

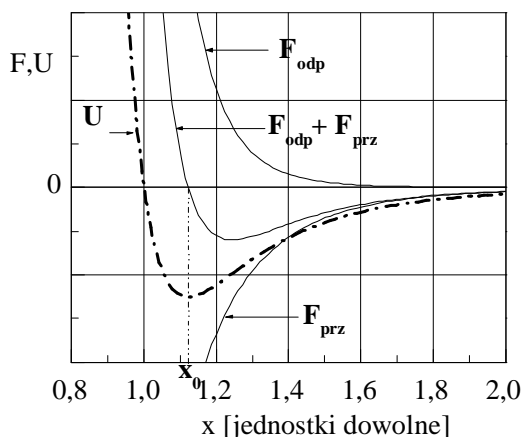
WYZNACZANIE WSPÓŁCZYNNIKA ROZSZERZALNOŚCI CIEPLNEJ METALI ZA POMOCĄ DYLATOMETRU

I. WSTĘP

Rozszerzalność cieplna ciał stałych

Model gazu doskonałego zakłada, że atomy tego gazu nie oddziałują ze sobą. Dla gazów rzeczywistych, cieczy i ciał stałych musimy uwzględnić siły odpychania i przyciągania pomiędzy atomami i cząsteczkami. W kryształach oddziaływania te są skomplikowane, a ich natura zależy od typu wiązania. Aby mógł powstać kryształ, siły odpychania muszą mieć krótszy zasięg niż siły przyciągania. Tak np. w kryształach jonowych jony przeciwnych znaków przyciągają się siłami kulombowskimi. Siły odpychania to oddziaływanie pomiędzy zapełnionymi powłokami elektronowymi rdzeni atomowych. W kryształach metali siły odpychania to oddziaływanie pomiędzy dodatnimi jonami metali, a siły przyciągające powodują elektrony walencyjne tworzące wspólny dla wszystkich jonów gaz elektronowy. Wymienione wyżej siły zależą w różny sposób od odległości x pomiędzy atomami lub cząsteczkami. Najłatwiejsze do obliczenia są siły oddziaływania dla cząsteczek gazów rzeczywistych, tzw. siły Van der Waalsa. Takie siły dobrze opisują także wiązania w kryształach molekularnych. Opisuje je wzór:

$$F = F_{\text{odp}} + F_{\text{prz}} = \frac{A}{x^{13}} - \frac{B}{x^7} \quad (1)$$



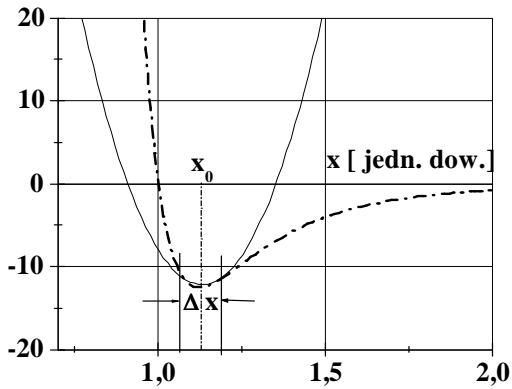
Rys. 1. Zależność sił oddziaływania pomiędzy cząsteczkami od odległości x

gdzie A i B są stałymi. Uproszczony wykres tego wzoru pokazano na Rys. 1. Dla innych obiektów charakter tych zależności jest podobny, choć opisany jest innymi wzorami. Sumę sił przyciągania i odpychania ilustruje krzywa, osiągająca wartość zero w punkcie oznaczonym jako x_0 . Oznacza to równość sił przyciągania i odpychania w tym punkcie, a więc możliwość trwałego utrzymania atomów lub cząsteczek w tej odległości.

