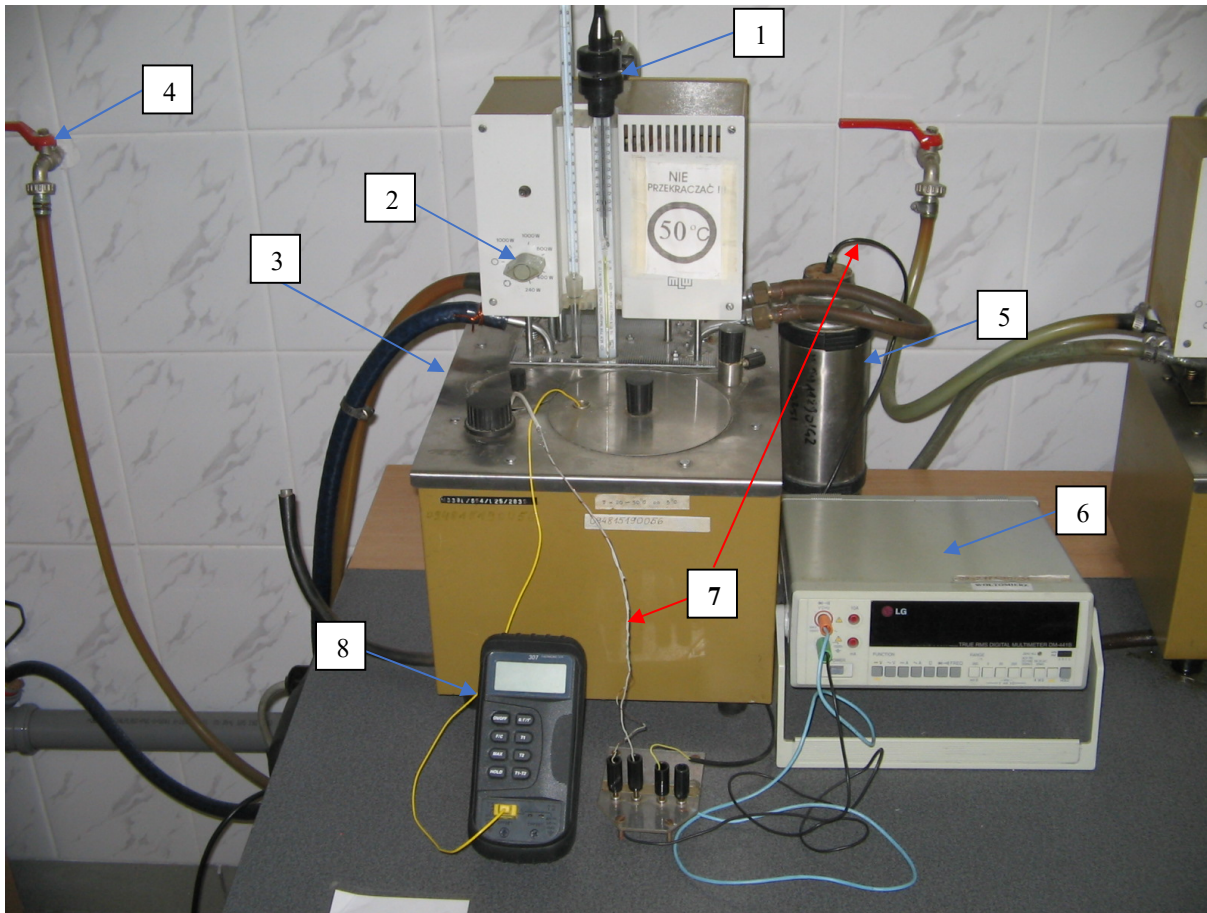


## CECHOWANIE TERMOPARY



Rys. 1. Układ pomiarowy: 1-termometr stykowy, 2-pokrętko grzania/mieszania, 3-termostat, 4-zawór zimnej wody, 5-naczynie Dewara, 6-miliwoltomierz, 7-badana termopara, 8-wzorcową termopara z miernikiem.

