

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

Data wykonania pomiarów:
06.05.2025

Prowadząca:
dr Iwona Mróz

Ćwiczenie nr 29

Anomalia rozszerzalności cieplnej wody

Spis treści

1	Wstęp teoretyczny	2
2	Opis doświadczenia	2
3	Opracowanie wyników pomiarów	2
3.1	Tabele pomiarowe	2
3.2	Zmiana objętości wody	3
3.3	Względna zmiana gęstości	4
4	Ocena niepewności pomiarowych	4
4.1	Niepewność pomiaru temperatury	4
4.2	Niepewność pomiaru wysokości słupa cieczy	4
5	Wnioski	4
6	Wykresy	5

1 Wstęp teoretyczny

2 Opis doświadczenia

3 Opracowanie wyników pomiarów

3.1 Tabele pomiarowe

T [°C]	h [mm]	
	Seria 1	Seria 2
11.0	80	71
10.8	77	70
10.6	75	68
10.4	74	66
10.2	72	64
10.0	69	62
9.8	68	60
9.6	66	58
9.4	64	56
9.2	63	55
9.0	61	54
8.8	61	51
8.6	60	51
8.4	56	49
8.2	55	48
8.0	53	46
7.8	52	44
7.6	51	44
7.4	50	43
7.2	49	41
7.0	47	40
6.8	46	39
6.6	45	37
6.4	44	37
6.2	43	36
6.0	42	40
5.8	42	36
5.6	42	34
5.4	40	32
5.2	40	32
5.0	39	< 30
4.8	38	< 30
4.6	38	< 30
4.4	38	< 30
4.2	37	< 30
4.0	37	< 30
3.8	37	< 30
3.6	37	< 30
3.4	37	< 30

T [°C]	h [mm]	
	Seria 1	Seria 2
3.2	37	< 30
3.0	37	< 30
2.8	37	30
2.6	37	30
2.4	38	30
2.2	38	32
2.0	38	33
1.8	39	34
1.6	39	34
1.4	40	35
1.2	40	36
1.0	41	37
0.8	41	38
0.6	42	39
0.4	43	40
0.2	43	41

Tabela 1: Wyniki pomiarów wysokości słupa wody w zależności od temperatury

Średnica wewnętrzna kapilary wynosi $d = 1,7$ mm.

3.2 Zmiana objętości wody

Na podstawie zmierzonej wysokości słupa wody obliczono objętość wody w kapilarze według wzoru:

$$V = V_{\text{kolby}} + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h \quad (1)$$

gdzie $d = 1,7$ mm jest średnicą wewnętrzną kapilary, a h jest wysokością słupa wody, $V_{\text{kolby}} = 300 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$ jest objętością kolby.

Obliczono również zmianę objętości ΔV względem objętości minimalnej (dla temperatury 4°C):

$$\Delta V = V - V_{4^\circ C} \quad (2)$$

Tabela 2: Wartości objętości wody oraz zmiany objętości (wybrane temperatury)

