

UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Człowiek - najlepsza inwestycja

# FENIKS

- długofalowy program odbudowy, popularyzacji i wspomagania fizyki w szkołach w celu rozwijania podstawowych kompetencji naukowo-technicznych, matematycznych i informatycznych uczniów

## Pracownia Fizyczna

### ćwiczenie PF-2 A:

## Badanie temperaturowej zależności oporu przewodników. Opór zastępczy układu oporników.

**Dr Andrzej Kapanowski**

*Institut Fizyki im. Mariana Smoluchowskiego*

*Uniwersytet Jagielloński*

Wersja UJ/1.2 marzec 2010

Zawarte w tym opracowaniu materiały przeznaczone są do wspomagania pracy nauczycieli i uczniów w czasie zajęć pozalekcyjnych w szkołach biorących udział w projekcie edukacyjnym FENIKS. Mają na celu ułatwienie przygotowania do zajęć laboratoryjnych w I Pracowni Fizycznej IF UJ.

<http://feniks.ujk.kielce.pl/>

[feniks@th.if.uj.edu.pl](mailto:feniks@th.if.uj.edu.pl)



- długofalowy program odbudowy, popularyzacji i wspomagania fizyki w szkołach w celu rozwijania podstawowych kompetencji naukowo-technicznych, matematycznych i informatycznych uczniów

Projekt współfinansowany jest ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

## PF-2 A Badanie temperaturowej zależności oporu przewodników. Opór zastępczy układu oporników.

### Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zbadanie temperaturowej zależności oporu kilku wybranych oporników oraz sprawdzenie reguł obliczania oporu zastępczego układu oporników połączonych równolegle i szeregowo.

### Zagadnienia do przygotowania

- przepływ prądu elektrycznego w metalach;
- napięcie elektryczne, natężenie prądu elektrycznego, opór elektryczny, jednostki tych wielkości;
- obwody elektryczne; symbole elementów obwodu elektrycznego: przewód, opornik, źródło stałej SEM (źródło stałego napięcia), wyłącznik, amperomierz, woltomierz, schemat obwodu, umowny kierunek przepływu prądu elektrycznego;
- woltomierz, amperomierz, omomierz;
- pierwsze i drugie prawo Ohma;
- pierwsze i drugie prawo Kirchhoffa;
- opór zastępczy oporników połączonych szeregowo i równolegle;
- zależność oporu przewodników od temperatury.

### Wprowadzenie

#### Pierwsze prawo Ohma

Prawo to mówi, że natężenie prądu stałego  $I$  płynącego przez opornik jest proporcjonalne do przyłożonego napięcia  $U$  (różnicy potencjałów pomiędzy końcami przewodnika), a współczynnikiem proporcjonalności jest odwrotność oporu  $R$  (jednostka  $\Omega = V/A$ ). Możemy to zapisać w postaci

$$I = \frac{1}{R}U. \quad (1)$$

#### Drugie prawo Ohma

Opór danego przewodnika zależy od jego wymiarów geometrycznych, czyli od długości przewodnika  $l$ , pola powierzchni jego przekroju poprzecznego  $S$

oraz własności fizycznych materiału z jakiego jest wykonany. Matematycznie przedstawia to następujące równanie

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (2)$$

gdzie współczynnikiem proporcjonalności jest opór właściwy  $\rho$ , który jest stałą materiałową charakteryzującą dany materiał. Dla metali w temperaturze zera stopni Celsjusza  $\rho$  jest rzędu  $10^{-8} \Omega m$ .

### **Pierwsze prawo Kirchhoffa**

Pierwsze prawo Kirchhoffa jest konsekwencją zasady zachowania ładunku elektrycznego. Mówi ono, że algebraiczna suma natężeń prądów wpływających do węzła sieci elektrycznej i prądów z niego wypływających jest równa zeru. Prądy wpływające poprzedza się znakiem plus, a prądy wypływające znakiem minus.

