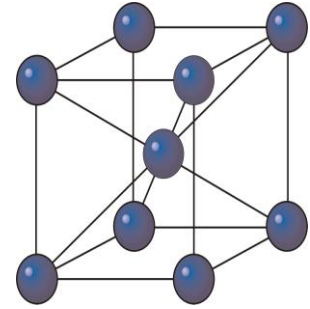


**KATEDRA FIZYKI**  
**WYDZIAŁ INŻYNIERII PRODUKCJI  
I TECHNOLOGII MATERIAŁÓW**  
**POLITECHNIKA CZĘSTOCHOWSKA**



**FIZYKI CIAŁA STAŁEGO**



**ĆWICZENIE NR FCS - 7**

**CECHOWANIE TERMOELEMENTU  $Fe-Mo$  I  
WYZNACZANIE PUNKTU INWERSJI**

### **I. Zagadnienia do opracowania**

1. Przewodnictwo elektryczne.
2. Zjawisko Seebecka.
3. Zjawisko Peltiera.
4. Zjawisko Thomsona.
5. Inwersja termoelektryczna.

### **II. Przebieg ćwiczenia**

1. Zakryć płytą ceramiczną otwór pieca oporowego.
2. Przełącznikiem obrotowym wybrać na multimetrze PC510 pozycję mV  $\overline{\text{---}}$  (pomiar napięcia stałego).
3. Przyciskiem RANGE wybrać zakres 50,00 mV. Na wyświetlaczu pojawi się 00.00 mV
4. Uzupelnąć ilość wody i lodu w naczyniu.
5. Odczytać początkową temperaturę pieca, którą wskazuje termometr rtęciowy oraz odczytać wskazanie woltomierza i wyniki odczytów wpisać do tabeli pomiarów.
6. Włączyć do sieci autotransformator, sprawdzić czy zasilanie pieca jest podłączone do zacisków A autotransformatora, następnie dźwignię A autotransformatora przesunąć do wartości 40 V zaznaczonej poziomą kreską.
7. Odczytywać temperaturę pieca co 10° C i odpowiadające jej wskazania woltomierza wpisywać do tabeli pomiarów. Pomiar zakończyć przy temperaturze pieca 280° C.
8. Po osiągnięciu temperatury 280° C dźwignię A autotransformatora cofnąć do pozycji zero i wyłączyć go.
9. Wyłączyć woltomierz.
10. Odkręcić kran z wodą i schłodzić piec oporowy przy odsłoniętym otworze pieca.

### **III. Tabela pomiarowa**

Lp	t [°C]	$\varepsilon$ [mV]

### **IV. Opracowanie wyników pomiarów**

1. Na papierze milimetrowym formatu A-4 sporządzić wykres zależności  $\varepsilon = f(t)$ . Otrzymana krzywa nosi w praktyce nazwę, krzywej cechowania termopary. W przypadku innych termopar np. NiCr - Ni, PtRh - Pt wykresem  $\varepsilon = f(t)$  jest linia prosta.
2. Na podstawie krzywej cechowania badanej termopary określić:
  - a. przedział stosowalności tej termopary jako miernika temperatury. Należy pamiętać, że od każdego miernika żądamy, aby jego wskazania były jednoznaczne w tym przypadku jednej wartości  $\varepsilon$  musi odpowiadać jedna wartość temperatury t.
  - b. temperaturę punktu neutralnego -  $t_0$ .
  - c. temperaturę punktu inwersji  $-t_1$ .

Krzywa cechowania badanej termopary ma przebieg paraboliczny i w przybliżeniu można ją opisać równaniem  $\varepsilon(t) = a t + b t^2$ ; w punkcie neutralnym  $\varepsilon = \varepsilon_{\max}$ , więc można napisać:

$$\varepsilon_{\max} = a t_0 + b t_0^2 \quad (1)$$

natomiast dla punktu inwersji  $\varepsilon = 0$ , więc możemy napisać:

$$0 = a + bt_i \quad (2)$$

Rozwiązując układ równań (1) i (2) możemy obliczyć współczynniki a i b, które wyrażają się wzorami:

$$a = \frac{t_i \cdot \varepsilon_{\max}}{t_o(t_i - t_o)} \quad b = -\frac{\varepsilon_{\max}}{t_o(t_i - t_o)}$$

3. Metodą różniczeki zupełnej oszacować dokładność wyznaczenia współczynników a i b:

$$|\Delta a| = \left| \frac{\partial a}{\partial \varepsilon_{\max}} \right| \cdot |\Delta \varepsilon_{\max}| + \left| \frac{\partial a}{\partial t_i} \right| \cdot |\Delta t_i| + \left| \frac{\partial a}{\partial t_o} \right| \cdot |\Delta t_o|$$

$$|\Delta b| = \left| \frac{\partial b}{\partial \varepsilon_{\max}} \right| \cdot |\Delta \varepsilon_{\max}| + \left| \frac{\partial b}{\partial t_i} \right| \cdot |\Delta t_i| + \left| \frac{\partial b}{\partial t_o} \right| \cdot |\Delta t_o|$$

