

Igor Czerwiec - 277680

Filip Kubecki - 272655

Fizyka 3.1

## Skalowanie termopary i wyznaczanie temperatury krzepnięcia wody

Nr ćwiczenia: 20a

Data wykonania ćwiczenia: 21.03.2024r

Data oddania sprawozdania: 03.04.2024r

### 1 Wstęp

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie współczynnika termoelektrycznego termopary oraz wyznaczenie temperatury krzepnięcia wody.

**Wykorzystane przyrządy pomiarowe:**

- Multimetr Sanwa PC7000
- Termometr (błąd pomiarowy  $\pm 0.1$  °C)
- Stoper (błąd pomiarowy 0.01 s)
- Termopara

### Przebieg doświadczenia

#### 1. Skalowanie termopary

Do stalowego garnka nalewamy wody tak, aby linia wody znajdowała się około 3 cm poniżej krawędzi garnka. Termos zasypujemy lodem i dolewamy zimnej wody, aby uzupełnić luki i zwiększyć powierzchnię styku ośrodka z termoparą. Do garnka oraz termosu wkładamy przez odpowiednie otwory końce termopary. Do garnka wkładamy również termometr wzorcowy. Termoparę podłączamy zgodnie z rysunkiem do multimetru ustawionego na pomiar napięcia. Następnie włączamy kuchenkę i podgrzewamy wodę w garnku. Notujemy temperaturę w garnku oraz napięcie na termoparze. Pomiary powinny odbywać się od temperatury pokojowej do około 60 °C. Kolejne pomiary wykonujemy co 2 °C.

## 2. Wyznaczanie temperatury krzepnięcia wody

Napełnić termos mieszaniną wody z lodem. Naczynie termiczne napełnić w 1/3 zimną wodą, dodać dwie płaskie łyżki soli kuchennej i poczekać aż się rozpuści (zamieszać). Naczynie dopełnić do 3/4 lodem z zamrażarki. Nabrać do strzykawki ok. 5 ml ciepłej wody z kranu. Przełąć wodę do szklanego naczynka pomiarowego. Naczynko zatkać korkiem. Spojenie termopary umieścić w naczynku z ciepłą wodą tak, by termopara była zanurzona w wodzie, ale nie dotykała naczynka. Delikatnie zamocować naczynko w statywie i zanurzyć w roztworze lodu z wodą i solą. Uruchomić stoper i w czasie procesu chłodzenia wody (ok. 25 minut) co 20 s notować czas i napięcie termoelektryczne.

### Zastosowana teoria

Woda przechodząc z stanu ciekłego do stanu stałego w trakcie przemiany fazowej pozbywa się energii dzięki czemu można zaobserwować dokładny moment przemiany fazowej. Przedstawia się go jako wypłaszczenie na wykresie zależności napięcia termoelektrycznego od czasu przy ciągłym ochładzaniu. Środek takiego wypłaszczenia to napięcie odpowiadające temperaturze krzepnięcia a odległość od niego do punktu przegięcia wykresu możemy uznać jako niepewność tej wartości.

**Termopara** - element obwodu elektrycznego składający się z dwóch różnych przewodników, wykorzystujący zjawisko Seebecka, zachodzące na ich styku. Termopara jest wykorzystywana jako czujnik temperatury, rzadziej jako źródło zasilania o bardzo niskim napięciu i relatywnie wysokim prądzie.

**Zjawisko Seebecka** - zjawisko termoelektryczne polegające na powstawaniu siły elektromotorycznej w obwodzie zawierającym dwa metale lub półprzewodniki, gdy ich złącza znajdują się w różnych temperaturach. Odkryte w 1821 roku przez fizyka niemieckiego (pochodzenia estońskiego) Th. J. Seebecka. Zjawisko to jest wykorzystywane m.in. w termoparze.