### **Drugie prawo Kirchhoffa**

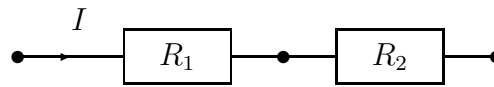
Drugie prawo Kirchhoffa jest konsekwencją zasady zachowania energii. Zanim sformułujemy to prawo, musimy najpierw zdefiniować pojęcie oczka sieci elektrycznej i siły elektromotorycznej. Oczko sieci elektrycznej jest to zamknięta część obwodu elektrycznego (czasem cały obwód składa się z jednego oczka). Siła elektromotoryczna, oznaczana jako SEM, charakteryzuje źródło energii elektrycznej, np. baterii. Jednostką SEM jest wolt, a wartość jest równa napięciu panującemu między biegunami ogniwa otwartego, tzn. nie połączonego z żadnym odbiornikiem. Napięcie między biegunami rzeczywistego ogniwa pracującego, tj. włączonego do zamkniętego obwodu elektrycznego, jest mniejsze od SEM o wartość spadku napięcia na oporze wewnętrznym ogniwa.

Drugie prawo Kirchhoffa mówi, że algebraiczna suma sił elektromotorycznych i spadków napięć występujących w oczku sieci jest równa zeru.

### **Łączenie szeregowe oporników**

Jest to takie połączenie, w którym koniec pierwszego opornika połączony jest z początkiem następnego opornika w tzw. szereg oporowy (rys. 1).

Zgodnie z pierwszym prawem Kirchhoffa, natężenie prądu płynącego przez każdy z oporników połączonych szeregowo jest takie samo i wynosi  $I$ . Na każdym oporniku następuje spadek napięcia, a więc napięcie elektryczne między



Rysunek 1: Szeregowe połączenie dwóch oporników.

końcami szeregu jest równe sumie spadków napięć na poszczególnych opornikach, co można zapisać:

$$U = U_1 + U_2. \quad (3)$$

Jeśli skorzystamy z pierwszego prawa Ohma (1), to wzór (3) przyjmie postać:

$$IR_s = IR_1 + IR_2, \quad (4)$$

gdzie  $R_s$  jest oporem zastępczym układu. Dzieląc obie strony tego równania przez  $I$ , otrzymujemy:

$$R_s = R_1 + R_2. \quad (5)$$

W analogiczny sposób można pokazać, że opór szeregowego połączenia oporników jest równy sumie oporów poszczególnych oporników.

### Łączenie równoległe oporników

Spadek napięcia na każdym z oporników jest taki sam i jest równy spadkowi napięcia  $U$  na oporze zastępczym  $R_r$  obwodu elektrycznego (rys. 2). Zgodnie z pierwszym prawem Kirchhoffa, suma natężeń prądów płynących przez poszczególne oporniki jest równa wartości natężenia prądu wpływającego do węzła, co można zapisać

$$I = I_1 + I_2. \quad (6)$$

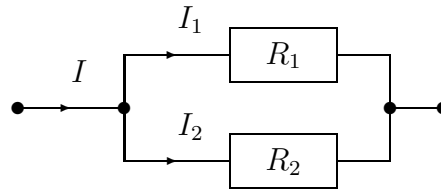
Wykorzystując pierwsze prawo Ohma (1) możemy wzór (6) zapisać jako:

$$\frac{U}{R_r} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}. \quad (7)$$

Dzieląc we wzorze (7) obie strony przez  $U$ , otrzymujemy:

$$\frac{1}{R_r} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}. \quad (8)$$

W analogiczny sposób można pokazać, że odwrotność oporu zastępczego równoległego połączenia oporników jest równa sumie odwrotności oporów poszczególnych oporników.



Rysunek 2: Równoległe połączenie dwóch oporników.

### Zależność oporu przewodników od temperatury

Klasyczna teoria przewodnictwa, zadowalająco opisująca zależność oporu metali od temperatury, została sformułowana w XIX wieku przez Drudego i Lorentza. Należy jednak pamiętać, że wiele zagadnień związanych z przewodnictwem może być wyjaśnionych jedynie na gruncie kwantowej teorii ciał stałych. Teoria kwantowa określa pasma energetyczne, których szerokości i położenie determinuje podział materiałów na przewodniki, półprzewodniki i izolatory.

