkowo precyzyjnej budowie, toteż zarówno jakość jej wskazań, jak i okres eksploatacji będą w dużym stopniu uzależnione od właściwego użytkowania i konserwacji. Ostrożne i delikatne włączanie wagi oraz utrzymanie jej czystości niewątpliwie okres ten przedłuży. Wszelkich manipulacji z wagą, jak tarowanie, zawieszanie wieszaków szalek, nakładanie i zdejmowanie odważników, można dokonywać tylko wtedy, gdy waga jest wyłączona. Nie wolno pozostawiać wagi niewyłączonej, gdy przestaje być użytkowana, jak również nie można dopuścić, by na skutek nieostrożności czy też nie dość delikatnego obchodzenia się z nią, belka lub wieszaki spadły z wkrętów podpierających.

### **III. Obsługa wagi**

1. Podłączyć wagę za pośrednictwem transformatora do sieci prądu zmiennego 230 V.
2. Ostrożnie włączyć wagę.
3. Wyregulować ostrość obrazu mikroskali. W tym celu należy włączyć wagę za pomocą uchwyty „2” i pokręcając pokrętką „3” tak ustawić obiektyw, aby obraz na matówce był wyraźny.



## Ćwiczenie E-10: Wyznaczanie równoważnika elektrochemicznego miedzi i stałej Faradaya

4. Ustawić matówkę w położeniu środkowym za pomocą pokrętki „1”. Możliwość przesuwania matówki służy do zerowania wagi, gdy odchylenie od położenia żarowego przy nieobciążonych szalkach jest niewielkie.
5. Przybliżoną masę katody określamy za pomocą wagi szalkowej.
6. Ciało, którego masę mierzymy, umieścić należy na szalce lewej. Odważniki kładziemy na szalce prawej.
7. Ważenia dokonujemy przy zasuniętych drzwiczkach.

### **UWAGA!**

*Nakładanie i zdejmowanie odważników odbywa się tylko przy wadze zaaretowanej (zablokowanej).*

8. Wagę wyłączać ostrożnie.