

**Zagadnienia powiązane**

Rozszerzalność liniowa, rozszerzalność objętościowa cieczy, pojemność cieplna, odkształcenia sieci krystalicznej, rozstaw położeń równowagi, parametr Grüneisena.

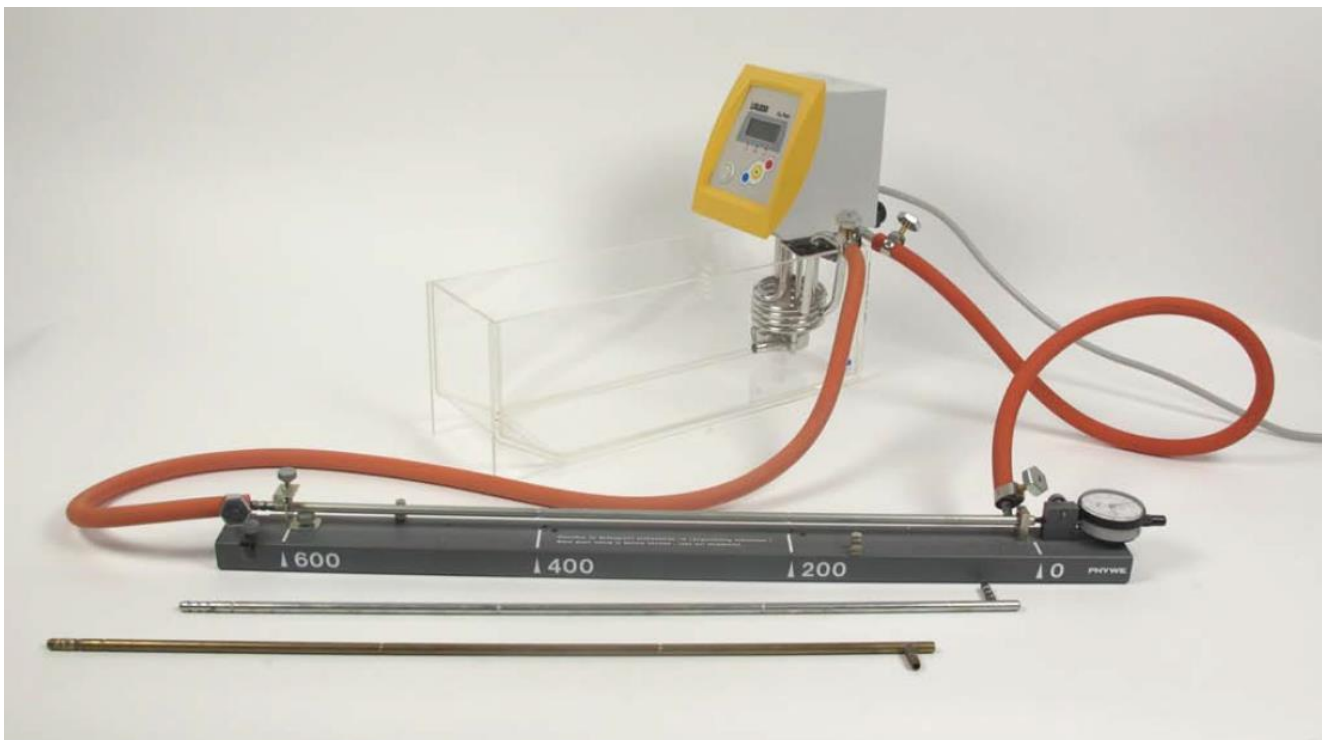
**Podstawy**

Zbadamy zależność liniowej rozszerzalności różnych materiałów od temperatury.