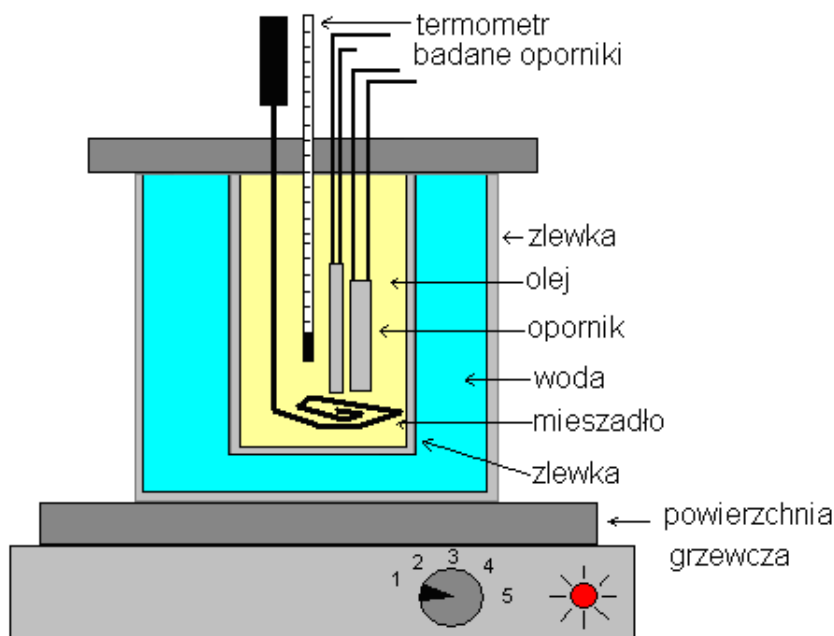
Klasyczna teoria przewodnictwa opiera się na następujących założeniach: Przewodniki charakteryzują się bardzo dużą koncentracją elektronów swobodnych stanowiących gaz elektronowy. W nieobecności zewnętrznego pola elektrycznego elektrony te są w bezustannym chaotycznym ruchu. Po przyłożeniu zewnętrznego pola elektrycznego pojawia się dodatkowa składowa prędkości elektronów, przeciwnie skierowana do wektora pola elektrycznego, w wyniku czego gaz elektronowy dryfuje pod wpływem pola elektrycznego, dając prąd elektryczny. Ruch elektronów swobodnych jest hamowany głównie przez oddziaływania z siecią krystaliczną, a poza tym przez domieszki i defekty sieci. Ze wzrostem temperatury rosną amplitudy drgań atomów w sieci wokół położenia równowagi, a stąd oddziaływania elektronów z siecią rosną, więc rośnie opór właściwy. Dla przewodników zależność oporu właściwego od temperatury można przybliżyć zależnością liniową w dość szerokim zakresie temperatur

$$\rho_T - \rho_0 = \rho_0 \alpha (T - T_0), \quad (9)$$

gdzie  $\alpha$  jest temperaturowym współczynnikiem oporu,  $T_0$  wybraną temperaturą odniesienia (zazwyczaj 0 lub  $20^\circ\text{C}$ ),  $\rho_0$  oporem właściwym w temperaturze  $T_0$ , a  $\rho_T$  oporem właściwym w temperaturze pomiaru  $T$ . Ponieważ bezpośrednio mierzoną wielkością jest opór  $R$ , to korzystając ze wzoru (2) przekształcamy wzór (9) do postaci

$$R_T - R_0 = R_0 \alpha (T - T_0), \quad (10)$$

gdzie  $R_0$  jest oporem przewodnika w temperaturze  $T_0$ , a  $R_T$  jego oporem w temperaturze  $T$ . Dla metali  $\alpha$  jest rzędu  $10^{-3}\text{K}^{-1}$  ( $0.001\text{ 1/K}$ ).



