

XXIV OLIMPIADA FIZYCZNA (1974/1975). Stopień III, zadanie doświadczalne – D

Źródło: Komitet Główny Olimpiady Fizycznej,
Waldemar Gorzkowski: Olimpiady fizyczne XXIII i XXIV. WSiP, Warszawa 1977.

Nazwa zadania: Polarografia

Działy: Elektryczność

Słowa kluczowe: prawo Ohma, opór, napięcie, siła elektromotoryczna, SEM, charakterystyka prądowo–napięciowa, roztwór, elektrody węglowe, elektrolit, polaryzacja, woltomierz, amperomierz, miernik prądu

Zadanie doświadczalne – D, zawody III stopnia, XXIV OF.

Zlewki oznaczone numerami od 1 do 4 zawierają rozcieńczone roztwory soli:

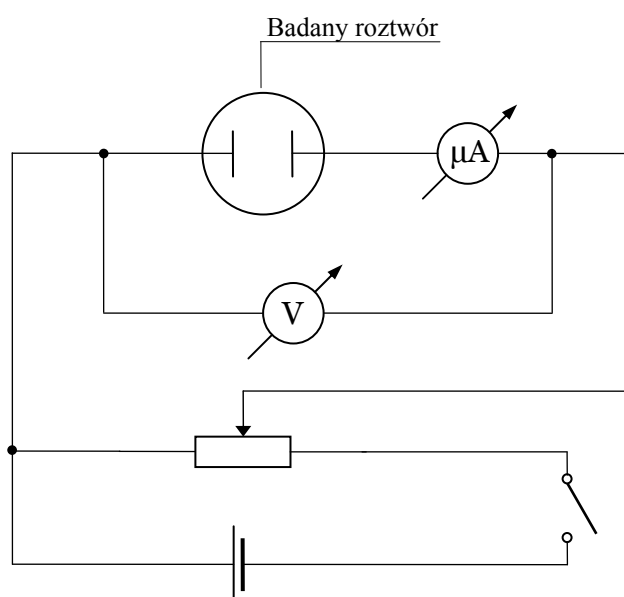
- 1 – AgNO_3 ,
- 2 – AgNO_3 (stężenie roztworu w zlewce 1 jest większe niż w zlewce 2),
- 3 – ZnSO_4 ,
- 4 – NaF .

Mając do dyspozycji: źródło prądu stałego, przewody, amperomierz, woltomierz, opornice suwakową jednakowe elektrody węglowe (10 sztuk pręcików grafitowych), plastelinę do umocowania elektrod w zlewkach oraz papier milimetrowy określ, jaka z substancji znajduje się w roztworach 1 – 4.

Wyjaśnij zaobserwowane zjawiska. Uzasadnij wybraną metodę.

Rozwiązanie

Rozwiązanie niniejszego zadania polega na zrobieniu charakterystyk prądowo – napięciowych wszystkich roztworów oraz na analizie ich przebiegu. Charakterystykę zdejmujemy za pomocą układu przedstawionego na rysunku poniżej (Rys 1).



Rys. 1.

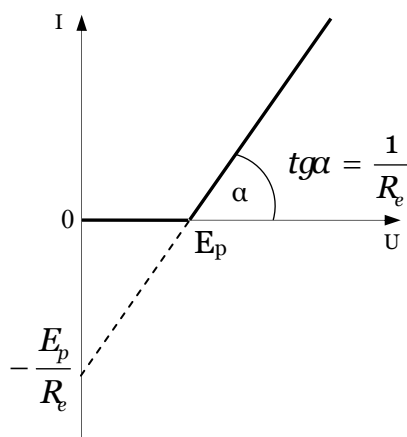
W podręcznikach czasami można znaleźć stwierdzenia, że elektrolity (przynajmniej słabe) podlegają prawu Ohma. Wydawałoby się, więc, że jeżeli zanurzymy w roztworze elektrody i przyłożymy do nich napięcie, to zależność natężenia od przyłożonego napięcia będzie liniowa $I \sim U$. Tymczasem okazuje się, że tak nie jest. Czyżby więc podręczniki podawały wiadomości nieprawdziwe?

Rzecz w tym, że rozcieńczone elektrolity rzeczywiście spełniają prawo Ohma, ale trzeba uwzględnić całkowite napięcie, które jest równe sumie napięcia zewnętrznego i napięcia pojawiającego się na elektrodach wskutek ich polaryzacji. Jeżeli będziemy brać pod uwagę napięcie zewnętrzne, a opuszczać SEM polaryzacji, to charakterystyki omowej nie dostaniemy.

Gdyby siła elektromotoryczna polaryzacji E_p była stała, to wyrażenie na natężenie prądu I byłoby następujące:

$$I = \frac{U - E_p}{R_e} = \frac{1}{R_e} U - \frac{E_p}{R_e}.$$

gdzie R_e oznacza opór elektrolitu. Wykres funkcji $I(U)$ danej tym wzorem przy założeniu dodatkowym, że dla $U < E_p$ prąd nie płynie przedstawiono na rysunku poniżej (Rys 2).