T [°C]	V_1 [m ³]	V_2 [m ³]	ΔV_1 [m ³]	ΔV_2 [m ³]
11,0	$3,0018 \cdot 10^{-4}$	$3,0016 \cdot 10^{-4}$	$9,76 \cdot 10^{-8}$	$9,31 \cdot 10^{-8}$
10,0	$3,0016 \cdot 10^{-4}$	$3,0014 \cdot 10^{-4}$	$7,26 \cdot 10^{-8}$	$7,26 \cdot 10^{-8}$
9,0	$3,0014 \cdot 10^{-4}$	$3,0012 \cdot 10^{-4}$	$5,45 \cdot 10^{-8}$	$5,45 \cdot 10^{-8}$
8,0	$3,0012 \cdot 10^{-4}$	$3,0010 \cdot 10^{-4}$	$3,63 \cdot 10^{-8}$	$3,63 \cdot 10^{-8}$
7,0	$3,0011 \cdot 10^{-4}$	$3,0009 \cdot 10^{-4}$	$2,27 \cdot 10^{-8}$	$2,27 \cdot 10^{-8}$
6,0	$3,0010 \cdot 10^{-4}$	$3,0008 \cdot 10^{-4}$	$1,36 \cdot 10^{-8}$	$1,36 \cdot 10^{-8}$
5,0	$3,0009 \cdot 10^{-4}$	$3,0007 \cdot 10^{-4}$	$4,54 \cdot 10^{-9}$	$4,54 \cdot 10^{-9}$
4,0	$3,0008 \cdot 10^{-4}$	$3,0007 \cdot 10^{-4}$	$0,00 \cdot 10^{-8}$	$0,00 \cdot 10^{-8}$
3,0	$3,0008 \cdot 10^{-4}$	$3,0007 \cdot 10^{-4}$	$2,27 \cdot 10^{-9}$	$4,54 \cdot 10^{-9}$
2,0	$3,0009 \cdot 10^{-4}$	$3,0007 \cdot 10^{-4}$	$4,54 \cdot 10^{-9}$	$9,08 \cdot 10^{-9}$
1,0	$3,0009 \cdot 10^{-4}$	$3,0008 \cdot 10^{-4}$	$6,81 \cdot 10^{-9}$	$1,13 \cdot 10^{-8}$
0,2	$3,0010 \cdot 10^{-4}$	$3,0009 \cdot 10^{-4}$	$9,08 \cdot 10^{-9}$	$1,36 \cdot 10^{-8}$

Pełne dane objętości dla wszystkich pomiarów przedstawiono na wykresie (Rys. 1). Można zauważyć, że woda osiąga najmniejszą objętość (największą gęstość) w okolicy temperatury 4°C, co potwierdza zjawisko anomalii rozszerzalności cieplnej wody.

3.3 Względna zmiana gęstości

Względna zmiana gęstości wody w temperaturze 10°C względem maksymalnej gęstości. Na podstawie wykresu (Rys. 1) woda osiąga największą gęstość w temperaturze 4°C.

$$\begin{aligned}
 V_{10^{\circ}C} &= 300 \cdot 10^{-6} + \frac{\pi \cdot 0,0017^2 \cdot 0,037}{4} = 0.00030008 \text{ m}^3 \\
 V_{4^{\circ}C} &= 300 \cdot 10^{-6} + \frac{\pi \cdot 0,0017^2 \cdot 0,069}{4} = 0.0003001 \text{ m}^3 \\
 \frac{\rho(T=4^{\circ}C) - \rho(T=10^{\circ}C)}{\rho_{T=4^{\circ}C}} &= \frac{\frac{m}{V(4^{\circ}C)} - \frac{m}{V(10^{\circ}C)}}{\frac{m}{V(4^{\circ}C)}} \\
 &= \frac{V_{10^{\circ}C} - V_{4^{\circ}C}}{V_{10^{\circ}C}} = \frac{0.0003001 - 0.00030008}{0.0003001} = 0.00024 = 2,4 \cdot 10^{-4}
 \end{aligned}$$

4 Ocena niepewności pomiarowych

4.1 Niepewność pomiaru temperatury

Do pomiaru temperatury użyto termometru elektronicznego o niepewności maksymalnej $\Delta_d T = 0,1^{\circ}C$. Niepewność standardową oszacowano za pomocą metody typu B:

$$u(t) = \frac{\Delta_d T}{\sqrt{3}} = \frac{0,1}{\sqrt{3}} \approx 0,0577^{\circ}C \quad (3)$$