Rysunek 3: Układ do badania zależności temperaturowej oporu.

## Przebieg ćwiczenia

W skład układu laboratoryjnego wchodzi termometr rtęciowy, oporniki (niklowy, platynowy, węglowy), dwie zlewki, mieszadło, miernik uniwersalny, maszynka elektryczna, kable połączeniowe. Układ doświadczalny jest przedstawiony na rysunku 3.

W mniejszej zlewce, wypełnionej olejem parafinowym, umieszczone są oporniki, termometr i mieszadło. Jest ona zanurzona w większej zlewce wypełnionej wodą. Całość stoi na maszynce elektrycznej, którą możemy podgrzewać układ. Należy dopilnować, aby przewody elektryczne nie stykały się z powierzchnią grzewczą maszynki. Podczas grzania należy nieustannie mieszać olej mieszadłem. Temperaturę wskazuje termometr umieszczony w oleju (powinien znajdować się na tej samej głębokości, co oporniki). Wartości badanych oporów mierzymy za pomocą miernika uniwersalnego, pracującego jako omomierz.

W pierwszej części ćwiczenia należy zmierzyć wartości oporów w temperaturze pokojowej. Następnie należy wykonać połączenie szeregowe, a następnie połączenie równoległe oporników (wg schematu na rys. 1 i 2, odpowiednio) mierząc opór całkowity w tych konfiguracjach.

W drugiej części ćwiczenia badamy zależność oporu od temperatury. Najpierw mierzymy wartość oporu opornika węglowego podczas ogrzewania, no-

tując wartość oporu co  $5^{\circ}\text{C}$  aż do osiągnięcia temperatury wrzenia wody. W temperaturze wrzenia wody stabilizujemy układ przez około 10 min (należy pamiętać o mieszaniu), a następnie mierzymy opory badanych oporników. W czasie ostygnięcia dokonujemy pomiaru temperaturowej zależności oporu niklu i platyny. Aby przyspieszyć stygnięcie układu należy włączyć wentylator. Można również, przy zachowaniu ostrożności, usunąć gorącą maszynkę.

## Szkic opracowania wyników

W pierwszej części należy obliczyć opór zastępczy dla oporników połączonych szeregowo i równolegle, oszacować niepewności pomiarowe i porównać otrzymane wartości z wartościami wyznaczonymi eksperymentalnie.

W drugiej części należy wykonać wykresy zależności oporu od temperatury dla badanych oporników (jeśli to możliwe, w jednym układzie współrzędnych). Dla kilku punktów narysować prostokąty niepewności pomiarowych. Do danych eksperymentalnych dopasować prostą (dopasowanie graficzne lub metodą regresji liniowej), wyznaczyć wartości i oszacować niepewności współczynników kierunkowych tych prostych, a następnie wyliczyć wartości temperaturowego współczynnika oporu badanych materiałów. Sprawdzić zgodność uzyskanych wyników z wartościami tablicowymi.

## Literatura

- [1] D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy Fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, str. 135-141, 155-171.
- [2] Sz. Szczeniowski, *Fizyka doświadczalna*, tom 3, PWN, Warszawa 1972, str. 163-179, 211-218, 223-226.
- [3] T. Dryński, *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki*, PWN, Warszawa 1977.
- [4] H. Szydłowski, *Pracownia fizyczna*, PWN, Warszawa 1989.
- [5] Programy: *Prawo Ohma i Szeregowe i równoległe łączenie oporów*, [http:// fizyka.zamkor.pl / aplety / programy\\_fizyka\\_gimnazjum / prog\\_fiz\\_gim1.htm](http://fizyka.zamkor.pl/aplety/programy_fizyka_gimnazjum/prog_fiz_gim1.htm)
- [6] W. Nowak, *Funkcja liniowa i wielkości wprost proporcjonalne*, [http:// fizyka.zamkor.pl / aplety / programy\\_nauczycielskie / prog\\_fiz\\_naucz.htm](http://fizyka.zamkor.pl/aplety/programy_nauczycielskie/prog_fiz_naucz.htm)