
 POLITECHNIKA OPOLSKA	KATEDRA FIZYKI	
	LABORATORIUM FIZYKI	
WYZNACZANIE WSPÓŁCZYNNIKA ROZSZERZALNOŚCI LINIOWEJ CIAŁ STAŁYCH		

WSTĘP

Ciała stałe, ciecze i gazy zmieniają swoje wymiary liniowe podczas ogrzewania. Poza nielicznymi wyjątkami wymiary liniowe ciał stałych rosną wraz ze wzrostem temperatury. Przyrost długości ciała stałego jest wprost proporcjonalny do długości tego ciała w temperaturze początkowej i do przyrostu temperatury (w niewielkich przedziałach temperatury). Matematycznie związek ten można zapisać w następującej postaci:

$$\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta T \quad (1)$$

w którym: α – współczynnik rozszerzalności liniowej,
 ΔL – wydłużenie,
 L_0 – długość początkowa,
 ΔT – przyrost temperatury pręta.

Przekształcając zależność (1) otrzymujemy współczynnik rozszerzalności liniowej α , który ma wymiar odwrotności temperatury i jest równy względnemu przyrostowi długości powodowanemu jednostkowym przyrostem temperatury.

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0} \cdot \frac{1}{\Delta T} \quad (2)$$

UKŁAD DOŚWIADCZALNY

Do pomiaru α metodą pośrednią używa się dylatometru.



Rys. 1. Fotografia przedstawiająca elementy stanowiska do badań z widocznym na drugim planie dylatometrem.

Zasadniczą częścią dylatometru jest rura, w której umieszcza się badany metalowy pręt. Pręt umieszcza się między śrubą mikrometryczną z jednej strony i czujnikiem mikrometrycznym z drugiej strony. Koniec pręta, który pozostaje w kontakcie ze śrubą mikrometryczną, jest unieruchomiony, natomiast jego drugi koniec dotyka ruchomej główki czujnika – miernika wielkości wydłużenia. W procesie ogrzewania pręt wydłuża się, co skutkuje zmianami wskazań czujnika. Wartość wydłużenia pręta wyznaczamy, na podstawie wskazań czynnika po ogrzaniu pręta i przed jego ogrzaniem.

WYKONANIE POMIARÓW

1. Z użyciem liniału, którego zero skali pokrywa się z boczną krawędzią, wykonać pomiary położenia początku x_1 i końca x_2 prętów oraz oszacować ich niepewność wzorcowania i eksperymentatora. Dla obu rodzajów pomiarów przyjąć identyczne wartości niepewności wzorcowania. Wyniki zapisać w Tabeli Pomiarów.
2. Odczytać wartość temperatury powietrza t_0 w laboratorium oraz wartość ciśnienia atmosferycznego p . (Dla procesu ogrzewania przyjmujemy, że początkowa temperatura pręta równa jest temperaturze otoczenia). Oszacować wartości niepewności wzorcowania $\Delta_d(t_0)$ i $\Delta_d(p)$ oraz eksperymentatora $\Delta_e(t_0)$ i $\Delta_e(p)$ – wyniki zapisać w Tabeli Pomiarów.
3. Zamontować badany pręt w dylatometrze, zwracając uwagę na dobre ustawienie pręta pomiędzy nieruchomym końcem śruby mikrometrycznej a czujnikiem. Kręcąc śrubą mikrometryczną należy nieco docisnąć pręt do główki czujnika wydłużenia. Podłączyć rurki doprowadzające i odprowadzające parę wodną do dylatometru.
4. Wyzerować czujnik mikrometryczny.
5. Włączyć ogrzewanie kociołka wytwarzającego parę wodną.
6. Po ustabilizowaniu się wydłużenia (co oznacza, że pręt osiągnął temperaturę wrzenia wody), odczytać wartość wydłużenia ΔL pręta i oszacować wartości niepewności wzorcowania $\Delta_d(\Delta L)$ i eksperymentatora $\Delta_e(\Delta L)$ – wyniki zapisać w Tabeli Pomiarów. Wyłączyć ogrzewanie.
7. Ostrożnie odłączyć rurki od dylatometru. Pod strumieniem zimnej wody schłodzić dylatometr, po czym wyjąć obecny w nim pręt. Dylatometr odłożyć na kilka minut, aby jego temperatura osiągnęła temperaturę pokojową.
8. Punkty 3-7 powtórzyć dla wszystkich badanych prętów.

TABELE POMIARÓW

pręt	t_0 [°C]	p [hPa]	x_1 [mm]	x_2 [mm]	ΔL [mm]

$\Delta_d(t_0)$ [°C]	$\Delta_e(t_0)$ [°C]	$\Delta_d(p)$ [hPa]	$\Delta_e(p)$ [hPa]	$\Delta_d(x)$ [mm]	$\Delta_e(x_i)$ [mm]	$\Delta_e(x_2)$ [mm]	$\Delta_d(\Delta L)$ [mm]	$\Delta_e(\Delta L)$ [mm]