**Wyposażenie**

1	Dylatometr ze wskaźnikiem zegarowym	04233-00
1	Rurka do dylatometru, miedziana	04231-05
1	Rurka do dylatometru, aluminiowa	04231-06
1	Rurka do dylatometru, szkło kwarcowe	04231-07
1	Termostat zawieszany Alpha A, do 100 °C, 230 Volt	08493-93
1	Zestaw pompujący do termostatu Alpha A	08493-02
1	Wanienka do termostatu, 6 l, Makrolon	08487-02
1	Termometr laboratoryjny, -10...+100 °C	38056-00
2	Przewód gumowy, śr. wewnętrzna = 6 mm	39282-00
4	Zabezpieczenie przewodu do d = 5-12 mm	40997-00
1	Przewód gumowy, śr. wewnętrzna = 10 mm	39290-00
2	Łącznik przewodów do d = 6-10 mm	47516-01

Czas trwania: około 10 minut na przygotowanie i 20 minut dla każdej próbki



Rys. 1: P2310300

**Zadania**

1. Wyznaczenie, za pomocą dylatometru, zależności wydłużenia prętów z mosiądzu, żelaza, miedzi, glinu, szkła typu Duran oraz szkła kwarcowego od temperatury.
2. Zbadanie związku pomiędzy przyrostem długości a długością całkowitą dla glinu.

**Przygotowanie**

Przygotuj doświadczenie zgodnie z Rysunkiem 1. Przed jego użyciem, zapoznaj się z instrukcją obsługi termostatu.

Aby wstawić rurkę pomiarową do dylatometru, najpierw poprowadź ją od wewnątrz poprzez uchwyt mocujący, a następnie wciśnij zamknięty od wewnątrz, poprzez uchwyt podpierający. Dla poprawnego zawieszenia na uchwycie mocującym, upewnij się, że radełkowana śruba dokładnie dociska okrągły rowek w rurze, dokręć ją, a następnie sprawdź, czy rurka jest zamocowana tak, nie mogła się przemieszczać.

Przesuń wskaźnik zegara w kierunku urządzenia zaciskowego, aż tarcza wybierania będzie nieco odchylona, następnie zamocuj go w tym położeniu przez ciasne dokręcenie zacisku. Aby przesunąć pokrętkę tak, że wskaźnik znajdzie się w punkcie zerowym, obróć pierścień zewnętrzny czujnika zegarowego. Podłącz przewód kauczukowy do dwóch złączek, tak, aby woda płynęła do króćca przy zamkniętym końcu, a na zewnątrz z drugiej złączki. Zaciśnij przewody rurowych opaskami.

Trzymaj elementy dopływowe i odpływowe jak najdalej od dylatometru tak, aby jego elementy się nie nagrzewały.

**Wykonanie doświadczenia***Zadanie 1**Rury metalowe*

Zaciśnij rurkę pomiarową na dylatometrze (długość = 600 mm) i dołącz do termostatu zanurzeniowego z możliwie najniższą temperaturą (temperatura wody z kranu, bez ogrzewania). Zwykle temperatura jest w zakresie od 20 °C do 30 °C. Jeśli chcesz zacząć od standardowych warunków 20 °C, możesz zastosować do ostygnięcia wody kostki lodu.

Teraz odczytaj bieżącą temperaturę (temperatura początkowa), zanotuj ją i ustaw skalę na czujniku na „0”. Ustaw termostat na 90 °C, aby zagrzać łaźnię i rurki. Podczas podgrzewania, obserwuj rozszerzanie się w krokach, co 15 °C i notuj je, dla odpowiednich temperatur  $T$ , w tabeli.

*Rury szklane*

Wydłużenie, w przypadku szkła Duran oraz szkła kwarcowego, jest tak małe, że podgrzanie i rozszerzanie korpusu dylatometru w wyniku promieniowania i przewodzenia znacznie fałszuje pomiary. W tym przypadku więc, pomiar należy rozpocząć z najwyższą temperaturą (80 °C do 90 °C). Należy zachować tę temperaturę przez około 5 minut i zanotować długość rurki oraz temperaturę. Następnie ustaw skalę na czujniku na „0”. Teraz zastąp ciepłą wodę w wanience wodą zimną i zmierz ponownie temperaturę i rozszerzenie (oczywiście, że będzie ono ujemne).