Przyjmując, że  $|\Delta t_i| = |\Delta t_o| = |\Delta t|$  i po wykonaniu operacji różniczkowania otrzymujemy

$$|\Delta a| = \left| \frac{t_i}{t_o(t_i - t_o)} \right| \cdot |\Delta \varepsilon_{\max}| + \left| \frac{\varepsilon_{\max}(t_i - t_o)}{[t_o(t_i - t_o)]^2} \cdot (t_i + t_o) \right| \cdot |\Delta t|$$

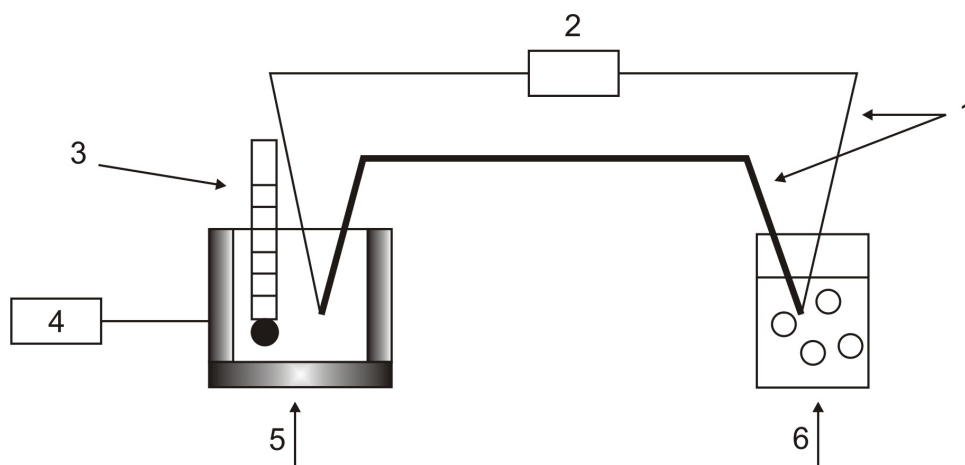
$$|\Delta b| = \left| \frac{\Delta \varepsilon_{\max}}{t_o(t_i - t_o)} \right| + \left| \frac{\varepsilon_{\max} t_i}{[t_o(t_i - t_o)]^2} \right| \cdot |\Delta t|$$

3. Przeprowadzić krótką analizę rachunku błęd.

## V. Literatura

1. T. Rewaj i in. - Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki w Politechnice.
2. H Szydłowski - Pracownia fizyczna.
3. A Zawadzki, H. Hofmokl - Laboratorium fizyczne.

## VI. Schemat pomiarowy



Ćwiczenie FCS-7: Cechowanie termoelementu (termopary) żelazo-molibden i wyznaczenie punktu inwersji

1 – termoelement, 2 – miliwoltomierz cyfrowy, 3 – termometr rtęciowy, 4 – autotransformator, 5 – piec oporowy, 6 – naczynie z mieszaniną wody i lodu.

## Zasada sporządzania wykresów

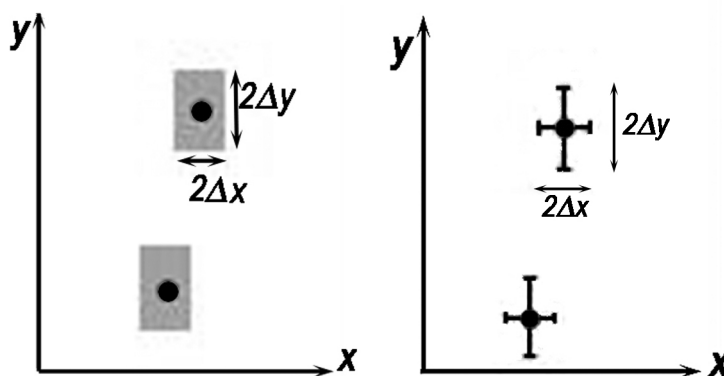
Prawidłowe opracowanie wyników pomiarów wymaga wykonania odpowiedniego wykresu. Podczas robienia wykresu należy kierować się następującymi zasadami:

1. Wykres wykonuje się na papierze milimetrym. Na układzie współrzędnych definiujemy liniowe osie liczbowe w przedziałach zgodnych z przedziałami zmienności wartości  $X$  i  $Y$ ; oznacza to, że na każdej z osi odkładamy tylko taki zakres zmian mierzonej wielkości fizycznej, w którym zostały wykonane pomiary. Nie ma zatem obowiązku odkładania na osiach punktów zerowych, gdy nie było w ich okolicy punktów pomiarowych (chyba, że w dalszej analizie konieczne będzie odczytanie wartości  $Y$  dla  $X=0$ ). Skalę na osiach układu nanosimy zazwyczaj w postaci równooddalonych liczb. Ich wybór i gęstość na osi musi zapewniać jak największą prostotę i wygodę korzystania z nich. Na osiach wykresu muszą być umieszczone odkładane wielkości fizyczne i ich jednostki lub wymiary.

