

## Laboratorium Podstaw Fizyki

### Ćwiczenie nr 20

**Temat ćwiczenia:** Skalowanie termopary i wyznaczanie temperatury krzepnięcia stopu

**Nazwisko i imię prowadzącego kurs:** dr inż. Hajdusianek Anna

|                                |                                       |
|--------------------------------|---------------------------------------|
| Nazwisko i imię,<br>nr indeksu | Wołoszański Jakub<br>Szymańska Emilia |
| Termin zajęć                   | Środa, 7:30-9:00                      |
| Kod grupy                      | E01-01v                               |
| Data wykonania ćwiczenia       | 30.10.2019                            |
| Ocena końcowa                  |                                       |

Zatwierdzam wyniki pomiarów

Data i podpis prowadzącego zajęcia.....

**Adnotacje dotyczące wymaganych poprawek oraz daty otrzymania poprawionego sprawozdania**

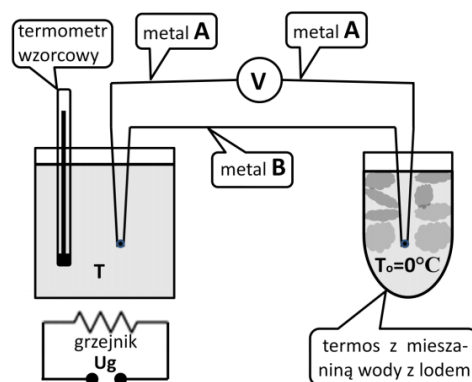
## 1. Wstęp

### 1.1. Cel ćwiczenia

- Poznanie zasady działania i obsługi termopary;
- Nauka skalowania termopary i wyznaczania jej współczynnika termoelektrycznego;
- Wyznaczenie temperatury krzepnięcia stopu Wooda.

### 1.2. Wykaz przyrządów

- Kuchenka elektryczna;
- Termometr;
- Naczynie do podgrzewania wody;
- Termos;
- Termopara;
- Tygiel ze stopem Wooda;
- Stoper;
- Miernik napięcia.

