

34. Kietųjų kūnų šiluminės plėtros tyrimas

Užduotis

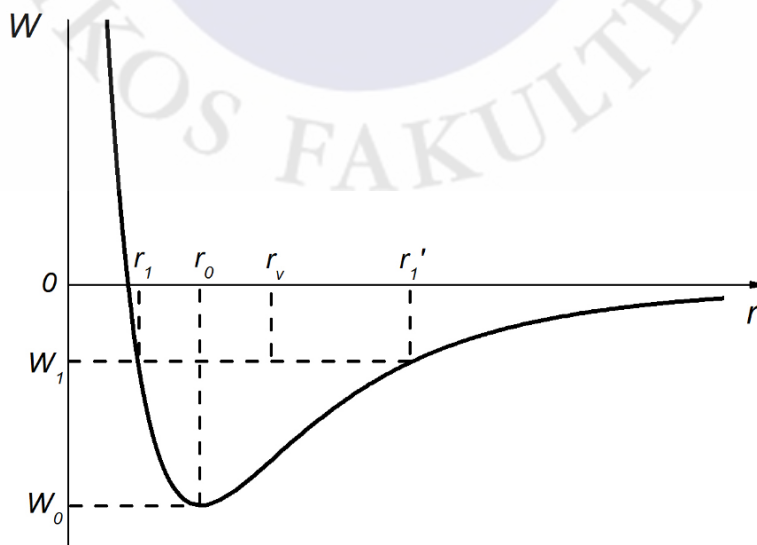
1. Išmatuoti žalvarinio, plieninio ar stiklinio vamzdelio ilgio priklausomybę nuo temperatūros.
2. Nustatyti žalvario, vario ar stiklo ilginį šiluminės plėtros koeficientą.

Pagrindiniai teoriniai klausimai

1. Atomų tarpusavio sąveika.
2. Kūnų šiluminės plėtros priežastis.
3. Šiluminės plėtros koeficientas.
4. Vandens šiluminės plėtros ypatumai.

Tyrimo metodika

Šildomų kietųjų kūnų ir skysčių matmenys kinta. Kylant temperatūrai, kūnai plečiasi, išskyrus ledą ir keletą kitų medžiagų (pvz. kvarcą, gryną silicį, cirkonio volframata) kai kuriuose temperatūrų ruožuose. Šiluminę deformaciją lemia atomų traukos ir stūmos jėgų priklausomybė nuo jų poslinkio nuo pusiausvyros padėties. Mažėjant atstumui tarp atomų, stūmos jėga ir jos sąlygojama potencinė energija dažniausiai didėja sparčiau nei traukos jėga ir ją atitinkanti neigiama potencinė energija. Tokią situaciją vienmačiu atveju iliustruoja 1 pav. pavaizduota atomo potencinės energijos W priklausomybė nuo atstumo tarp atomų r . Pusiausvyros padėtį atitinka tam tikras atstumas r_0 , kuriame traukos ir stūmos jėgų sąlygojama potencinė energija W_0 yra mažiausia, o šios jėgos tarpusavyje yra lygios. Labai žemose temperatūrose, kai šiluminio judėjimo kinetinės energijos galime nepaisyti, atomas užims šią mažiausios energijos būseną.



1 pav. Atomų sąveikos potencinės energijos priklausomybė nuo atstumo tarp jų.

Atomas, kurio energija W_1 , svyruos trajektorija, kuri šiame paveiksle pavaizduota horizontalia punktyrine linija. Jis maksimaliai nutols nuo gretimo atomo atstumu r_1' , o priartės atstumu r_1 . Kadangi potencinės energijos priklausomybės nuo atstumo kreivė yra asimetriška pusiausvyros padėties atžvilgiu, vidutinis atstumas tarp atomų r_v bus didesnis nei tas, kuris atitinka pusiausvyros padėtį žemose temperatūrose (r_0). Kuo didesnė svyravimų amplitudė, t.y. aukštesnė temperatūra, tuo asimetriškesnė energijos priklausomybės nuo atstumo kreivė, o vidutinis atstumas tarp atomų $r_v = 0,5(r_1 + r_1')$ didesnis.