Przy tej metodzie temperatura zmienia się, temperatura korpusu dylatometru będzie zatem w miarę stała. Zmierz tylko dwie wartości.

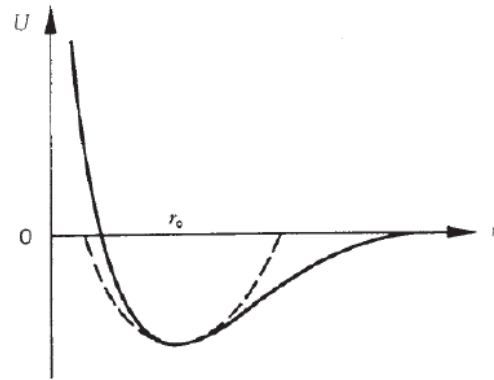
Ponieważ wodę trzeba zastąpić, korzystając z metalowej rurki pomiarowej, zatem zaleca się wykonanie pomiarów dla rurki szklanej, między pomiarami dla dwóch rurek metalowych.

*Zadanie 2*

W przypadku glinu, rozszerzenie będziemy mierzyć dla w trzech różnych długości pręta. Pręt, do tego celu, można zamocować w różnych miejscach.

Zacznij w możliwie najniższej temperaturze i zamocuj pręt na długości 200 mm. Ustaw skalę na czujniku na „0”. Zwiększ temperaturę o  $\Delta T = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$  i utrzymuj ją na stałym poziomie. Odczytaj rozszerzenie i zanotuj je. Zamocuj pręt na długości 400 mm i ustaw skalę na czujniku, ponownie na „0”. Zwiększ ponownie temperaturę  $\Delta T = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$  i utrzymuj ją na stałym poziomie.

Do pomiaru rozszerzenia pręta o długości 600 mm, można również wykorzystać pomiar z *Zadania 1*.



Rys. 2: Krzywa zależności energii potencjalnej od odległości międzycząsteczkowych  $r$ .

### Teoria i analiza wyników

Wzrost temperatury  $T$  powoduje, że wzrasta amplituda drgań atomów w sieci krystalicznej substancji. Krzywa potencjału sił wiązania (Rysunek 2) odpowiada jedynie w pierwszym przybliżeniu parboli - dla drgań harmonicznym (przerywana linia); na ogół jest ona bardziej płaska w przypadku dużych odległości międzycząsteczkowych niż w przypadku małych. Jeżeli amplituda drgań jest duża, środek równowagi drgań przesuwa się w ten sposób zwiększając odległości między cząsteczkami. Średni odstęp pomiędzy atomami wzrasta, wzrasta również całkowita objętość  $V$  (przy stałym ciśnieniu  $p$ ).

$$\alpha = \frac{1}{V} \cdot \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_p \quad (1)$$

nazywane jest współczynnikiem rozszerzalności objętościowej; jeśli weźmiemy pod uwagę tylko jeden wymiar, otrzymujemy współczynnik rozszerzalności liniowej:

$$\alpha_1 = \frac{1}{l} \cdot \left( \frac{\partial l}{\partial T} \right)_p \quad (2)$$

gdzie  $l$  jest całkowitą długość ciała.

Zadanie1:

Tabela 1 przedstawia przykładowe wyniki:

Mosiądz		Stal		Miedź		Glin	
$T$ °C	$\Delta l$ mm	$T$ °C	$\Delta l$ mm	$T$ °C	$\Delta l$ mm	$T$ °C	$\Delta l$ mm
28	0	25	0	22	0	24	0
43	0.18	40	0.12	37	0.16	39	0.22
58	0.35	55	0.23	52	0.31	54	0.42
73	0.5	70	0.33	67	0.44	69	0.6
88	0.65	85	0.42	82	0.56	84	0.78

Tabela 1: Rozszerzalność rur metalowych

Oblicz, dla każdego etapu, temperatura  $T - T_0$ , tak jak przedstawiono w Tabeli 2.

