E2. Cechowanie termopary

***Celem ćwiczenia** jest poznanie mechanizmu zjawisk termoelektrycznych oraz pomiar siły termoelektrycznej termopary i doświadczalne wyznaczenie jej współczynnika termoelektrycznego.*

W zamkniętym obwodzie elektrycznym składającym się z połączonych szeregowo dwóch metali lub półprzewodników, gdy miejsca ich styków znajdują się w różnych temperaturach, powstaje różnica potencjałów, zwana ***siłą termoelektryczną*** lub *siłą elektromotoryczną Seebecka.* Obwód taki nazywamy ***ogniwem termoelektrycznym*** lub ***termoelementem*** lub ***termoparą.***

Zjawisko to można wytłumaczyć na podstawie elektronowej budowy materii. Koncentracja elektronów swobodnych *n* (czyli liczba elektronów w jednostce objętości) jest różna w różnych metalach. Na styku dwóch metali A i B elektrony przechodzą z metalu o większej koncentracji do metalu o mniejszej koncentracji, na skutek czego jeden z metali ładuje się dodatnio, a drugi ujemnie. Powstaje różnica potencjału, która utrudnia dalszy przepływ ładunków. Jest to tzw. ***kontaktowa różnica potencjałów*** lub inaczej ***napięcie kontaktowe*** U_{AB}, które zależy od struktury elektronowej obu stykających się metali i od temperatury złącza:

$$U_{AB} = \frac{kT}{e} \ln \frac{n_B}{n_A} \qquad (1)$$

gdzie: k oznacza stałą Boltzmanna, n_A i n_B – koncentracje elektronów swobodnych w metalach A i B, T – temperaturę w skali Kelwina.

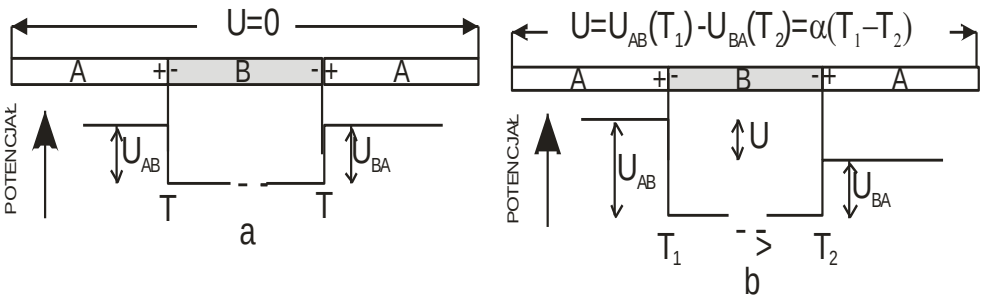
W obwodzie zamkniętym złożonym z dwóch różnych metali, w którym temperatury złącz są jednakowe, napięcie U_{AB} powstające na jednym złączu jest kompensowane przez napięcie U_{BA} na drugim złączu i w obwodzie prąd nie płynie. Jeżeli temperatury obu złącz są różne ($T_1 \neq T_2$), wówczas napięcie U_{AB} jest różne od U_{BA} i w obwodzie pojawi się ***siła termoelektryczna U***, powodująca przepływ prądu:

$$U = U_{AB} - U_{BA} = \frac{k}{e}(T_1 - T_2) \ln \frac{n_A}{n_B} \qquad (2).$$

W przypadku metali (przewodników), w których koncentracja elektronów jest stała i niezależna od temperatury, równanie (2) można sprowadzić do postaci:

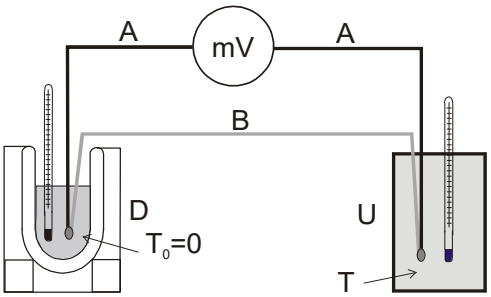
$$U = \alpha(T_1 - T_2), \qquad (3)$$

gdzie α oznacza tzw. ***współczynnik termoelektryczny*** termopary i wyraża się w mV/K lub μV/K.



Rys.1 Schemat połączenia dwóch metali A i B w sekwencji A-B-A oraz potencjałów kontaktowych powstających na łączach i siły termoelektrycznej U na końcach otwartej termopary w przypadku jednakowych temperatur obu złącz (rys.a) i różnych (T_1>T_2) temperatur złącz (rys.b)

Zjawisko termoelektryczne możemy wykorzystać do pomiaru temperatury. Stosujemy wówczas termoparę złożoną z dwóch metali, jak pokazuje rys.2.