Kūno deformaciją pasirinkta kryptimi apibūdina ilginis šiluminės plėtros koeficientas:

$$\alpha = \frac{dl}{ldT}, \quad (1)$$

kur l – kūno matmuo pasirinkta kryptimi temperatūroje T , o dl – jo pokytis pakitus temperatūrai dydžiu dT . Jis parodo, kokia santykinė šiluminė deformacija atitinka temperatūros pokytį vienu laipsniu.

Analogiškai apibrėžiamas ir tūrinis šiluminės plėtros koeficientas β , išraiškoje (1) pakeitus l ir dl atitinkamai tūriu V ir jo pokyčiu dV . Jei plėtimasis yra izotropinis, tai $\beta = 3\alpha$.

Bendru atveju šiluminės plėtros koeficientas yra temperatūros funkcija $\alpha = \alpha(T)$. Jeigu atomų sąveikos potencinė energija atitinka 1 pav. pavaizduotą kreivę, tai kylant temperatūrai plėtros koeficientas didėja. Kūno ilgio kitimą nuo l_0 iki l padidėjus jo temperatūrai nuo T_0 iki T nustatysime integruodami iš (1) išreikštą santykinę deformaciją $dl/l = \alpha dT$:

$$\ln l - \ln l_0 = \int_{T_0}^T \alpha dT; \quad l = l_0 e^{\int_{T_0}^T \alpha dT}. \quad (2)$$

Jeigu šiame intervale α silpnai priklauso nuo temperatūros, tai

$$l = l_0 e^{\alpha(T-T_0)}. \quad (3)$$

Kadangi kietųjų kūnų šiluminės plėtros koeficientas yra apie 10^{-5} K^{-1} , tai esant palyginti nedideliui temperatūros intervalui, eksponentę (3) išskleidę eilute gausime

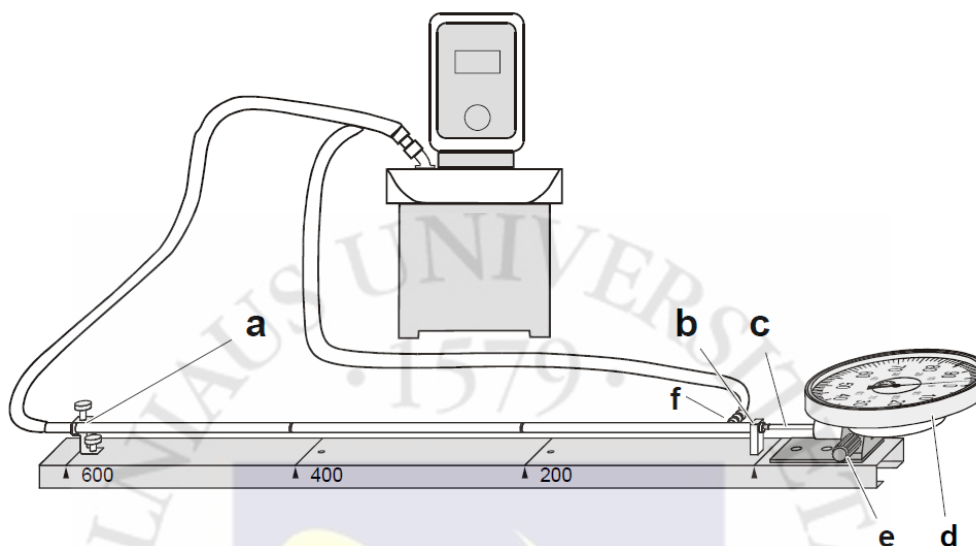
$$l = l_0(1 + \alpha(T - T_0)). \quad (4)$$

Taigi, pagal (4) seka, kad linijinį šiluminės plėtros koeficientą galima rasti matuojant šildomo tiriamos medžiagos strypo ilgio priklausomybę nuo temperatūros. Ilgesnį strypą tolygiai įšildyti dažnai būna sudėtinga, todėl yra pravartu iš tiriamos medžiagos pagaminti vamzdelį ir jį kaitinti viduje tekančiu skysčiu arba garais.