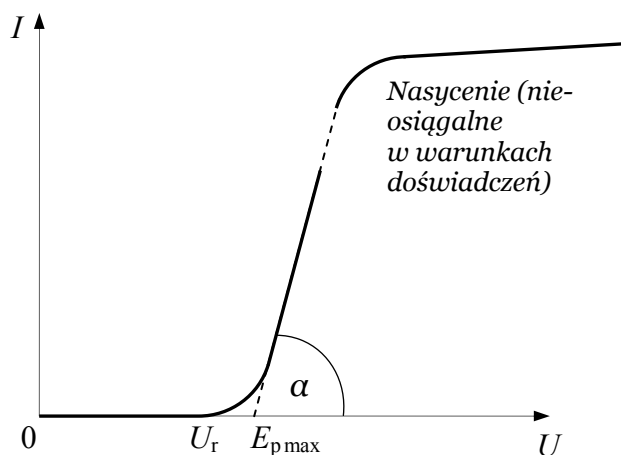
Rys. 2.

W rzeczywistości, przy niezbyt wysokich napięciach, przebieg charakterystyki jest „zaokrąglony”, co jest spowodowane zależnością zarówno E_p jak i R_e od napięcia. Typowy przebieg rzeczywistej charakterystyki prądowo – napięciowej roztworu pokazano na rysunku poniżej (Rys. 3).

Krzywa na poniższym rysunku jest scharakteryzowana trzema łatwymi do wyznaczenia parametrami:

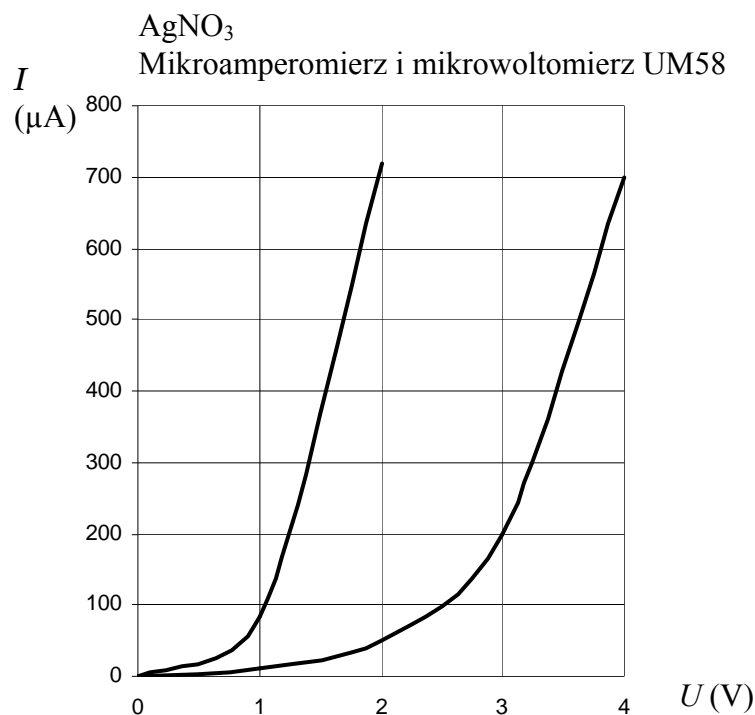
- kątem α , będącym miarą oporu elektrolitu,
- maksymalnym napięciem polaryzacji $E_{p\max}$
- napięciem rozkładu U_r , przy którym przez elektrolit zaczyna płynąć prąd.

Jeżeli chodzi o pierwszy z tych parametrów, to nie nadaje się on do identyfikacji substancji, gdyż silnie zależy od stężenia roztworu. Drugi parametr również nie jest zbyt dobry, gdyż na wartość $E_{p\max}$ wpływa wiele trudnych do skontrolowania zjawisk, takich jak na przykład różnice stężeń różnych jonów przy elektrodach. Pozostaje więc trzeci parametr, czyli napięcie rozkładu.



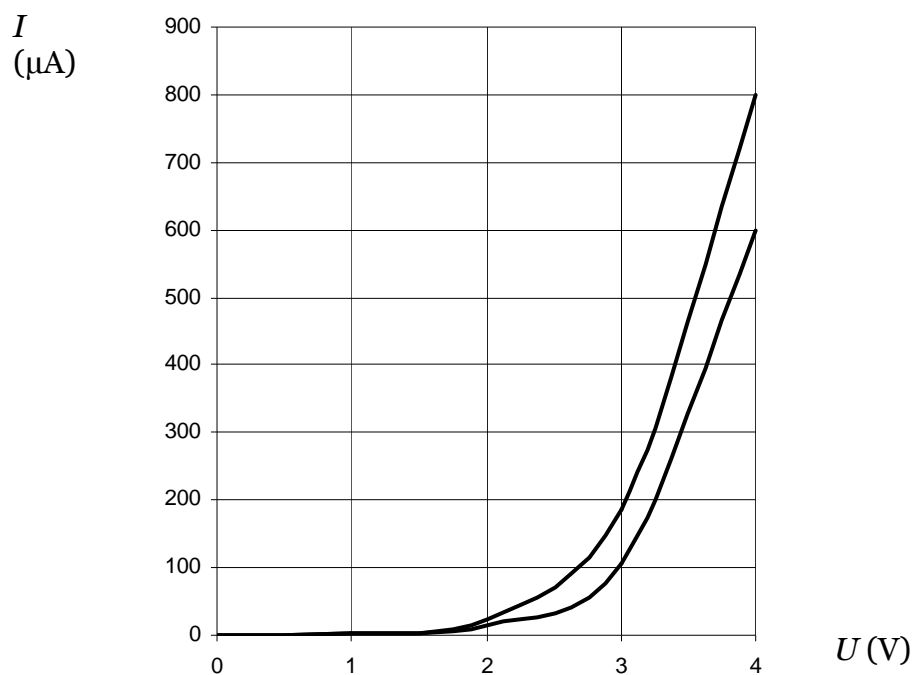
Rys. 3.