Skalowanie termopary polega na wyznaczeniu siły termoelektrycznej powstającej na zaciskach termopary w sytuacji gdy jedno ze złączy znajduje się w temperaturze odniesienia (w tym przypadku  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) a temperatura drugiego złączy zmienia się przy czym jego temperaturę badamy jednocześnie za pomocą termometrów. Dzięki tym danym jesteśmy w stanie sporządzić wykres zależności napięcia od temperatury. Będzie to zależność liniowa której współczynnik kierunkowy będzie równy współczynnikowi termoelektrycznemu termopary.

Dzięki współczynnikowi termoelektrycznemu możemy obliczyć dokładną temperaturę termopary na podstawie napięcia między jej zaciskami zgodnie z wzorem poniżej:

$$U = \alpha \cdot (T - T_0)$$

$U$  - potencjał między zaciskami,

$\alpha$  - współczynnik termoelektryczny,

$T$  - temperatura mierzona,

$T_0$  - temperatura odniesienia,

## 2 Dane

### Skalowanie termopary

Temperatura[°C]	Napięcie[V]
30	1.15
32	1.22
34	1.3
36	1.36
38	1.44
40	1.53
42	1.6
44	1.69
46	1.78
48	1.85
50	1.93
52	2.03
54	2.11
56	2.2
58	2.26
60	2.35

### Krzywa krzepnięcia

Czas[s]	Napięcie[V]
0	0.6
20	0.46
40	0.37
60	0.32
80	0.28
100	0.25
120	0.21
140	0.17
160	0.12
180	0.08
200	0.05
220	0.02
240	0
260	0
280	-0.02
300	-0.03
320	-0.05
340	-0.06
360	-0.07
380	-0.08
400	-0.09
420	-0.1
440	-0.1
460	-0.11
480	-0.12
500	-0.12
520	-0.13
540	-0.13
560	-0.14
580	-0.14
600	-0.14
620	-0.15
640	-0.15
660	-0.15
680	-0.16
700	-0.16
720	-0.16
740	-0.16

Czas[s]	Napięcie[V]
760	-0.16
780	-0.16
800	-0.16
820	-0.17
840	-0.17
860	-0.17
880	-0.17
900	-0.17
920	-0.17
940	-0.17
960	-0.17
980	-0.17
1000	-0.17
1020	-0.17
1040	-0.17
1060	-0.17
1080	-0.17
1100	-0.17
1120	-0.17
1140	-0.17
1160	-0.17
1180	-0.17
1200	-0.17
1220	-0.17
1240	-0.17
1260	-0.17
1280	-0.17
1300	-0.17
1320	-0.17
1340	-0.17
1360	-0.17
1380	-0.17
1400	-0.17
1420	-0.17
1440	-0.17
1460	-0.17
1480	-0.17
1500	-0.17

### 3 Obliczenia

Niepewność pomiarową typu b (niepewność szacowana) obliczamy ze wzoru:

$$u_b(\Delta) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(\Delta_i)^2}{3}}$$

$\Delta_i$  - kolejne błędy pomiarowe np: przyrządu, obserwatora, odczytu wartości tablicowych itd,

Przykładowo dla niepewności pomiarowej pomiaru temperatury termometrem:

$$u_b(t) = \sqrt{\frac{(0.1)^2}{3}} = 0.057735027[^\circ C] \approx 0.058[^\circ C]$$

Niepewność pomiarową multimetru na zakresie 500 mV obliczamy ze wzoru:

$$u(U) = 0.03\% \cdot rdg + 2 \cdot dgt$$

rdg - wartość odczytana,

dgt - najmniejsza wartość wyświetlana na zakresie,

Przykładowo dla ostatniego pomiaru napięcia przy skalowaniu termopary:

$$u(U) = 0.03\% \cdot 2.35[mV] + 2 \cdot 0.01[mV] = 0.020705[mV] \approx 0.021[mV]$$