4.2 Niepewność pomiaru wysokości słupa cieczy

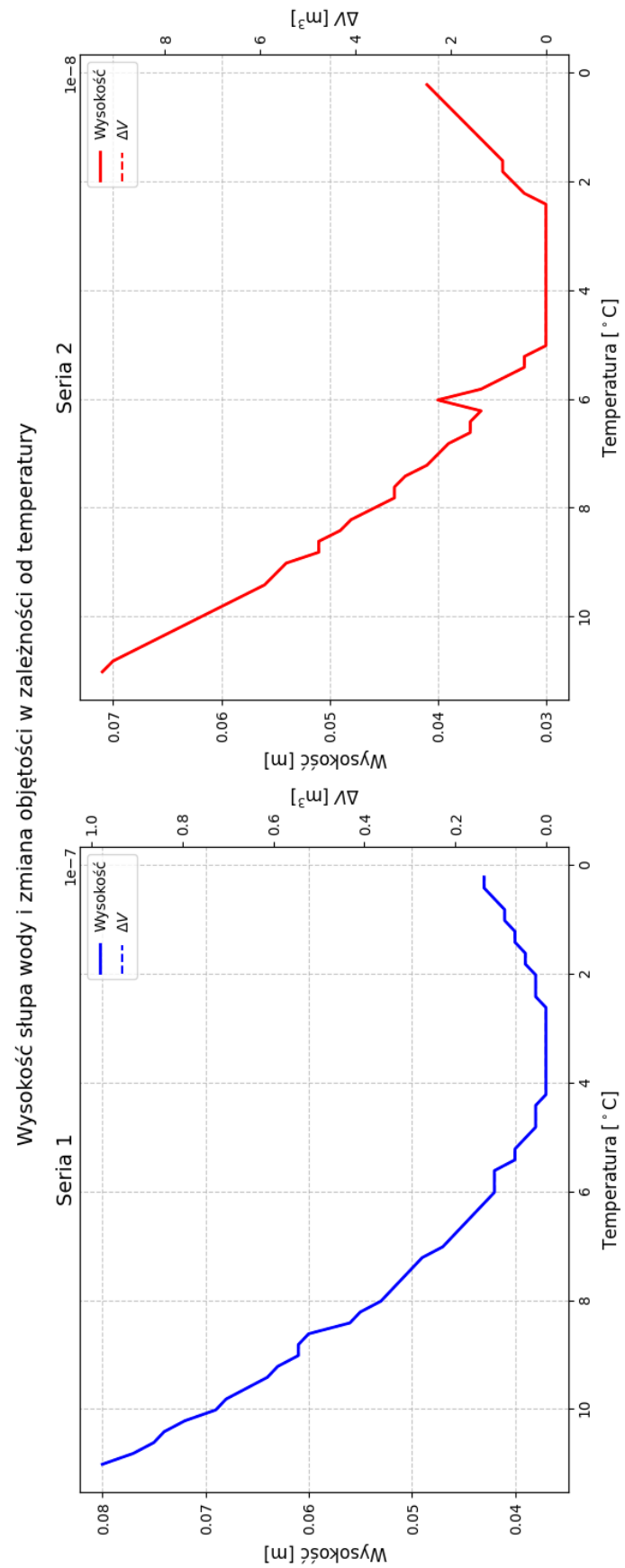
Wysokość słupa wody w kapilarze była odczytywana z niepewnością maksymalną $\Delta_d h = 0,001 \text{ m}$. Niepewność standardową oszacowano za pomocą metody typu B:

$$u(h) = \frac{\Delta_d h}{\sqrt{3}} = \frac{0,001}{\sqrt{3}} \approx 0,00058 \text{ m} \quad (4)$$