### 1. Opis teoretyczny do ćwiczenia

zamieszczony jest na stronie [www.wtc.wat.edu.pl](http://www.wtc.wat.edu.pl) w dziale  
DYDAKTYKA – FIZYKA – ĆWICZENIA LABORATORYJNE.

### 2. Opis układu pomiarowego

Termopara, są to dwa druty różnych metali, skręcona ze sobą na obu ich końcach. Na każdym ze styków metali powstaje napięcie kontaktowe. Spowodowane jest to różną energią potencjalną elektronów na ostatniej powłoce (pracą wyjścia) dla różnych metali ( $V=E_p/q$ ). Powstaje wówczas złącze typu metal-metal, podobnie jak w półprzewodnikach złącze p-n. Wartość napięcia na styku metali, tzw. napięcie kontaktowe, zależy od rodzajów metali i jego temperatury. Jeżeli oba końce termopary mają tę samą temperaturę, wówczas napięcia kontaktowe też mają taką samą wartość, lecz przeciwny zwrot. Zgodnie z tzw. prawem Volty, suma napięć daje zero. Można na to spojrzeć również jak na „oczko” obwodu elektrycznego, w którym zgodnie z II prawem Kirchhoffa suma napięć wynosi zero. Sytuacja się zmienia, gdy jeden z końców umieścimy w innej temperaturze. Wówczas na tym końcu pojawi się inna wartość napięcia kontaktowego. Różnicę uzyskanych w ten sposób napięć kontaktowych możemy zmierzyć woltomierzem. Należy jeden z drutów termopary przeciąć gdzieś w środku, a następnie miejsce przecięcia połączyć woltomierzem, podobnie jak włączamy w obwód

amperomierz. Zgodnie z II prawem Kirchhoffa, w oczku suma napięć jest zero, dlatego różnica napięć kontaktowych odłoży się na woltomierzu (idealny woltomierz ma nieskończoną rezystancję, prąd przez niego nie płynie, wskazuje jedynie różnicę potencjałów na jego końcach).

Aparatura pomiarowa (rys. 1) składa się z termostatu (3), termopary badanej (7), termopary wzorcowej z miernikiem (8), czułego miliwoltomierza cyfrowego (6) i naczynia Dewara (5). Jako temperaturę odniesienia przyjmujemy  $0^{\circ}\text{C}$ , którą łatwo uzyskać wykorzystując mieszaninę wody z lodem. Aby zabezpieczyć tę mieszaninę przed poborem ciepła z otoczenia, umieszcza się ją wewnątrz naczynia Dewara (termos).

Jedno spojenie termopary umieszcza się w mieszaninie wody z lodem (5), drugie zaś w termostacie (3), w którym możemy w sposób kontrolowany zmieniać temperaturę. Pokrętle (2) można uruchomić mieszadło wewnątrz termostatu - służące do wyrównywania temperatury - z jednoczesnym podgrzewaniem cieczy w termostacie (pozycja w górę) lub włączyć samo mieszadło - pozycja w dół (przy chłodzeniu). Aby nie przekroczyć temperatury grożącej poparzeniem, na termometrze stykowym (1) należy ustawić temperaturę  $50^{\circ}\text{C}$ . Dla precyzyjnego określenia temperatury cieczy w termostacie służy termopara wzorcowa (8). Dodatkowo temperaturę można kontrolować bardziej niezawodnym termometrem rtęciowym, zamocowanym w otworze pokrywy. Termostat posiada również układ do chłodzenia cieczy, składający się ze spiralnie zwiniętej rurki umieszczonej wewnątrz termostatu, połączonej gumowym węzłem z siecią wodociągową (4). Drugi wąż służy do odprowadzania wody chłodzącej. Przy chłodzeniu termostatu należy lekko odkręcić kran wodociągowy (4), a pokrętło (2) ustawić w pozycję na dół (jeden z termostatów posiada oddzielny włącznik grzałki i mieszadła). Szybkość chłodzenia kąpeli można regulować za pomocą zwiększenia lub zmniejszenia przepływu wody. Szybkość podgrzewania cieczy można regulować pozycją pokrętła (2).