OPRACOWANIE WYNIKÓW POMIARÓW

1. Oszacować wartości rozszerzonych ($k = 2$) całkowitych niepewności pomiaru bezpośredniego: temperatury początkowej t_0 , ciśnienia p , położenia początku x_1 i końca x_2 pręta, przyrostu długości pręta ΔL :

$$\begin{aligned}
 U(t_0) &= k \cdot u(t_0) = k \cdot \sqrt{\frac{(\Delta_d(t_0))^2 + (\Delta_e(t_0))^2}{3}} \\
 U(p) &= k \cdot u(p) = k \cdot \sqrt{\frac{(\Delta_d(p))^2 + (\Delta_e(p))^2}{3}} \\
 U(x) &= k \cdot u(x) = k \cdot \sqrt{\frac{(\Delta_d(x))^2 + (\Delta_e(x))^2}{3}} \\
 U(\Delta L) &= k \cdot u(\Delta L) = k \cdot \sqrt{\frac{(\Delta_d(\Delta L))^2 + (\Delta_e(\Delta L))^2}{3}}
 \end{aligned} \tag{3}$$

2. Dla dowolnego pręta wykonać przykład obliczenia jego długości początkowej L_0 .

$$L_0 = x_2 - x_1 \tag{4}$$

3. Wykonać przykład oszacowania wartości całkowitej niepewności wyznaczenia początkowej długości pręta $U(L_0)$:

$$U(L_0) = \sqrt{\left(\frac{\partial L_0}{\partial x_1} \cdot U(x_1)\right)^2 + \left(\frac{\partial L_0}{\partial x_2} \cdot U(x_2)\right)^2} = \sqrt{(U(x_1))^2 + (U(x_2))^2} \tag{5}$$

4. Temperaturę końcową pręta t_k odczytać z tablic zależności temperatury wrzenia wody od ciśnienia. Skorzystać z tablic fizycznych, podając jako źródło informacji ich tytuł, nazwę wydawnictwa i rok wydania. Wykonać stosowny zapis w sprawozdaniu.

5. W celu oszacowania wartości niepewności temperatury końcowej t_k , odczytać z tablic wartości temperatur T_{k2} i T_{k1} odpowiadające wartościom ciśnień: $p+U(p)$ oraz $p-U(p)$. Rozszerzoną ($k = 2$) wartość niepewności temperatury końcowej wyznaczyć z zależności:

$$U(T_k) = k \cdot \frac{T_{k2} - T_{k1}}{2} \tag{6}$$

6. Wykonać przykład obliczenia przyrostu temperatury pręta:

$$\Delta t = T_k - T_0 = \Delta T \tag{7}$$

7. Oszacować wartość niepewności przyrostu temperatury:

$$\begin{aligned}
 U(\Delta t) = U(\Delta T) &= \sqrt{\left(\frac{\partial \Delta t}{\partial t_k} \cdot U(t_k)\right)^2 + \left(\frac{\partial \Delta t}{\partial t_0} \cdot U(t_0)\right)^2} + 3 = \\
 &= \sqrt{(1 \cdot U(t_k))^2 + (-1 \cdot U(t_0))^2} + 3 = \sqrt{(U(t_k))^2 + (U(t_0))^2} + 3
 \end{aligned} \tag{8}$$

W powyższym wyrażeniu wprowadzono poprawkę o wartości 3 [°C lub K], zwiększającą końcową wartość niepewności. Poprawka uwzględnia szacunkowe straty wartości temperatury t_k wynikające z efektów rozpraszania ciepła do otoczenia przez przewód doprowadzający parę wodną do rury kalorymetru.

8. Wykonać pozostałe obliczenia a wyniki umieścić w Tabeli Wyników:

TABELA WYNIKÓW

pręt / materiał	L_0 [mm]	$U(L_0)$ [mm]	ΔL [mm]	$U(\Delta L)$ [mm]	ΔT [K]	$u(\Delta T)$ [K]

9. Dla dowolnego pręta wykonać przykład obliczenia wartości współczynnika rozszerzalności liniowej (2):

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta T} \quad (9)$$

10. Oszacować wartość całkowitej niepewności współczynnika rozszerzalności liniowej (9)

$$U(\alpha) = \sqrt{\left(\frac{\partial \alpha}{\partial \Delta L} \cdot U(\Delta L)\right)^2 + \left(\frac{\partial \alpha}{\partial L_0} \cdot U(L_0)\right)^2 + \left(\frac{\partial \alpha}{\partial \Delta T} \cdot U(\Delta T)\right)^2} =$$

$$\sqrt{\left(\frac{1}{L_0 \cdot \Delta T} \cdot U(\Delta L)\right)^2 + \left(\frac{\Delta L}{L_0^2 \cdot \Delta T} \cdot U(L_0)\right)^2 + \left(\frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta T^2} \cdot U(\Delta T)\right)^2} =$$

$$\alpha \cdot \sqrt{\left(\frac{U(\Delta L)}{\Delta L}\right)^2 + \left(\frac{U(L_0)}{L_0}\right)^2 + \left(\frac{U(\Delta T)}{\Delta T}\right)^2} \quad (10)$$

11. Wykonać obliczenia wartości współczynnika rozszerzalności liniowej. Wyniki zamieścić w tabeli wyników końcowych.

12. W oparciu o szablon napisać wnioski z doświadczenia. Wnioski muszą zawierać próbę dokonania identyfikacji materiałów, z których wykonano badane pręty.

pręt / materiał	α	$U(\alpha)$	Wartość tablicowa, α
	$[K^{-1}]$	$[K^{-1}]$	$[\cdot 10^{-6} K^{-1}]$

LITERATURA

[1] SKORKO M.: Fizyka, PWN, Warszawa 1978.

[2] DRYŃSKI T.: Ćwiczenia Laboratoryjne z Fizyki, PWN, Warszawa 1978

[3] Ćwiczenia Laboratoryjne z Fizyki (praca zbiorowa), Skrypt Nr 279, Politechnika Opolska 2007.