Temperaturę na podstawie współczynnika termoelektrycznego termopary i napięcia mierzonego otrzymujemy ze wzoru (wzór został podany również na wstępie):

$$T = \frac{U}{\alpha}$$

Przykładowo obliczając temperaturę na podstawie napięcie -0.17[mV]:

$$T = \frac{-0.17}{0.040544118} + 0 = -4.192963[^\circ C]$$

Niepewność złożoną temperatury obliczonej na podstawie współczynnika termoelektrycznego termopary obliczamy ze wzoru:

$$u_c(T) = \sqrt{\left(\frac{\partial f_T}{\partial U}\right)^2 \cdot u^2(U) + \left(\frac{\partial f_T}{\partial \alpha}\right)^2 \cdot u^2(\alpha)} = \sqrt{\left(\frac{1}{\alpha}\right)^2 \cdot u^2(U) + \left(\frac{-U}{\alpha^2}\right)^2 \cdot u^2(\alpha)}$$

Przykładowo obliczając temperaturę na podstawie napięcie -0.17[mV]:

$$u_c(T) = 0.2873875[^\circ C] \approx 0.29[^\circ C]$$

## 4 Wyniki

### Współczynnik termoelektryczny termopary

Współczynnik termoelektryczny został wyznaczony przy wykorzystaniu regresji liniowej w programie Excel:

$$\alpha = 0.040544118 \left[ \frac{mV}{^{\circ}C} \right]$$

Niepewność bezwzględna tej kalkulacji wynosi:

$$u(\alpha) = 0.000315675 \left[ \frac{mV}{^{\circ}C} \right] \approx 0.00032 \left[ \frac{mV}{^{\circ}C} \right]$$

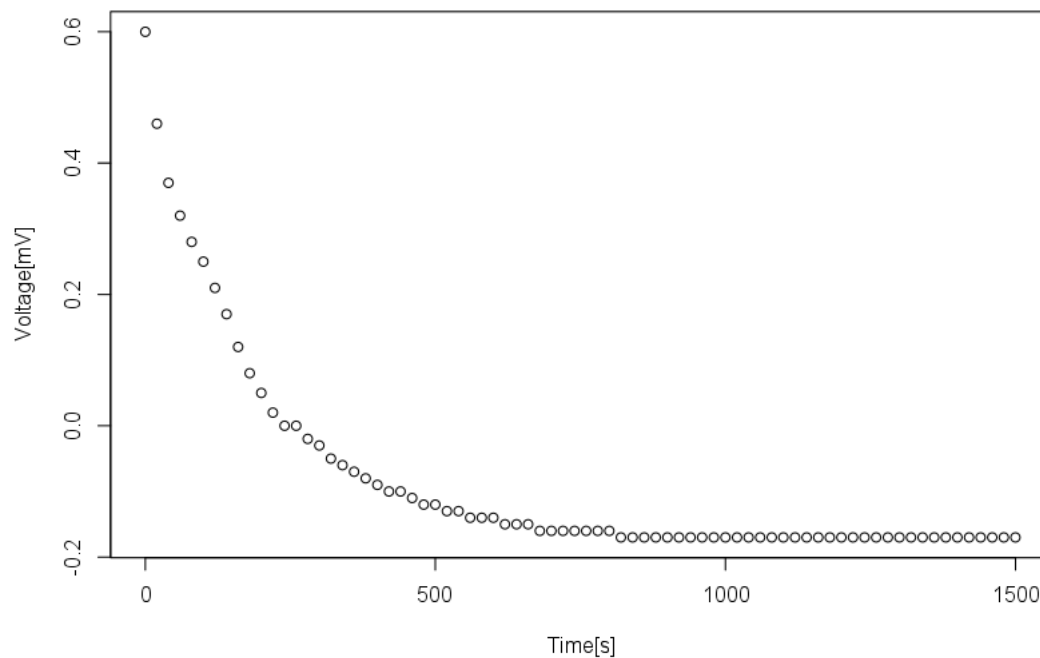
Niepewność względna regresji liniowej wynosi:

$$\delta(\alpha) = \frac{u(\alpha)}{\alpha} \cdot 100\% \approx 0.78\%$$

## 5 Wnioski

### Wyznaczenie temperatury krzepnięcia wody

Na podstawie otrzymanych danych sporządzono następujący wykres czasu od napięcia:



Można zauważyć że na wykresie nie występuje moment wypłaszczenia charakteryzujący moment przemiany fazowej. Oznacza to że nie udało się prawidłowo przeprowadzić doświadczenia i niemożliwym jest wyliczenie temperatury krzepnięcia wody.

