

Piotr Durniat  
I rok, Fizyka  
Wtorek, 8:00-10:15

Data wykonania pomiarów:  
29.04.2025

Prowadząca:  
dr Iwona Mróz

## Ćwiczenie nr 26

### Wyznaczanie ciepła właściwego ciał stałych przy użyciu kalorymetru

#### Spis treści

1	Wstęp teoretyczny	2
2	Opis doświadczenia	2
3	Opracowanie wyników pomiarów	3
3.1	Tabele pomiarowe . . . . .	3
4	Tabele Pomiarowe	3
4.1	Wyznaczenie temperatury początkowej i końcowej . . . . .	3
4.2	Ciepło właściwe poszczególnych ciał . . . . .	4
5	Ocena niepewności pomiaru	5
6	Wnioski	5
7	Wykresy	7

# 1 Wstęp teoretyczny

Ciepło właściwe substancji  $c$  określa ilość energii potrzebnej do podwyższenia temperatury jednostkowej masy ciała o jednostkę temperatury. Jest ono definiowane jako:

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \quad (1)$$

gdzie  $Q$  to dostarczona energia cieplna,  $m$  to masa ciała, a  $\Delta T$  to zmiana temperatury.

W doświadczeniu wykorzystujemy kalorymetr, który pozwala na pomiar ciepła właściwego ciał stałych. Metoda opiera się na zasadzie bilansu cieplnego, zgodnie z którą suma ciepła oddanego i pobranego w układzie izolowanym jest równa zero:

$$Q_1 + Q_2 = 0 \quad (2)$$

gdzie  $Q_1$  to ciepło oddane przez ciało o wyższej temperaturze (wartość ujemna), a  $Q_2$  to ciepło pobrane przez ciało o niższej temperaturze (wartość dodatnia).

Dla badanego ciała stałego o masie  $m_c$ , temperaturze początkowej  $T_c$  i cieple właściwym  $c_p$ , które zostaje umieszczone w wodzie o masie  $m_w$ , temperaturze początkowej  $T_p$  i cieple właściwym  $c_w$ , przy uwzględnieniu pojemności cieplnej naczynka kalorymetrycznego  $K_n = m_n \cdot c_n$ , bilans cieplny przyjmuje postać:

$$m_c \cdot c_p \cdot (T_k - T_c) + [m_w \cdot c_w + m_n \cdot c_n] \cdot (T_k - T_p) = 0 \quad (3)$$

gdzie  $T_k$  to temperatura końcowa układu.

Przekształcając powyższe równanie, otrzymujemy wzór na ciepło właściwe badanego ciała:

$$c_p = \frac{[m_w \cdot c_w + m_n \cdot c_n] \cdot (T_p - T_k)}{m_c \cdot (T_k - T_c)} \quad (4)$$

Prawo Dulonga-Petita stanowi, że molowe ciepło właściwe pierwiastków stałych w temperaturze pokojowej jest w przybliżeniu stałe i wynosi około  $3R \approx 25 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$ , gdzie  $R$  to stała gazowa. Prawo to jest przybliżeniem i sprawdza się głównie dla metali i prostych substancji krystalicznych w temperaturze pokojowej.

W rzeczywistym przebiegu doświadczenia występuje wymiana ciepła z otoczeniem, co wprowadza błąd systematyczny. Aby go zminimalizować, stosuje się metodę interpolacji do wyznaczenia rzeczywistych temperatur początkowej i końcowej, analizując zmiany temperatury w czasie przed i po osiągnięciu stanu równowagi.

Wstęp teoretyczny został opracowany na podstawie podręcznika Fizyka dla szkół wyższych, Tom 2, Dział Temodynamika, rozdział 1 - Temperatura i Ciepło [2].

## 2 Opis doświadczenia

1. Zważenie badanych ciał oraz naczynka kalorymetrycznego z mieszadełkiem.
2. Napełnienie naczynka wodą (do 2/3 objętości) i określenie jej masy.
3. Ogrzanie badanego ciała w ogrzewaczu elektrycznym z termoparą do temperatury 100-105°C.
4. Rejestracja temperatury początkowej wody w kalorymetrze przez 5 minut (pomiar co 30 sekund).
5. Przeniesienie ogrzanego ciała do kalorymetru i pomiar zmian temperatury:

- pierwsze 5 minut: pomiar co 30 sekund
- następnie: pomiar co minutę

6. Powtórzenie procedury dla pozostałych badanych ciał.

Doświadczenie pozwala wyznaczyć pojemność cieplną badanych ciał poprzez analizę wymiany ciepła między ogrzonym ciałem a wodą w kalorymetrze.