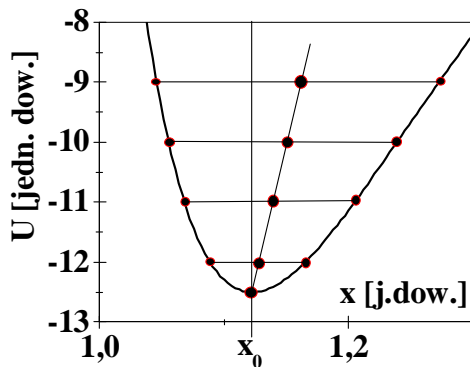
Energia potencjalna, U , która jest związana z siłą F wzorem:

$$F = - \frac{dU}{dx} \quad (2)$$

osiąga przy odległości x_0 wartość minimalną. Pokazuje to krzywa przerywana na Rys. 1. Bardzo istotny jest fakt, że w małym przedziale wartości Δx wokół punktu x_0 , funkcję tę można przybliżyć zależnością paraboliczną (kwadratową), która charakteryzuje energię potencjalną oscylatora harmonicznego, np. wahadła sprężystego. Pokazano to na Rys.2. Dlatego często, dla opisu drgań atomów w kryształach, jeżeli amplituda drgań (Δx) jest mała, można stosować model oscylatora harmonicznego. Dla takiego oscylatora energia potencjalna U zależy od x w następujący sposób:



Rys. 2. Wykresy energii potencjalnej cząsteczek oddziałujących siłami Van der Waalsa (linia przerywana) i energii odpowiedniego oscylatora harmonicznego (oddziaływanie sił sprężystych).



Rys. 3. Wykres energii potencjalnej najprostszego oscylatora anharmonicznego

$$U = \frac{1}{2}k(x - x_0)^2 \quad (3)$$

gdzie k jest współczynnikiem sprężystości. Okazuje się, że takie przybliżenie nie wyjaśnia zjawiska rozszerzalności cieplnej ciał stałych, gdyż, co prawda przy wyższych temperaturach energia i amplituda drgań jest wyższa, ale środek oscylacji atomów nie zmienia swego położenia, czyli $x_{sr} = x_0$. Aby uwzględnić asymetrię rzeczywistych krzywych energii potencjalnej atomów w sieci krystalicznej, można zastosować najprostsze przybliżenie, zakładające, że energia potencjalna zmienia się wg wzoru:

$$U = \frac{1}{2}k\xi^2 - \frac{1}{3}ks\xi^3 \quad (4)$$

gdzie $\xi = x - x_0$, zaś s jest stałą. Oscylator, którego energia zależy w taki sposób od ξ nazywamy oscylatorem anharmonicznym. Wykres wzoru (4) jest niesymetryczny w niedużym przedziale wartości x , w otoczeniu punktu x_0 w sposób podobny do krzywej opisanej na Rys. 1. Pokazano to na Rys. 3. Z asymetrii tej krzywej wynika przesunięcie środka drgań przy zwiększaniu ich amplitudy. Zaznaczono to większymi kółkami na Rys. 3. Oznacza to zwiększenie średniej odległości pomiędzy atomami przy wzroście amplitudy drgań, i na tym właśnie polega zjawisko rozszerzalności cieplnej. Dla obiektów w przybliżeniu jednowymiarowych (pręty, druty itp.) mówimy o rozszerzalności liniowej, a dla trójwymiarowych o rozszerzalności objętościowej. Zakłada się, że przyrost długości ΔL jest proporcjonalny do przyrostu temperatury ΔT :

$$\Delta L = L - L_0 = \alpha L_0(T - T_0)$$

$$\text{czyli } \frac{\Delta L}{L_0} = \alpha(T - T_0) = \alpha \Delta T \quad (5)$$

gdzie L jest długością ciała w temperaturze T , L_0 jego długością w temperaturze T_0 , np. w 0°C , zaś α jest współczynnikiem rozszerzalności liniowej¹. Średnia wartość tego współczynnika waha się w granicach od $0,9 \times 10^{-6} [^\circ\text{C}^{-1}]$ do $3 \times 10^{-5} [^\circ\text{C}^{-1}]$. Najmniejszą wartość wykazuje specjalny stop (64% żelaza i 36% niklu), tzw. inwar. Jest on stosowany do konstrukcji aparatury precyzyjnej (np. laserów, interferometrów), pracującej w warunkach zmiennej temperatury otoczenia. Rozszerzalność liniowa ciał może być zjawiskiem szkodliwym, powodującym np. wyginanie szyn kolejowych w czasie upałów. Może też być wykorzystana w praktyce, np. w termometrach bimetalicznych. Stwierdzono, że wieża Eiffla zmienia swą wysokość pod wpływem zmian temperatury otoczenia o kilkanaście centymetrów.