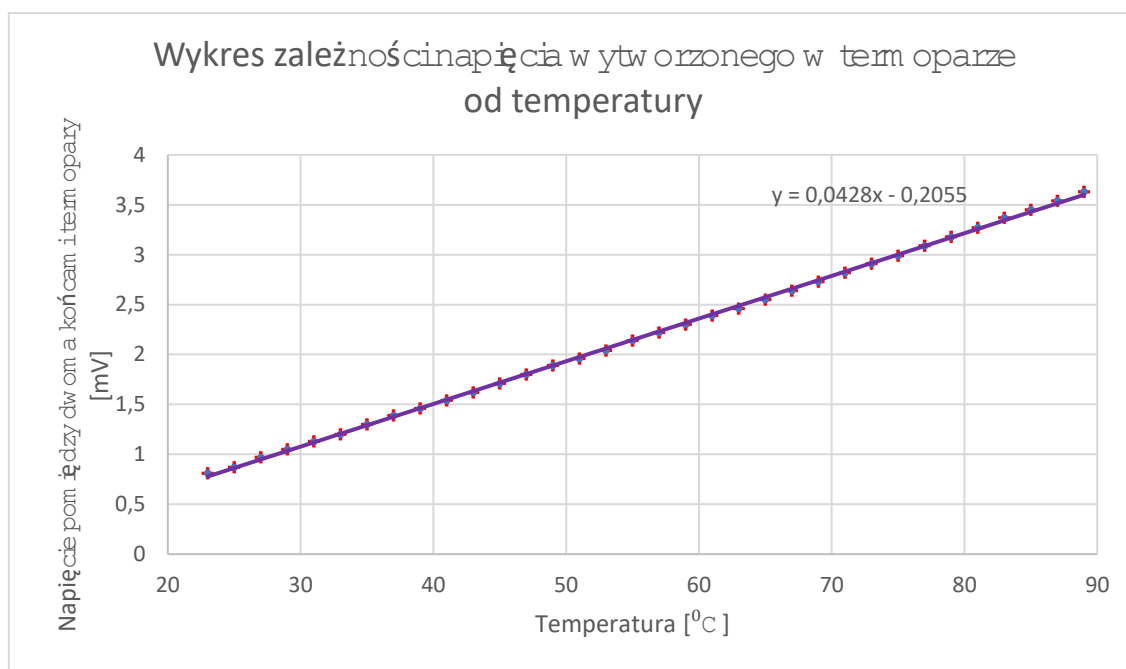


## 2. Wyniki i ich opracowanie

Na początku musimy wyskalować termoparę, czyli wyznaczyć jej współczynnik termoelektryczny. Jedną końcówkę termopary wkładamy do termosu z mieszaniną wody z lodem, a drugą do naczynia z wodą, które to naczynie stawiamy na kuchence elektrycznej i zaczynamy podgrzewać. Co 2°C od 23°C (temperatury pokojowej) do 89°C czytujemy wyniki z miernika napięcia, do którego podłączona jest termopara. Ze względu na problemy z miernikiem musieliśmy pozostać przy zakresie 100 mV. Niepewność pomiarów napięcia i temperatury obliczamy ze wzoru  $u(x) = \frac{\Delta_p}{\sqrt{3}}$ , gdzie za  $\Delta_p$  przyjmujemy rozdzielczość każdego z pomiarów. W naszym przypadku dla temperatury ma ona wartość 0,1°C, a dla napięcia 0,01mV. Wówczas otrzymujemy następujące wyniki oraz ich niepewności pomiarowe (po dokonaniu odpowiednich zaokrągleń i dopasowaniu do nich wyników pomiarów):

### Wyniki pomiarów - skalowanie termopary

| T [°C] | u(T) [°C] | U[mV]  | u(U) [mV] | $\alpha$ [mV/°C] | u( $\alpha$ )[mV/°C] |
|--------|-----------|--------|-----------|------------------|----------------------|
| 23,000 | 0,058     | 0,8100 | 0,0058    | 0,04276          | 0,00015              |
| 25,000 |           | 0,8700 |           |                  |                      |
| 27,000 |           | 0,9700 |           |                  |                      |
| 29,000 |           | 1,0500 |           |                  |                      |
| 31,000 |           | 1,1300 |           |                  |                      |
| 33,000 |           | 1,2000 |           |                  |                      |
| 35,000 |           | 1,3000 |           |                  |                      |
| 37,000 |           | 1,3900 |           |                  |                      |
| 39,000 |           | 1,4600 |           |                  |                      |
| 41,000 |           | 1,5400 |           |                  |                      |
| 43,000 |           | 1,6200 |           |                  |                      |
| 45,000 |           | 1,7100 |           |                  |                      |
| 47,000 |           | 1,8000 |           |                  |                      |
| 49,000 |           | 1,8900 |           |                  |                      |
| 51,000 |           | 1,9600 |           |                  |                      |
| 53,000 |           | 2,0400 |           |                  |                      |
| 55,000 |           | 2,1400 |           |                  |                      |
| 57,000 |           | 2,2200 |           |                  |                      |
| 59,000 |           | 2,3000 |           |                  |                      |
| 61,000 |           | 2,3900 |           |                  |                      |
| 63,000 |           | 2,4600 |           |                  |                      |
| 65,000 |           | 2,5500 |           |                  |                      |
| 67,000 |           | 2,6400 |           |                  |                      |
| 69,000 |           | 2,7300 |           |                  |                      |
| 71,000 |           | 2,8200 |           |                  |                      |
| 73,000 |           | 2,9100 |           |                  |                      |
| 75,000 |           | 2,9900 |           |                  |                      |
| 77,000 |           | 3,0900 |           |                  |                      |
| 79,000 |           | 3,1800 |           |                  |                      |
| 81,000 |           | 3,2700 |           |                  |                      |
| 83,000 |           | 3,3700 |           |                  |                      |
| 85,000 |           | 3,4500 |           |                  |                      |
| 87,000 |           | 3,5400 |           |                  |                      |
| 89,000 |           | 3,6300 |           |                  |                      |



Na podstawie wyników i niepewności tworzymy wykres, którego punkty dopasowujemy funkcją REGLINP. Na podstawie obliczonych z funkcji wartości otrzymujemy wartość niepewności współczynnika termoelektrycznego  $u(\alpha) = 0,0001458... \approx 0,00015$  [mV/°C]. Wówczas  $\alpha = 0,0427563... \approx 0,04276$  [mV/°C]. Ostatecznie:

$$\alpha = (0,04276 \pm 0,00015) \text{ [mV/°C]}$$

Ze względu na problemy z miernikiem nie zdążyliśmy dokończyć pomiarów dotyczących wyznaczenia temperatury krzepnięcia stopu Wooda. W poniższej tabeli znajdują się pomiary, których zdążyliśmy dokonać, jednak żeby dokończyć sprawozdanie mieliśmy wziąć wyniki pomiarów i współczynnik termoelektryczny od innej grupy. Do obliczenia niepewności pomiaru czasu uwzględnimy jeszcze błąd eksperymentatora  $\Delta_e = 0,2$  [s]. Wówczas

$$u(t) = \sqrt{\frac{\Delta_p^2}{3} + \frac{\Delta_e^2}{3}} = \sqrt{\frac{0,01^2}{3} + \frac{0,2^2}{3}} = 0,115614... \approx 0,12 \text{ [s]}$$