2. Punkty nanosimy na wykres tak, by były wyraźnie widoczne, zaznaczamy je kółkami, trójkątami, kwadracikami itp. Na rysunku należy zaznaczyć również niepewności pomiarowe w postaci prostokątów lub odcinków.

*Graficzne przedstawienie niepewności systematycznej:*

Założmy, że wartości  $x$  i  $y$  otrzymane z pomiarów są obarczone odpowiednio niepewnościami  $\Delta x$  i  $\Delta y$ . Oznacza to, że rzeczywiste wartości tych wielkości mieszczą się w przedziałach od  $x-\Delta x$  do  $x+\Delta x$  oraz od  $y-\Delta y$  do  $y+\Delta y$ . Na wykresie zależności  $Y(X)$  przedziały te wyznaczają wokół punktów  $(x,y)$  prostokąty o bokach  $2\Delta x$  i  $2\Delta y$ . Niepewności te można również zaznaczać wokół punktu pomiarowego  $(x,y)$  poprzez odcinki o długości  $2\Delta x$  i  $2\Delta y$  (rys.1)



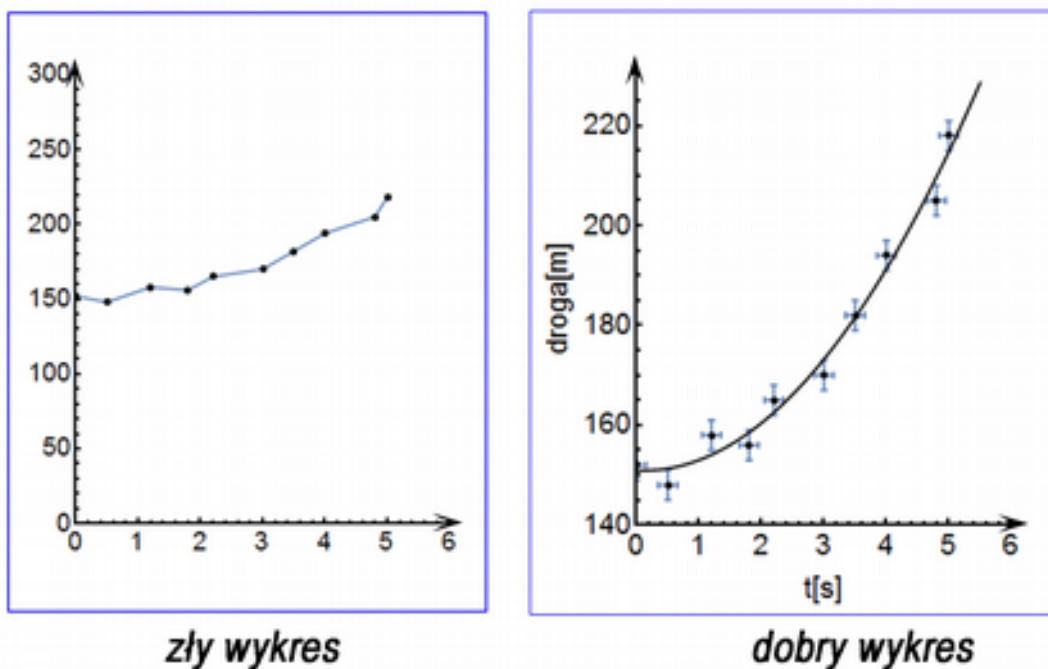
Rys.1 Zaznaczanie niepewności wokół punktów pomiarowych.

**Uwaga:** Jeżeli wartość zmiennej  $X$  jest dokładnie znana (czyli  $\Delta x=0$ ), to na wykresie zaznaczamy tylko niepewności na osi zmiennej zależnej (na osi  $y$ ).

Ćwiczenie FCS-7: Cechowanie termoelementu (termopary) żelazo-molibden i wyznaczenie punktu inwersji

3. Rozmiar wykresu nie jest dowolny i nie powinien wynikać z tego, że dysponujemy takim, a nie innym kawałkiem papieru (na rys.2 arkusz papieru milimetrowego zaznaczony jest kolorem niebieskim). Rozmiar powinien być określony przez niepewności pomiarowe tych wielkości, które odkłada się na osiach. Niepewność ta powinna w wybranej skali być odcinkiem o łatwo zauważalnej, znaczącej długości.
4. Następnie prowadzimy odpowiednią krzywą (nie może to być linia łamana!) tak, by przecinała w miarę możliwości punkty pomiarowe, ale nie należy dążyć do tego, aby przechodziła ona przez wszystkie punkty, ponieważ każdy z nich obarczony jest niepewnością. W przypadku dużych rozrzutów staramy się, by ilość punktów poniżej i powyżej krzywej była zbliżona - w ten sposób uśredniamy graficznie wyniki pomiarów. W przypadku zależności nieliniowych korzystamy z krzywek.
5. Każdy rysunek powinien być podpisany. Etykieta wykresu wyjaśnia, co rysunek zawiera, co reprezentują zaznaczone krzywe.

**PODSUMOWANIE:**



Rys.2