

XLVI OLIMPIADA FIZYCZNA (1995/1996). Stopień I, zadanie doświadczalne – D1.

Źródło:	Komitet Główny Olimpiady Fizycznej, Fizyka w Szkole nr 3, 1997.
Autor:	Andrzej Wysmołek, KGOF, IFD UW.
Nazwa zadania:	Wyznaczanie oporności właściwej roztworu nasyconego soli
Działy:	Elektryczność
Słowa kluczowe:	generator drgań sinusoidalnych, woda, opór, opornik, napięcie, częstotliwość, głośnik, słuchawka,

Zadanie doświadczalne – D1, zawody I stopnia, XLVI OF.

Mając do dyspozycji:

- rurkę szklaną,
- strzykawkę,
- menzurkę,
- przewody miedziane w izolacji,
- wodę,
- sól kuchenną (NaCl),
- kilka oporników, o różnych, ale znanych oporach (od kilku Ω do kilkudziesięciu k Ω),
- generator drgań sinusoidalnych (dla częstości akustycznych),
- słuchawkę telefoniczną lub głośnik,
- drut oporowy,
- linijkę,

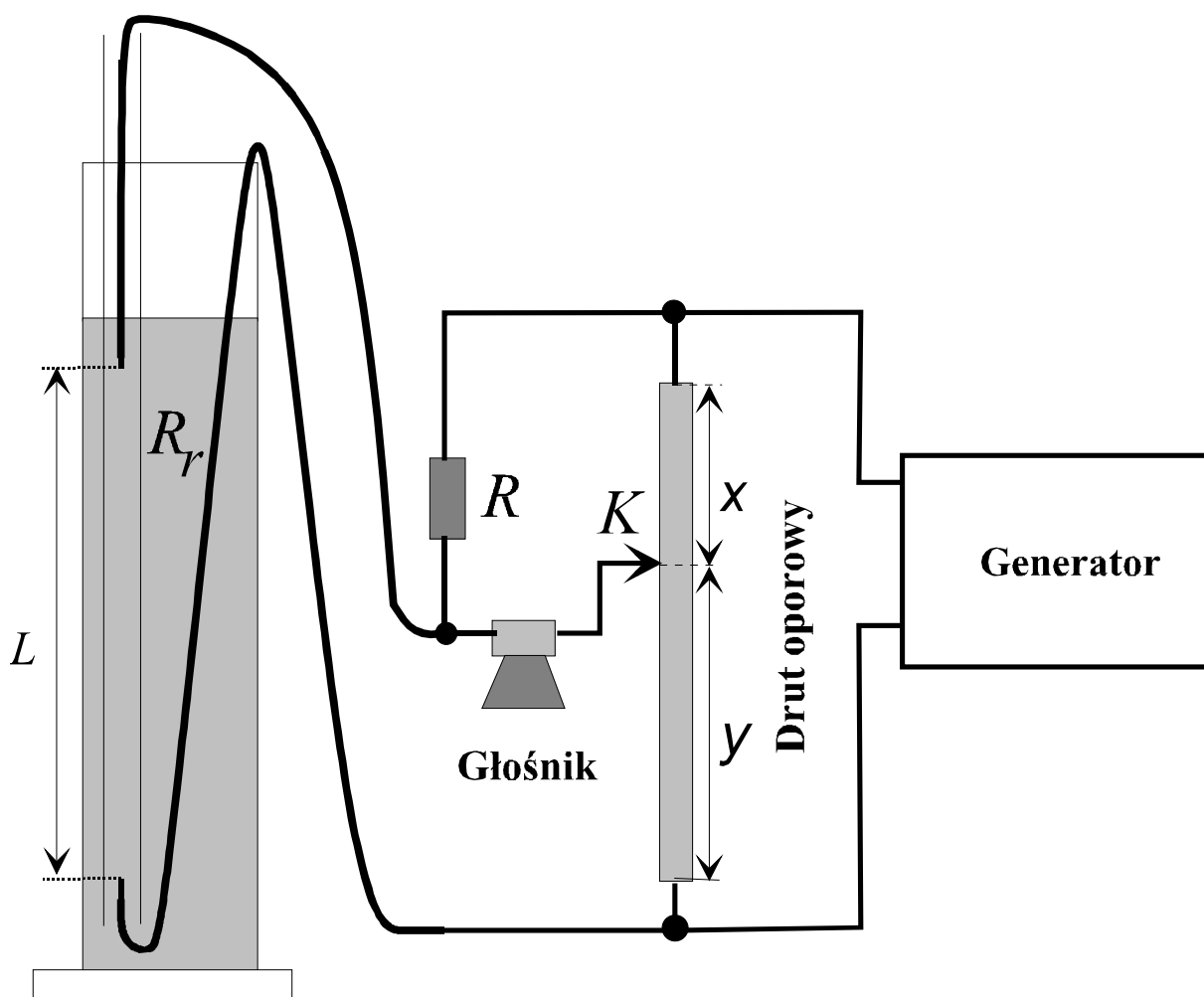
wyznacz oporność właściwą roztworu nasyconego NaCl w temperaturze pokojowej.