Oczywiście ciała stałe pod wpływem temperatury zwiększają także swoją objętość V . Analogicznie do wzoru (5) możemy napisać:

$$\frac{V - V_0}{V_0} = \frac{\Delta V}{V_0} = \beta \Delta T \quad (6)$$

gdzie V i V_0 to objętości odpowiednio w temperaturze T i T_0 zaś β jest współczynnikiem rozszerzalności objętościowej. Dla ciał stałych $\beta = 3\alpha$. Dla cieczy wartości β są około stu razy a dla gazów około tysięcy

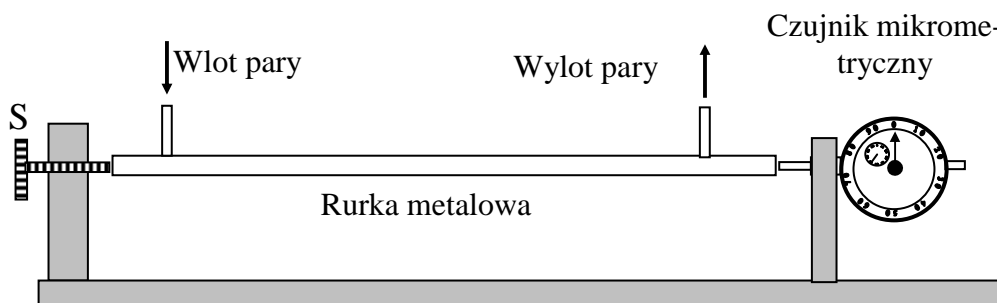
¹Lepszym przybliżeniem jest zależność uwzględniająca także człon kwadratowy: $\frac{\Delta L}{L_0} = \alpha_1 \Delta T + \alpha_2 (\Delta T)^2$..Ponieważ α_2 jest ponad tysiąc razy mniejsze od α_1 , stosujemy zwykle tylko przybliżenie liniowe

razy większe niż dla ciał stałych. Wiąże się to z faktem, że cząsteczki cieczy i gazów mogą się względnie swobodnie poruszać, podczas gdy w ciele stałym mogą jedynie drgać wokół położeń równowagi. Proporcjonalność przyrostu objętości cieczy i gazów od przyrostu temperatury (patrz wzór (6)) wykorzystuje się m. in. w termometrach ciekowych i we wzorcowym termometrze gazowym. Bardzo ciekawe są właściwości wody w pobliżu zera stopni Celsjusza. Okazuje się, że w przedziale od 0°C do $+4^{\circ}\text{C}$ objętość wody maleje (rośnie jej gęstość), przy $+4^{\circ}\text{C}$ osiąga wartość minimalną, a dopiero powyżej tej temperatury obserwujemy „normalne”, zgodne ze wzorem (6), zjawisko zwiększania objętości wody, przy wzroście temperatury. Ta nietypowa właściwość wody ma duże znaczenie dla życia na Ziemi. Dzięki temu zbiorniki wody (jeziora, rzeki) w czasie zimy zamarzają na powierzchni, a pod lodem pozostaje woda w stanie ciekłym.

II. POMIARY

Dane są 4 rurki wykonane z różnych metali i stopów (miedź, mosiądz, aluminium i stal). Przez przepuszczanie pary wodnej, możemy każdą z nich ogrzać od temperatury pokojowej, do temperatury wrzenia wody (zależnej od panującego ciśnienia atmosferycznego). Najpierw przy pomocy taśmy mierniczej mierzymy długość L każdej z rurek w temperaturze pokojowej. Dla zwiększenia dokładności, dokonujemy 10 łącznie pomiarów (dla każdej rurki) i obliczamy wartość średnią arytmetyczną L_0 . Odczytujemy temperaturę otoczenia w momencie rozpoczęcia pomiaru.