Tabela 2: Wyniki dla próbek. Rozszerzalność rur metalowych.

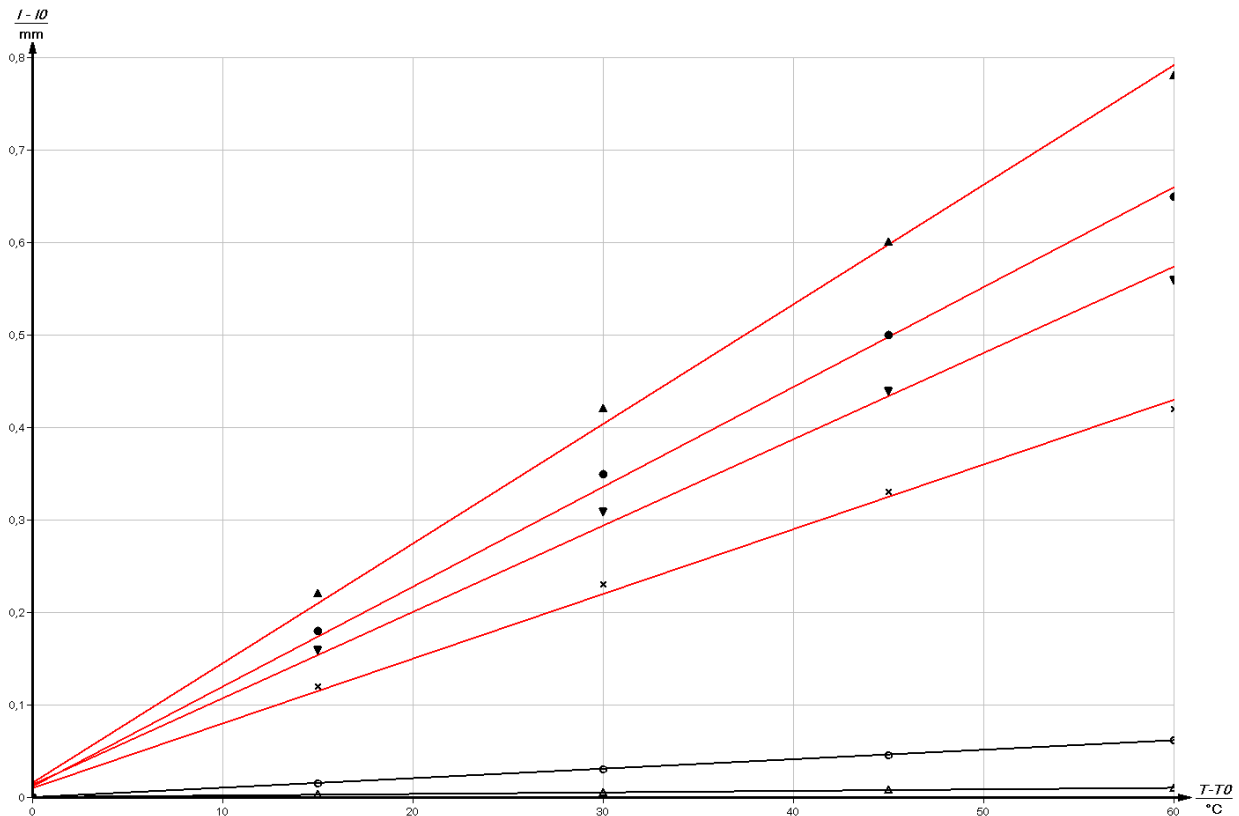
$T - T_0$ °C	$\Delta l$ mm			
	Mosiądz	Stal	Miedź	Glin
0	0	0	0	0
15	0.18	0.12	0.16	0.22
30	0.35	0.23	0.31	0.42
45	0.5	0.33	0.44	0.6
60	0.65	0.42	0.56	0.78

Dla szklanych rurek (Tabela 3) oblicz  $T - T_0$ . Ale tu trzeba zmienić kolejność (czyli niższą temperaturę odjąć od wyższej  $T_0$ ). Dlatego dla „0” rozszerzenie wynosi 0 ( $T - T_0 = 0$ ), wtedy rozszerzenie dla wysokiej temperatury - oczywiście będzie dodatnie.