Darbo eiga

Šiame darbe tiriamos medžiagos vamzdelis šildomas distiliuotu vandeniu, cirkuliacinio termostato siurbliu tiekiamu per silikonines žarneles. Eksperimento įranga yra parodyta 2 paveiksle. Vienas vamzdelio galas, silikonine žarnele sujungtas su

termostato siurbliu, yra pritvirtinamas apkaba **a**, o kitas uždaras galas yra įkištas į ertmę **b**, kurioje gali laisvai pasislinkti. Užmaunamas prailginimo elementas **c** vamzdelį sujungia su mikrometru **d**, kurio stovas pritvirtinamas varžtu **e**. Mikrometro skalės mažiausia padalos vertė yra 0,01 mm. Šoninė įmova **f** reikalinga vamzdeliui prijungti prie termostato kita silikonine žarnele. Termostatas automatiškai palaiko pasirinktą temperatūrą, kuri matuojama termometru.



2 pav. Vamzdelio pailgėjimo priklausomybės nuo temperatūros tyrimo įrangos schema.

1. Prieš pradėdami eksperimentą patikrinkite, ar silikoninės žarnelės tvirtai uždėtos, kad pradėjęs cirkuliuoti karštas vanduo neišbėgtų. **Patikrinkite vandens lygį vonelėje – termostato kaitinimo spiralė turi būti pilnai apsemta vandens.**
2. Pasukite mikrometro skalę tiek, kad rodytų nulį. Išmatuokite pradinę temperatūrą T_0 .
3. Įjunkite cirkuliacinį termostatą ir pašildykite vandenį keliais laipsniais, tarkim, 5 laipsniais atžvilgiu T_0 . Palaukite tol, kol temperatūra nustos kisti ir išmatuokite temperatūrą T . Užsirašykite ją kartu su mikrometro rodmenimis matavimo rezultatai lentelėje.
4. Kartokite matavimus, didindami termostato tiekiamo vandens temperatūrą kas 5 laipsnius iki pasieksite 80°C temperatūrą. Prieš kiekvieną rodmenų užrašymą įsitikinkite, kad temperatūra nusistovėjo priimtiniu tikslumu.
5. Nubraižykite išmatuoto vamzdelio pailgėjimo $x = l - l_0$ priklausomybės nuo temperatūros T grafiką ir panagrinėkite, ar gauta priklausomybė yra tiesinė.

Vamzdelio pradinis ilgis l_0 atitinka žymas milimetrais ties jo įtvirtinimo vietomis, bet galima jį tiksliau išmatuoti liniuote. Linijinį šiluminės plėtos koeficientą raskite pasinaudoję (4) formule:

$$\alpha = \frac{x}{l_0(T - T_0)}. \quad (5)$$

Gautą vertę palyginkite su žinyuose pateiktais duomenimis tai pačiai medžiagai ir pateikite darbo išvadas.

Paklaidų įvertinimas

Linijinio šiluminės plėtros koeficiento paklaidą lemia vamzdelio pradinio ilgio, jo pailgėjimo ir temperatūros matavimo paklaidos Δl_0 , Δx ir Δt :

$$\Delta\alpha = \alpha \sqrt{\left(\frac{\Delta l_0}{l_0}\right)^2 + \left(\frac{\Delta x}{x}\right)^2 + \left(\frac{2\Delta T}{T - T_0}\right)^2}. \quad (7)$$

Literatūra:

1. A. Medeišis „Mechanika, molekulinė fizika, elektra ir magnetizmas. Fizikos praktikumas.“, Vilnius, *Vilniaus universiteto leidykla*, 2000, 353 p.
2. J. Kaladė, V. Mickevičius, D. Grabauskas, „Termodinamika ir statistinė fizika“, Vilnius, *Mokslas*, 1982, 380 p.