Następnie montujemy rurkę, wraz z węzami do przepuszczania pary, w uchwytach dylatometru. Uproszczony schemat tego urządzenia pokazano na Rys. 4.



Rys. 4. Uproszczony schemat dylatometru

Za pomocą śruby S ustawiamy wstępnie położenie rurki tak, by czujnik mikrometryczny wskazywał wartość zbliżoną do zera. Dokładne ustawienie wskazań na zerze uzyskujemy przez obrót zewnętrznego pierścienia czujnika². Wydłużenie rurki ΔL , będzie mierzone za pomocą czujnika mikrometrycznego, z dokładnością do 0,01 mm (podziałka zewnętrzna czujnika). Jeżeli wydłużenie przekroczy 1 mm, wskaże to podziałka wewnętrzna, wyskalowana co 1 mm.

Następnie ogrzewamy pierwszą rurkę za pomocą pary wodnej. Po ustaleniu się temperatury równej temperaturze wrzenia T_w , mierzymy przyrost długości rurki przy pomocy czujnika mikrometrycznego. Mierzmy ciśnienie atmosferyczne na barometrze rtęciowym i na podstawie tablic wyznaczamy dokładną wartość temperatury wrzenia wody, przy aktualnie panującym ciśnieniu. Analogiczne pomiary wykonujemy dla kolejnych rurek. **Przy zdejmowaniu i nakładaniu węży gumowych doprowadzających parę wodną do rurek należy obowiązkowo korzystać ze specjalnych szczypek, aby uniknąć poparzenia. Korzystne jest też zdejmowanie naczynia z wrzącą wodą z kuchenki, przy tych czynnościach.** Pomiary wydłużenia wykonujemy dwukrotnie dla każdej rurki i obliczamy wartość średnią ΔL .

² Nie jest konieczne ustawianie wskazówki czujnika na zero, można też zapisać wskazania czujnika w temperaturze pokojowej, i odjąć je od wskazań w temperaturze wrzenia.

III. OPRACOWANIE WYNIKÓW POMIARÓW

Wyniki pomiarów zapisujemy w poniższej tabelce (kolumny 1 ÷ 4). Do kolumny 5 wpisujemy wartości α otrzymane po opracowaniu wyników (patrz: Instrukcja ONP wzór nr 14), a do kolumny 6 niepewność wyznaczenia tych wartości. W doświadczeniu tym pomiary bezpośrednie można uznać za nieskorelowane (dlaczego?). Złożoną niepewność standardową $u_c(\alpha)$ oblicza się korzystając z prawa przenoszenia niepewności (patrz: Instrukcja ONP, wzór nr 15). Niepewności standardowe $u(x_k)$ poszczególnych pomiarów bezpośrednich x_k szacuje się metodą typu B (patrz: Instrukcja ONP, rozdz. 4.2.).

	1	2	3	4	5	6
	T_0 [$^{\circ}\text{C}$]	L_0 [mm]	T_{wzr} [$^{\circ}\text{C}$]	ΔL [mm]	α [$^{\circ}\text{C}^{-1}$]	$u_c(\alpha)$ [$^{\circ}\text{C}^{-1}$]
Rurka 1						
Rurka 2						
Rurka 3						
Rurka 4						

Na zakończenie opracowania wyników, należy podać, (na podstawie analizy tablic wielkości fizycznych) nazwy metali lub stopów, których współczynniki rozszerzalności odpowiadają wyznaczonym wartościom.

V. LITERATURA

[1]. H. Szydłowski, Pracownia fizyczna PWN Warszawa 1999

VI. ZAGADNIENIA DO KOŁOKWIUM

Oddziaływania międzyatomowe w ciele stałym. Zjawisko rozszerzalności cieplnej. Wzory opisujące rozszerzalność liniową i objętościową oraz zakres ich stosowalności. Współczynnik rozszerzalności termicznej – definicja, wymiar. Zasada działania dylatometru.