Uwagi

1. Należy użyć rurki o średnicy wewnętrznej bliskiej 1,5 mm. Długość rurki powinna być zbliżona do wysokości menzurki.
2. Oporniki wykorzystywane w zestawie pomiarowym należy dobrać tak aby uzyskanie możliwie dużą dokładność pomiarów.
3. Drut oporowy powinien mieć długość bliską 1 m i opór około 100 Ω . Można też użyć opornicy suwakowej o odpowiednim zakresie oporów.
4. Napięcie wytwarzane przez generator drgań sinusoidalnych nie powinno zawierać składowej stałej. Można ją wyeliminować włączając w szereg z generatorem kondensator o dużej pojemności.

Rozwiązanie

Rozwiązanie zadania polega na wykorzystaniu do pomiaru oporu roztworu mostka prądu przemiennego. Zakłada się przy tym, że opór roztworu jest identyczny dla prądu przemiennego i stałego. Taki układ przedstawiony jest na rys. 1.



Rys. 1.

Do zasilania użyto generatora drgań sinusoidalnych o częstotliwości 1 kHz. W jednej z gałęzi mostka znajduje się opornik o znanej wartości R , a w drugiej badany roztwór. Ponieważ wśród dostępnych przyrządów nie ma galwanometru ani innego miernika prądu, jego rolę pełni w układzie głośnik. Przesuwając ruchomym stykiem S po drucie oporowym, możemy znaleźć takie jego położenie, przy którym natężenie dźwięku emitowane przez głośnik osiąga minimum. Sytuacja taka zachodzi wtedy gdy mostek jest w równowadze, tzn. spełniony jest warunek

$$R_r = R \frac{y}{x}$$

lub

$$R_r = R \frac{y}{D-y} \quad (1)$$

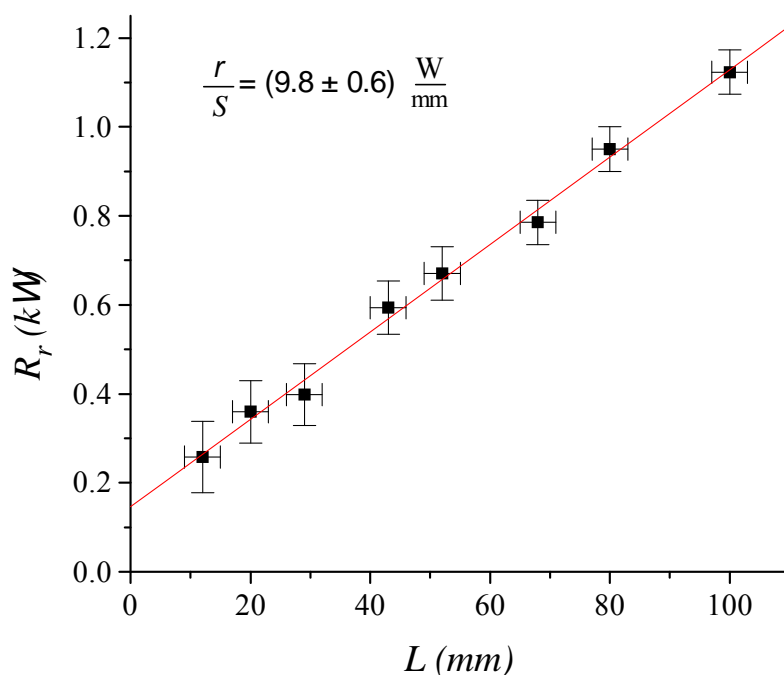
gdzie y , x – odległości od końców drutu oporowego do ruchomego kontaktu K (rys. 1), R_r – oporność roztworu, natomiast D – długość drutu oporowego.