Tabela 3: Rozszerzalność rurek szklanych

Duran		Kwarc	
$T - T_0$ in °C	$\Delta l$ in mm	$T - T_0$ in °C	$\Delta l$ in mm
0	0	0	0
58	0.08	59	0.01

Rysunek 4 wykazuje, że długość zwiększa się w przybliżeniu liniowo w temperaturze w zakresie obserwowanych temperatur. Zauważ, że dla szklanych rurek mamy tylko dwa punkty pomiarowe. Linie są dobrze dopasowane do danych pomiarowych.



Rys. 2.: Wyniki pomiarów. Zależność między długością  $l$  i temperaturą  $\Delta T$  dla: a) glinu, b) z mosiądku, c) miedzi, d) stali, e) szkła Duran, f) szkła kwarcowego ( $l_0 = 600$  mm)

Ponieważ zmiany długości:

$$\Delta l = l - l_0$$

są małe w porównaniu z oryginalną długością  $l_0$ , można powiedzieć, że

$$\alpha_1 = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot \frac{1}{\Delta T} \quad (3)$$

a stąd

$$l = l_0 [1 + \alpha_1 (T - T_0)] \quad (4)$$

gdzie  $T_0$  jest temperaturą początkową.

Z równania (4), wyznacz współczynniki rozszerzalności liniowej  $\alpha$ . Zazwyczaj ten wynik jest przedstawiany jako iloczyn  $10^6$ .

Tabela 4 przedstawia przykładowe wyniki.

Należy zauważyć, że wartości teoretyczne są mierzone w standardowej temperaturze  $T = 20$  °C. Współczynniki rozszerzalności stali i glinu, zależą od składu metalu.

Tabela 4. Współczynniki rozszerzalności liniowej

	Mosiądz	Stal	Miedź	Glin	Duran	Kwarc
Współczynnik	0.0108 mm/K	0.007 mm/K	0.0933 mm/K	0.0129 mm/K	0.00103 mm/K	0.00017 mm/K
$\alpha \cdot 10^6 / K$	18	12	16	22	1.7	0.3
Wartości teoretyczne	18.4	13	16.5	23	3.25	0.5

Zadanie 2

Jeśli zmiany temperatury  $\Delta T$  nie są zbyt duże, zmiana długości  $\Delta l$  jest proporcjonalna do długości pierwotnej  $l_0$  (patrz równanie (3)).

Tabela 5: Rozszerzalność rur aluminiowych ( $\Delta T = 15^\circ C$ )

Oryginalna długość $l$ w mm	$\Delta l$ w mm
200	0.08
400	0.15
600	0.22

Rysunek 5 przedstawia dane z Tabeli 5. Można zauważyć zachowanie liniowe (zgodnie z teorią).



Rys. 3: Zmiana długości w zależności od długości początkowej

**Uwaga**

Równanie Grüneisena

$$\frac{\alpha}{C_P} = \gamma \cdot \frac{\kappa}{V} \quad (5)$$

Gdzie

$$\kappa = -\frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial p} \right)_T$$

jest ścisłością, a

$$C_P = \left( \frac{\partial U}{\partial T} \right)_P$$

to pojemność cieplna substancji stałej ( $U$  = energia wewnętrzna), oznacza związek pomiędzy właściwościami mechanicznymi i cieplnymi substancji stałej. Współczynnik Grüneisena  $\gamma$  jest zdefiniowany jako zmiana częstości  $\nu$  drgań siatki krystalicznej z objętością:

$$\frac{\Delta \nu}{\nu} = -\gamma \frac{\Delta V}{V}$$

i może być wyznaczony z makroskopowych wartości zgodnie z równaniem (5).