Poniżej przedstawiono zakresy temperatur pracy oraz czułość dla wybranych typów termopar:

**Typ „E” – NiCr-CuNi**, zakres temperatur od  $-200$  do  $900^{\circ}\text{C}$ , czułość wynosi  $68\ \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$

**Typ „J” – Fe-CuNi**, zakres temperatur od  $-40$  do  $750^{\circ}\text{C}$ , czułość wynosi  $55\ \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$

**Typ „K” – NiCr-NiAl**, zakres temperatur od  $-200$  do  $1200^{\circ}\text{C}$ , czułość wynosi  $41\ \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$

**Typ „N” – NiCrSi-NiSi**, zakres temperatur od  $-200$  do  $1200^{\circ}\text{C}$ , czułość wynosi  $39\ \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$

**Typ „T” – Cu-CuNi**, zakres temperatur od  $-200$  do  $350^{\circ}\text{C}$ , czułość wynosi  $30\ \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$

**Typ „R” – PtRh13-Pt**, zakres temperatur od  $0$  do  $1600^{\circ}\text{C}$ , czułość około  $14\ \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$

**Typ „B” – PtRh30-PtRh6**, zakres temperatur od  $0$  do  $1800^{\circ}\text{C}$ , czułość około  $12\ \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$

**Typ „S” – PtRh10-Pt**, zakres temperatur od  $0$  do  $1600^{\circ}\text{C}$ , czułość około  $10\ \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$

### 3. Przeprowadzenie pomiarów

1. Zaznajomić się z przyrządami i ich przeznaczeniem.
2. Sprawdzić prawidłowe umieszczenie jednego spojenia termopary w topniejącym lodzie, a drugiego w cieczy w termostacie
3. Sprawdzić połączenie badanej termopary z miliwoltomierzem.
4. Ustawić na termometrze stykowym (1) wartość  $50^{\circ}\text{C}$
5. Podłączyć napięcie do miliwoltomierza i termostatu oraz włączyć miernik temperatury (8).
6. Uruchomić termostat, włączyć podgrzewanie (pokrętło - 2). Szybkość podgrzewania kąpeli powinna wynosić ok.  $1\text{ K}$  na minutę. Jeśli kąpiel termostatu nagrzewa się szybciej, zmniejszyć szybkość pokrętle (2), a jak to nie pomorze, to nieznacznie odkręcić kran, przepuszczając w ten sposób przez układ chłodzenia słaby strumień wody.
7. Notować wskazania miliwoltomierza (6) i miernika temperatury (8) co  $2 - 3\text{ K}$ , aż do uzyskania temperatury  $49^{\circ}\text{C}$ .
8. Po uzyskaniu temperatury  $49^{\circ}\text{C}$  wyłączyć podgrzewanie, a przełącznik (2) ustawić tylko na mieszanie – pozycja w dół. Odkręcić kran na tyle, aby szybkość chłodzenia była podobna do szybkości podgrzewania.
9. Notować wskazania miliwoltomierza dla tych samych temperatur co przy podgrzewaniu, aż do uzyskania temperatury, jaką miała kąpiel przed rozpoczęciem pomiarów.

#### 4. Opracowanie wyników pomiarów

1. Dla każdej temperatury wyznaczyć średnią wartość napięcia z dwóch wskazań miliwoltomierza otrzymanych przy podgrzewaniu i chłodzeniu kąpeli.
2. Wykres-1. Nanieść na wykres średnie wartości napięcia w funkcji temperatury  $V_T(T)$  z poprzedniego punktu wraz z ich niepewnościami.
3. Zależność  $V_T(T) \cong \alpha (T_2 - T_1)$  jest w przybliżeniu liniowa (w naszym przypadku  $T_1=0$ ).