Rys. 2

Jeżeli oba spojenia będą miały różne temperatury to woltomierz zgodnie ze wzorem (3) wskaże napięcie proporcjonalne do różnicy temperatur. Tę różnicę możemy wyznaczyć jeżeli znamy charakterystykę danej termopary, czyli jej współczynnik termoelektryczny α . Wyznaczenie tej charakterystyki, czyli zależności $U = f(T_1\text{-}T_2)$ jest właśnie celem niniejszego ćwiczenia. Cechowanie termopary w zakresie temperatur od 0 do 100°C najłatwiej wykonać umieszczając jedno ze spojeń termopary w zbiorniku cieplnym o stałej temperaturze odniesienia (zwykle jest to mieszanina wody z lodem utrzymująca temperaturę topnienia lodu czyli 0°C), a drugie w układzie termodynamicznym, którego temperaturę możemy kontrolować i mierzyć niezależnym termometrem. Rejestrując teraz wartości napięcia U dla różnych temperatur otrzymujemy zależność U od T oraz wartość współczynnika α, co pozwoli na stosowanie wycechowanej termopary jako niezależnego termometru.

Literatura uzupełniająca:

1. Cz. Bobrowski, Fizyka- krótki kurs, Rozdz7.12

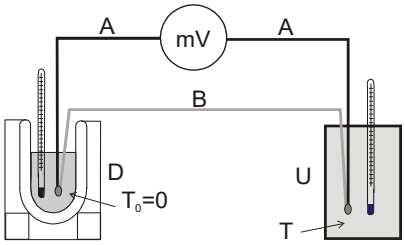
Zobacz też:

symulacje komputerowe na stronie internetowej *Katedry Fizyki i Biofizyki*

(https://sparrow.up.poznan.pl/kfb/) (zakładka: *Symulacje zjawisk fizycznych*),

E2. Protokół pomiarów i obliczeń

Nr pary	Imię i nazwisko studenta	Wydział grupa
data	Imię i nazwisko prowadzącego	Zaliczenie



Rys. Schemat układu pomiarowego
D - naczynie Dewara (termos) z mieszaniną woda-lód, U – układ o temperaturze kontrolowanej i mierzonej niezależnym termometrem ; mV – miliwoltomierz, B- metal B np. konstantan, A - metal A np. miedź

Wykonanie ćwiczenia

Przyrządy: termopara, miliwoltomierz, naczynie Dewara (termos), grzejnik elektryczny, naczynie z wodą, 2 termometry.

1. Termos wypełniamy mieszaniną wody z lodem i sprawdzamy czy jej temperatura wynosi 0°C. Jeżeli nie, mieszamy i czekamy na ustalenie się równowagi termodynamicznej, ewentualnie dodajemy lodu.
2. Jedno złącze termopary umieszczamy w termosie (w mieszaninie wody z lodem), a drugie - w naczyniu z wodą, która – początkowo - ma temperaturę pokojową.
3. Włączamy miliwoltomierz i odczytujemy jego wskazanie w temperaturze pokojowej.
4. Włączamy grzejnik elektryczny i rozpoczynamy podgrzewanie drugiego złącza termopary, umieszczonego w naczyniu z wodą.
5. Co 5 stopni, zapisujemy temperaturę podgrzewanego złącza i odpowiadające jej napięcie termoelektryczne U [mV]. Wyniki wpisujemy do tabeli.

Tabela

t [°C]													
U [mV]													

Opracowanie wyników

1. Na papierze milimetrowym wykreślamy zależność napięcia U od różnicy temperatur obu złącz termopary, tj. $\delta T = T_1 - T_2$, którą obrazuje wzór: $U = \alpha(T_1 - T_2)$. Różnicę temperatur możemy wyrazić w skali Celsjusza, czyli: $\delta t = t_1 - t_2$, a ponieważ w naszym ćwiczeniu $t_2 = 0°C$, więc praktycznie wykreślamy zależność U=f(t), gdzie t[°C] oznacza temperaturę podgrzewanego złącza.
2. Obliczamy współczynnik kierunkowy otrzymanej prostej, który jest równy współczynnikowi termoelektrycznemu α badanej termopary. Wartość α oraz błąd $\Delta\alpha$ możemy obliczyć za pomocą programu komputerowego.

   *<u>Uwaga:</u> Jeśli współczynnik kierunkowy α otrzymanej prostej wyznaczamy z wykresu sporządzonego na papierze milimetrowym, wówczas błąd współczynnika kierunkowego $\Delta\alpha$ wyznaczamy z dokładności odczytu poszczególnych wartości naniesionych na wykresie – patrz „Graficzna analiza wyników" (**https://sparrow.up.poznan.pl/kfb/**).*
3. Po odpowiednim zaokrągleniu znalezionych parametrów zestawiamy wartość współczynnika termopary z błędem bezwzględnym tej wielkości:

$$(\alpha \pm \Delta\alpha) = (\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \pm \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots)\ [\ldots\ldots]$$