W celu wyznaczenia oporności właściwej roztworu należy umieścić go w naczyniu o regularnym kształcie. Do tego celu wykorzystano rurkę szklaną. Rurka z wsuniętymi do jej wnętrza odizolowanymi końcówkami przewodów (pełniącymi rolę elektrod), została umieszczona w menzurce. Następnie menzurkę wypełniono badaną cieczą. Ponieważ szkło jest izolatorem, po dołączeniu przewodów do mostka, prąd przepływa tylko w części roztworu ograniczonej

przez ścianki rurki. W takiej sytuacji, opór R_r zmierzony pomiędzy końcówkami przewodów odległymi o L wyniesie

$$R_r = \frac{\rho}{S} L + R_S, \quad (2)$$

gdzie ρ – oporność właściwa roztworu, S - powierzchnia przekroju poprzecznego rurki, R_S - pewien stały opór powstający na granicy roztworu i metalu (opór kontaktów). Wykonując pomiary oporu R_r dla różnych odległości L , można, po skorzystaniu z metody dopasowania prostej wyznaczyć wartość oporności właściwej roztworu ρ . Taka procedura pozwala wyeliminować efekty związane z powstawaniem napięć na granicy elektrod i roztworu, kształtem elektrod itp. Wyniki doświadczenia przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2

Widać, że zgodnie z równaniem (2), zależność oporu roztworu R_r od odległości między kontaktami L jest liniowa. Na podstawie dopasowania prostej uzyskano wartość stosunku $\frac{\rho}{S} = (9,8 \pm 0,6) \frac{\Omega}{mm}$. Średnicę wewnętrzną rurki wyznaczono wypełniając rurkę wodą o objętości odmierzonej przy użyciu strzykawki. Mierzając linijką wysokość uzyskanego w ten sposób słupa cieczy w rurce, wyznaczono powierzchnię przekroju poprzecznego rurki $S = (6,3 \pm 0,1) mm^2$. Pozwoliło to wyliczyć wartość oporu właściwego nasyconego roztworu NaCl w temperaturze pokojowej $\rho = (62 \pm 5) \cdot 10^{-3} \Omega \cdot m$.

Wykonując zadanie należy zwrócić uwagę na szereg szczegółów eksperymentalnych mających wpływ na wynik końcowy. Przede wszystkim, należy dobrać wartość oporu R w taki sposób, by zrównoważenie mostka następowało przy położeniu ruchomego styku w pobliżu środka drutu oporowego. Wtedy błąd pomiaru oporu roztworu R_r jest najmniejszy. Wniosek taki można wysnuć badając (np. metodą różniczeki zupełnej) zależność wielkości błędu wprowadzonego przez zastosowanie wzoru (1) od błędu pomiaru odległości y . Poza tym, użycie zbyt dużego lub zbyt małego oporu R sprawia, iż minimum natężenia dźwięku uzyskuje się przy położeniu ruchomego styku na jednym z końców drutu. W celu zminimalizowania błędu

wyznaczenia położenia równowagi mostka, należy wykonać po kilka pomiarów dla każdej odległości L między końcówkami drutu zanurzonymi w roztworze. Na ich podstawie można wyznaczyć wartość średnią i błąd oporu roztworu (zaznaczone na rys. 1). Wykonanie pomiarów dla różnych odległości L i dopasowanie prostej eliminuje błąd związany z występowaniem napięć na granicy metalu i roztworu oraz niejednoznacznością określenia odległości pomiędzy odizolowanymi końcówkami drutu (elektrodami). Zastosowanie generatora drgań sinusoidalnych pozwala na uniknięcie efektów związanych z elektrolizą oraz polaryzacją elektrod.

Proponowana punktacja

1. Idea pomiaru (użycie mostka, zastosowanie szklanej rurki do uzyskania „prostej geometrii” układu, eliminacja efektów związanych z napięciami na elektrodach itp.) 6 pkt.
2. Dobór odpowiedniego opornika R 1 pkt.
3. Wykonanie (udokumentowane) pomiarów oporności właściwej roztworu 2 pkt.
4. Wykonanie pomiarów oporu roztworu dla różnych odległości L 6 pkt.
5. Powtarzanie pomiarów oporu roztworu dla danej wartości odległości L 2 pkt.
6. Wynik końcowy wraz z rachunkiem błędów oraz dyskusją warunków pomiarów 3 pkt.