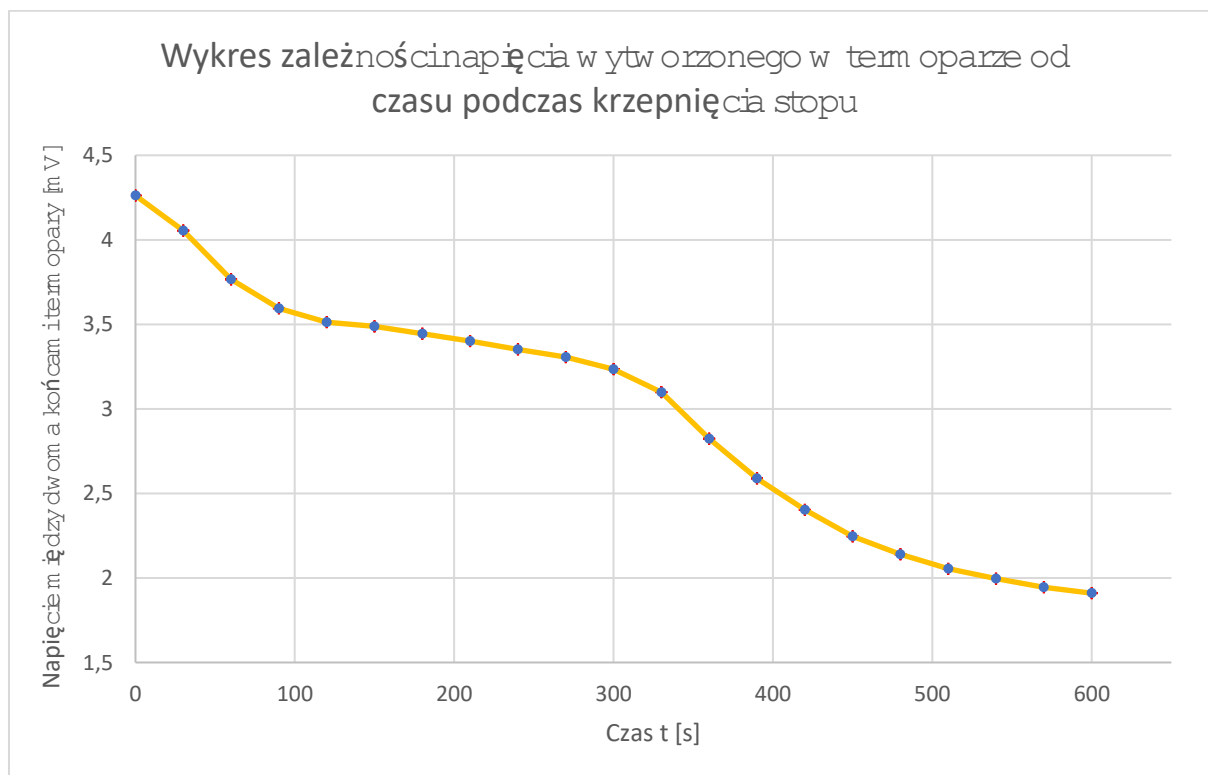
#### Wyniki naszych pomiarów wyznaczenia temperatury krzepnięcia

| t [s]  | u(t) [s] | U[mV]  | u(U) [mV] |
|--------|----------|--------|-----------|
| 0,00   | 0,12     | 2,8600 | 0,0058    |
| 30,00  |          | 2,8000 |           |
| 60,00  |          | 2,7600 |           |
| 90,00  |          | 2,7400 |           |
| 120,00 |          | 2,7300 |           |
| 150,00 |          | 2,7300 |           |

W przypadku drugiej grupy współczynnik termoelektryczny wynosi  $\alpha = 0,054561 \pm 0,000100$  [mV/°C] (niedokładność  $\alpha = 0,0000993... \approx 0,000100$  [mV/°C]), a wyniki pomiarów wyszły następujące (gdzie pracowali na innej rozdzielczości miernika – 0,001 mV):