### 3 Opracowanie wyników pomiarów

#### 3.1 Tabele pomiarowe

#### 4 Tabele Pomiarowe

t [min:sec]	T1 [°C]	T2 [°C]	T3 [°C]
00:00:00	25,3	24,9	25,1
00:00:30	25,3	24,9	25,1
00:01:00	25,3	24,9	25,1
00:01:30	25,3	24,9	25,1
00:02:00	25,3	24,9	25,1
00:02:30	25,3	24,9	25,1
00:03:00	25,3	24,9	25,1
00:03:30	25,3	24,9	25,1
00:04:00	25,3	24,9	25,1
00:04:30	25,3	24,9	25,1
00:05:00	25,2	24,9	25,1
00:05:30	27,6	25,0	27,5
00:06:00	29,8	27,9	27,6
00:06:30	30,3	29,0	27,6
00:07:00	30,4	29,4	27,7
00:07:30	30,5	31,0	27,6
00:08:00	30,4	30,0	27,6
00:08:30	30,3	29,9	27,6
00:09:00	30,3	29,8	27,6
00:09:30	30,2	29,7	27,6
00:10:00	30,1	29,7	27,5
00:11:00	30,0	29,6	27,4
00:12:00	29,9	29,4	27,4
00:13:00	29,8	29,3	27,3
00:14:00	29,7	29,0	27,3
00:15:00	29,5	28,8	27,3

Tabela 1: Pomiary temperatury ciał.

#### 4.1 Wyznaczenie temperatury początkowej i końcowej

Temperatury początkowe i końcowe wyznaczone zostały przy użyciu interpolacji liniowej. Do 10 pierwszych pomiarów temperatury wody (zanim wrzucono ciało do kalorymetru) dopasowano

Badane ciała	Temperatura początkowa badanych ciał [°C]
1 - Miedziane	100,2
2 - Mosiężne	100,4
3 - Aluminiowe	102,4

Tabela 2: Temperatury początkowe badanych ciał

Masa [g]							
$m_1$	$m_2$	$m_3$	$m_n$	$m_w + m_n$	$m_{w1}$	$m_{w2}$	$m_{w3}$
73	70,8	15,2	126,1	192,9	66,8		

Tabela 3: Masy

linię prostą, następnie do 10 ostatnich pomiarów temperatury wody (po wrzuceniu ciała do kalorymetru) dopasowano drugą linię prostą. Dla czasu  $t = 330$  lub  $t = 300$  sekund wykonano interpolację temperatury wody, odczytując temperatury początkowe i końcowe.

Otrzymane wyniki interpolacji temperatury wody przedstawiono na wykresach 1a, 1b i 1c.

Wartości temperatur początkowych i końcowych odczytano z wykresów i przedstawiono w tabeli 4.

Ciało	Temperatura początkowa	Temperatura końcowa
Miedziane	25,30	30,75
Mosiężne	24,90	30,40
Aluminiowe	25,10	27,78

Tabela 4: Temperatury początkowe i końcowe

## 4.2 Ciepło właściwe poszczególnych ciał

Korzystając z wyprowadzonego wzoru 4 obliczono ciepło właściwe poszczególnych ciał.

Przykładowe obliczenia dla ciała miedzianego:

$$c_p = \frac{[0,0668 \cdot 4186 + 0,1261 \cdot 377] \cdot (25,30 - 30,75)}{0,073 \cdot (30,75 - 100,2)} = 351,70 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad (5)$$

$$c_p = \frac{[0,0612 \cdot 4186 + 0,1261 \cdot 377] \cdot (24,90 - 30,40)}{0,0708 \cdot (30,40 - 100,4)} = 337,06 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad (6)$$

$$c_p = \frac{[0,0756 \cdot 4186 + 0,1261 \cdot 377] \cdot (25,10 - 27,78)}{0,0152 \cdot (27,78 - 102,4)} = 860,08 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad (7)$$

Wyniki obliczeń ciepła właściwego dla wszystkich badanych ciał przedstawiono w tabeli 5.

Ciało	Ciepło właściwe [J/kgK]
Miedziane	351,70
Mosiężne	337,06
Aluminium	860,08

Tabela 5: Ciepło właściwe poszczególnych ciał

Tabela rzeczywistych ciepł właściwych poszczególnych ciał przedstawiona jest w tabeli 6.