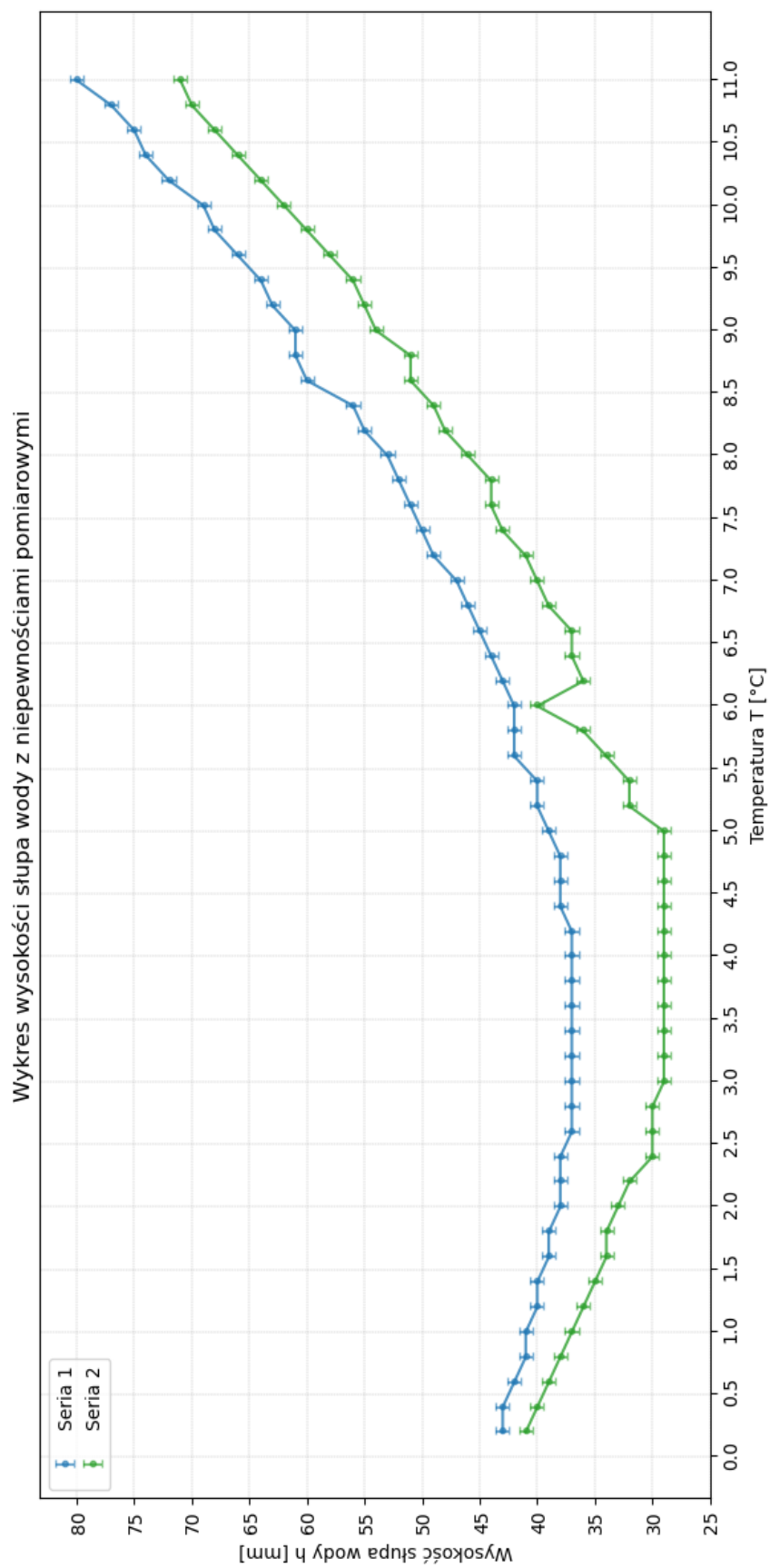
Wykres razem z niepewnościami przedstawiono na Rys. 2.

5 Wnioski

6 Wykresy



Rysunek 1: Wysokość słupa wody oraz zmiana objętości wody w zależności od temperatury.



Rysunek 2: Wysokość słupa wody oraz zmiana objętości wody w zależności od temperatury z uwzględnieniem niepewności.

Literatura