Nanieść na Wykres-1 prostą  $y = \bar{a}x + \bar{b}$  wyznaczoną metodą najmniejszych kwadratów Gaussa, gdzie  $x = T$ ,  $y = V_T$ .

Parametry prostej oraz ich niepewności wyznaczamy z

$$\bar{a} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i - n \sum_{i=1}^n (x_i y_i)}{\left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2 - n \sum_{i=1}^n x_i^2}$$

$$\bar{b} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n x_i^2}{\left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2 - n \sum_{i=1}^n x_i^2}$$

$$\sigma_{\bar{a}} = \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n \epsilon_i^2 \frac{n}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2}}$$

$$\sigma_{\bar{b}} = \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n \epsilon_i^2 \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2}}$$

gdzie:

$$\sum_{i=1}^n \epsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n y_i^2 - \bar{a} \sum_{i=1}^n x_i y_i - \bar{b} \sum_{i=1}^n y_i,$$

a także wyznaczyć współczynnik korelacji ( $0 < R^2 < 1$ ), którego wartość bliska 1 świadczy o zgodności rozkładów punktów eksperymentalnych z wyznaczoną prostą

$$R^2 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \right]^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}.$$

4. Wartość współczynnika termoelektrycznego  $\alpha$  jest jednoznaczna z  $\bar{a}$ , a jego niepewność standardowa jest równa niepewności standardowej współczynnika  $\bar{a}$  tzn.  $u(\alpha) = \sigma_{\bar{a}}$ .
5. Wyznaczyć niepewność względną w procentach  $u_r(\alpha) = \frac{u(\alpha)}{\alpha} * 100\%$
6. Wyznaczyć niepewność rozszerzoną zgodnie z zależnością  $U(\alpha) = k \cdot u(\alpha)$  przyjmując do obliczeń współczynnik rozszerzenia  $k = 2$ . Sprawdzić, czy w wyznaczonym przedziale mieści się wartość teoretyczna.

#### 5. Podsumowanie

Zestawić wyniki, przeanalizować uzyskane rezultaty, wyciągnąć wnioski.

Stwierdzić czy cel ćwiczenia:

- wyznaczenie współczynnika termoelektrycznego (porównać go ze współczynnikami typów termopar);
- zbadanie liniowości wskazań termopary;

został osiągnięty.

## 6. Przykładowe pytania

Zamieszczone są na stronie [www.wtc.wat.edu.pl](http://www.wtc.wat.edu.pl) w dziale

DYDAKTYKA – FIZYKA – ĆWICZENIA LABORATORYJNE.

1. Jak zbudowana jest termopara?
2. Co to jest napięcie kontaktowe?
3. Prawo Volty.
4. Jakie napięcie mierzy się na termoparze i gdzie wpina się woltomierz?
5. Podaj zależność mierzonego napięcia na termoparze od temperatury.
6. Zdefiniuj współczynnik termoelektryczny termopary.

Zespół w składzie:

.....

1. Wartości teoretyczne wielkości wyznaczanych lub określanych:

.....

2. Parametry stanowiska (wartości i niepewności):

niepewność pomiaru temperatury  $\Delta T = \dots\dots\dots$

niepewność pomiaru napięcia  $\Delta U = \dots\dots\dots$

3. Pomiary i uwagi do ich wykonania.

L.p.	Temperatura T [°C]	Napięcie U [.....] <i>wzrost temp.</i>	Napięcie U [.....] <i>spadek temp.</i>	Temperatura T [°C]
1	21			21
2	23			23
3	25			25
4	27			27
5	29			29
6	31			31
7	33			33
8	35			35
9	37			37
10	39			39
11	41			41
12	43			43
13	45			45
14	47			47
15	49			49
<b>Nie przekraczać temperatury 50 C !</b>				

Data i podpis osoby prowadzącej.....