Ciało	Ciepło właściwe [J/kgK]
Miedź	385,00
Mosiądz	375,00
Aluminium	900,00

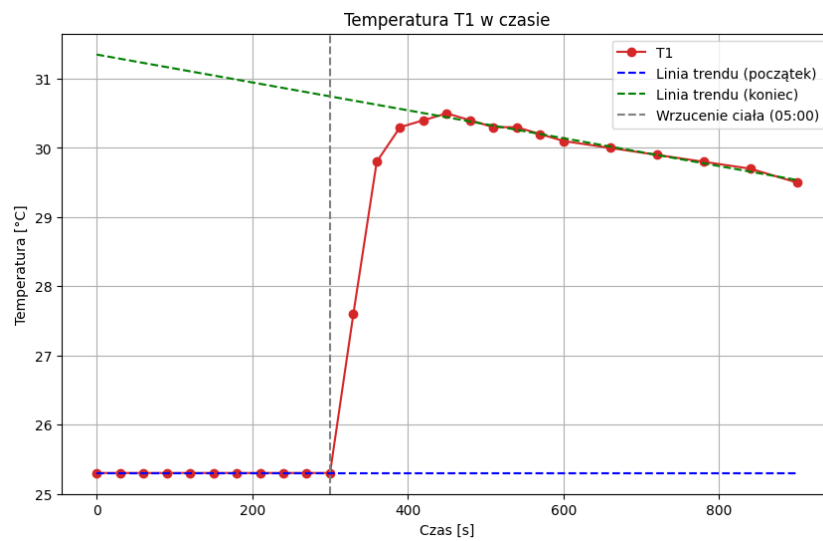
Tabela 6: Ciepło właściwe poszczególnych ciał (źródło: [1])

## 5 Ocena niepewności pomiaru

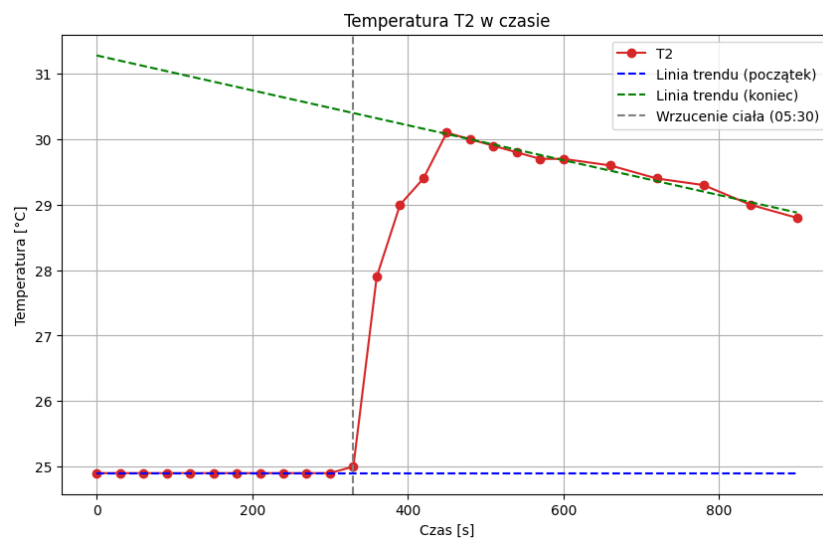
## 6 Wnioski



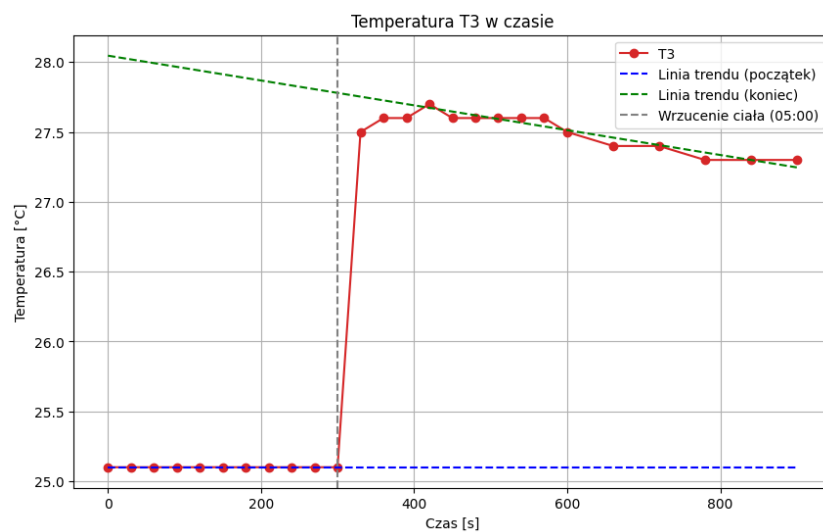
## 7 Wykresy



(a) Interpolacja temperatury dla ciała miedzianego



(b) Interpolacja temperatury dla ciała mosiężnego



(c) Interpolacja temperatury dla ciała aluminiowego

Rysunek 1: Wykresy interpolacji temperatury dla badanych ciał

## Literatura

- [1] Calculla. Tabela ciepła właściwego. [https://calculla.pl/tabela\\_ciepla\\_wlasciwego](https://calculla.pl/tabela_ciepla_wlasciwego), 2024. Dostęp: 14.04.2024.
- [2] William Moebs, Samuel J. Ling, and Jeff Sanny. *Fizyka dla szkół wyższych, Tom 2*. OpenStax, 2018. Dostęp: 14.04.2024.