## Skalowanie termopary

Współczynnik termoelektryczny termopary wyznaczono korzystając z regresji liniowej.

$$\alpha = 0.040545 \pm 0.00032 \left[ \frac{mV}{^{\circ}C} \right]$$

Na podstawie współczynnika oraz badanego napięcia podczas skalowania termopary możemy wyznaczyć temperaturę badaną w danym momencie i porównać wyniki z pomiarami termometru:

<b>T[°C]</b>	<b>Napięcie[V]</b>	<b>T<sub>α</sub>[°C]</b>	<b>T-T<sub>α</sub>[°C]</b>
30	1.15	28.364	1.636
32	1.22	27.945	4.055
34	1.3	29.918	4.082
36	1.36	31.398	4.602
38	1.44	33.371	4.629
40	1.53	35.591	4.409
42	1.6	37.318	4.682
44	1.69	39.538	4.462
46	1.78	41.757	4.243
48	1.85	43.484	4.516
50	1.93	45.457	4.543
52	2.03	47.923	4.077
54	2.11	49.897	4.103
56	2.2	52.116	3.884
58	2.26	53.596	4.404
60	2.35	55.816	4.184

**T** - temperatura mierzona termometrem,

**T<sub>α</sub>** - temperatura wyliczona na podstawie współczynnika **α**,

Można zauważyć że między wartością zmierzoną termometrem a wartością obliczoną występuje różnica o wiele wykraczająca od wartości wyliczonego błędu pomiarowego. Wynika to prawdopodobnie z błędnego założenia że niepewność pomiarowa regresji liniowej jest równoważna niepewności współczynnika termopary. Na niepewność regresji liniowej wpływa również błąd pomiaru temperatury oraz błąd pomiaru napięcia. Należałoby więc policzyć niepewność złożoną z regresji liniowej uwzględniając niepewności wartości mierzonych.

Z źródeł zewnętrznych uzyskano inną metodę wyznaczania współczynnika termoelektrycznego termopary:

$$\alpha = \frac{\Delta U}{\Delta T}$$

$\Delta U$  - średnia mierzonej różnicy potencjałów między zaciskami termopary,

$\Delta T$  - średnia temperatury,

Ze wzoru uzyskano wartość współczynnika:

$$\alpha = 0.039 \left[ \frac{mV}{^{\circ}C} \right]$$

Porównując wyniki tak jak powyżej:

T[°C]	Napięcie[V]	T <sub>α</sub> [°C]	T-T <sub>α</sub> [°C]
30	1.15	29.784	0.216
32	1.22	31.597	0.403
34	1.3	33.669	0.331
36	1.36	35.223	0.777
38	1.44	37.295	0.705
40	1.53	39.626	0.374
42	1.6	41.439	0.561
44	1.69	43.770	0.230
46	1.78	46.101	0.101
48	1.85	47.914	0.086
50	1.93	49.986	0.014
52	2.03	52.576	0.576
54	2.11	54.647	0.647
56	2.2	56.978	0.978
58	2.26	58.532	0.532
60	2.35	60.863	0.863

Można zauważyć że różnica między wynikami w tym przypadku jest zauważalnie mniejsza.

Metoda wykorzystująca regresję liniową jest bardzo podatna na błędy wynikające z przeprowadzonej formy skalowania termopary. Sposobami na poprawienie wyniku wynikającego z regresji byłoby podgrzewanie wody w garnku wolniej aby mieć większą kontrolę nad temperaturą. Jednak ostatecznie należałoby skłonić się ku metodom alternatywnym wyznaczania wartości współczynnika termoelektrycznego.

Wyznaczone współczynniki odpowiadają współczynnikom dla termopary typu T (Miedź-Konstantan) oraz termopary typu K (Chromel-Alumenl) których współczynnik termoelektryczny wynosi około  $0.040 \left[ \frac{mV}{^{\circ}C} \right]$ .

**Uwaga** - Dane w tabelach nie zostały zaokrąglane umyślnie w celu łatwiejszej analizy danych.