Na rysunkach 4, 5 i 6 pokazano charakterystyki prądowo – napięciowe dla substancji wymienionych w tekście zadania, przy czym dla każdej substancji pomiarów wykonano dla stężeń. Punkty doświadczalne zaznaczone na wykresach nie są równo wprost wskazaniom woltomierza i amperomierza. Zostały one zmodyfikowane przez uwzględnienie poprawek na opory wewnętrzne przyrządów (wielkości tych oporów były podane na przyrządach, którymi dysponowali zawodnicy). Z wykresów widzimy, że E_{pmax} zależy od stężenia roztworu i zgodnie z poprzednimi uwagami wielkością tą do identyfikacji substancji nie można posługiwać się (przynajmniej w naszym doświadczeniu). Natomiast wielkość U_r okazuje się prawie niezależna od stężenia i co więcej dla podanych trzech substancji wartości U_r różnią się wyraźnie. Jeżeli więc zrobimy teraz charakterystykę roztworu w zlewce 5, to będziemy mogli bez trudu określić, która substancja tam się znajdowała.



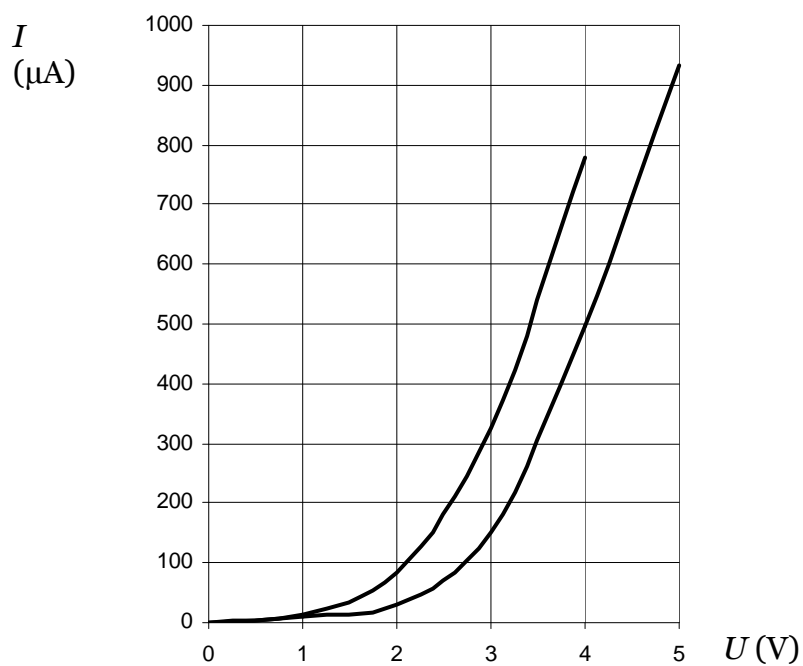
Rys. 4.

ZnSO₄
Miernik UM 38
Roztwory przygotowane z wody przegotowanej



Rys. 5

NaF
Mierniki: mikroamperomierz LAVO 3
i mikrowoltomierz



Rys. 6.

Opisane powyżej doświadczenie jest jednym z najprostszych doświadczeń polarografii.

Okazuje się, że badanie charakterystyk prądowo – napięciowych pozwala otrzymać bardzo wiele informacji. Dziedzina, która się tym zajmuje nazywa się *polarografią*. Osobom, które się tym zainteresowały warto polecić samodzielne „szperanie” w literaturze. Na początek można zajrzeć do „Encyklopedii Fizyki”, gdzie można znaleźć odnośniki do innych pozycji.

Jeżeli chodzi o pracę zawodników, to zadanie wypadło stosunkowo nieźle. Najczęstszym błędem było używanie tych samych elektrod przez przenoszenie ich ze zlewki do zlewki. Oczywiście z elektrodami przenosi się zawsze nieco roztworu. W efekcie roztwory przestają być czyste, a dla roztworów z niewielkimi nawet domieszkami charakterystyki wyglądają nieco inaczej.