### Wyniki pomiarów innej grupy przy wyznaczaniu temperatury krzepnięcia

| t [s]  | u(t) [s] | U[mV]   | u(U) [mV] |
|--------|----------|---------|-----------|
| 0,00   | 0,12     | 4,26200 | 0,00058   |
| 30,00  |          | 4,05500 |           |
| 60,00  |          | 3,76600 |           |
| 90,00  |          | 3,59500 |           |
| 120,00 |          | 3,51300 |           |
| 150,00 |          | 3,48800 |           |
| 180,00 |          | 3,44500 |           |
| 210,00 |          | 3,40100 |           |
| 240,00 |          | 3,35200 |           |
| 270,00 |          | 3,30600 |           |
| 300,00 |          | 3,23500 |           |
| 330,00 |          | 3,09900 |           |
| 360,00 |          | 2,82400 |           |
| 390,00 |          | 2,58900 |           |
| 420,00 |          | 2,40300 |           |
| 450,00 |          | 2,24600 |           |
| 480,00 |          | 2,14000 |           |
| 510,00 |          | 2,05400 |           |
| 540,00 |          | 1,99600 |           |
| 570,00 |          | 1,94500 |           |
| 600,00 |          | 1,91000 |           |



Do obliczenia temperatury krzepnięcia weźmiemy pod uwagę pięć punktów (wyszczególnionych w tabeli). Dla każdego z tych wartości napięć obliczamy równoważną mu temperaturę ze wzoru  $U = \alpha (T - T_0)$ , gdzie  $T_0 = 0^\circ\text{C}$  (bo drugi koniec termopary umieszczony był w termosie z mieszaniną wody z lodem). Zatem po przekształceniu mamy  $T = \frac{U}{\alpha}$ . Obliczamy średnie napięcie i dzielimy przez współczynnik termoelektryczny, żeby uzyskać średnią temperaturę krzepnięcia:

$$\bar{U} = \sum_{i=1}^n \frac{U_i}{n} = \frac{3,513 + 3,488 + 3,445 + 3,401 + 3,352}{5} = 3,4398 \text{ [mV]}$$

$$T_{sr} = \frac{\bar{U}}{\alpha} = \frac{3,4398}{0,054561} = 63,04499... [^\circ\text{C}]$$

Wyniku jeszcze nie zaokrąglamy. Do obliczenia niepewności pomiaru temperatury korzystamy ze wzoru na niepewność złożoną:

$$u_c(x) = \sqrt{\sum_{j=1}^k \left( \frac{\partial f}{\partial x_j} \right)^2 u^2(x_j)}$$

$$u_c(T) = \sqrt{\left( \frac{\partial T}{\partial \alpha} \right)^2 u^2(\alpha) + \left( \frac{\partial T}{\partial U} \right)^2 u^2(U)}$$

Obliczamy odpowiednie pochodne:

$$\frac{\partial T}{\partial U} = \frac{\partial \left( \frac{U}{\alpha} \right)}{\partial U} = \frac{1}{\alpha}$$

$$\frac{\partial T}{\partial \alpha} = \frac{\partial \left( \frac{U}{\alpha} \right)}{\partial \alpha} = - \left( \frac{U}{\alpha^2} \right)$$

Pod  $u(U)$  podstawiamy wcześniej obliczoną niepewność pomiarową. Nie możemy obliczyć niepewności standardowej typu A, gdyż jest za mało pomiarów, by móc o takiej mówić (bo tylko pięć). Pod  $u(\alpha)$  wstawiamy obliczoną z funkcji REGLINP wartość.

$$u_c(T) = \sqrt{\left( \frac{1}{\alpha} \right)^2 u^2(\alpha) + \left( \frac{-\bar{U}}{\alpha^2} \right)^2 u^2(U)} = \sqrt{\left( \frac{1}{0,054561} \right)^2 0,000100^2 + \left( \frac{-3,4398}{0,054561^2} \right)^2 0,00058^2}$$

$$= 0,6679... [^\circ\text{C}] \approx 0,67 [^\circ\text{C}]$$

Ostatecznie otrzymujemy temperaturę krzepnięcia stopu Wooda:

$$T = (63,04 \pm 0,67) [^\circ\text{C}]$$

### 3. Wnioski

Współczynnik termoelektryczny termopary używanej przez nas w pierwszej części ćwiczenia wynosi  $\alpha = (0,04276 \pm 0,00015) \left[ \frac{mV}{^{\circ}C} \right]$ , a temperatura krzepnięcia stopu Wooda wyszła  $T = (63,04 \pm 0,67)[^{\circ}C]$ . Odbiega ona od wartości wzorcowej równej  $66,5^{\circ}C$ . Powodem takiej różnicy może być refleks eksperymentatora w przypadku pomiarów czasu, niedokładność przyrządów pomiarowych, niedokładnie obliczony współczynnik termoelektryczny (w wyniku np. stopienia się lodu w termosie) lub zaokrąglenia poszczególnych wyników działań.