

28. Metalų savitosios šilumos radimas vėsimo būdu

Užduotis.

Išmatuoti metalo savitąją šilumą ir nustatyti jos priklausomybę nuo temperatūros.

Pagrindiniai teoriniai klausimai.

1. Šilumos laidumo lygtis ir jos fizikinė prasmė.
2. Kūnų vėsimo Niutono dėsnis.
3. Dulong ir Petit dėsnis.
4. Savitosios šilumos priklausomybė nuo temperatūros, Debye temperatūra.

Matavimo metodas.

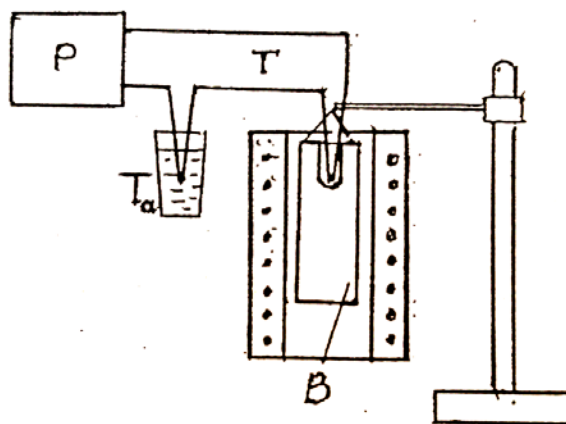
Vėstantis kūnas šilumą atiduoda aplinkai spinduliavimo ir laidumo būdu. Spinduliavimo srautas tampa žymus, kai kūnas pradeda švytėti. Kūnui vėstant ore, esant ne labai aukštomis temperatūroms, maždaug iki 500 K, šiluminio spinduliavimo galima nepaisyti.

Matavimo aparatūros schema pavaizduota 1 paveiksle. Ritinio pavidalo kūnas B kaitinamas elektros krosnele. Pasiekus reikiamą temperatūrą, jis natūraliai vėsinamas ore. Temperatūra matuojama termoelementu, sujungtu su skaitmeniniu arba savirašiu milivoltmetru P.

Tarkime, kad tiriamojo kūno temperatūra T , o aplinkos oro T_a . Metalo šilumos laidumas daug didesnis negu oro, todėl jo visų taškų temperatūra praktiškai vienoda ir vienodai kinta jam vėstant. Ties kūno paviršiumi susidaro plonas oro sluoksnis, kurio temperatūra kinta nuo T iki T_a . Jeigu to sluoksnio storis x , o šilumos laidumo koeficientas χ_p , tai šilumos kiekis, perduotas į aplinką per laiką dt :

$$dQ = \chi_p \frac{T - T_a}{x} S dt; \quad (1)$$

čia S – kūno paviršiaus plotas.



1 pav. Savitosios šilumos matavimo vėsimo būdu schema

Pažymėję $A = \frac{\chi_p}{x}$, užrašysime

$$dQ = AS(T - T_a)dt ; \quad (2)$$

Ši priklausomybė vadinama Niutono vėsimo dėsnio. Per laiką dt kūnas neteko šilumos kiekio

$$dQ = mcdT ; \quad (3)$$

Pagal energijos tvermės dėsnį

$$AS(T - T_a)dt = mcdT ; \quad (4)$$

Tarkime, kad c yra ieškomoji savitoji šiluma. Aušindami tokios pat formos ir matmenų žinomos medžiagos bandinį, kurio masė m_1 , o savitoji šiluma c_1 , gausime

$$AS(T - T_a)dt = m_1 c_1 dT_1 ; \quad (5)$$

Iš (4) ir (5) lygčių gausime

$$mcdT = m_1 c_1 dT_1 ; \quad (6)$$

ir

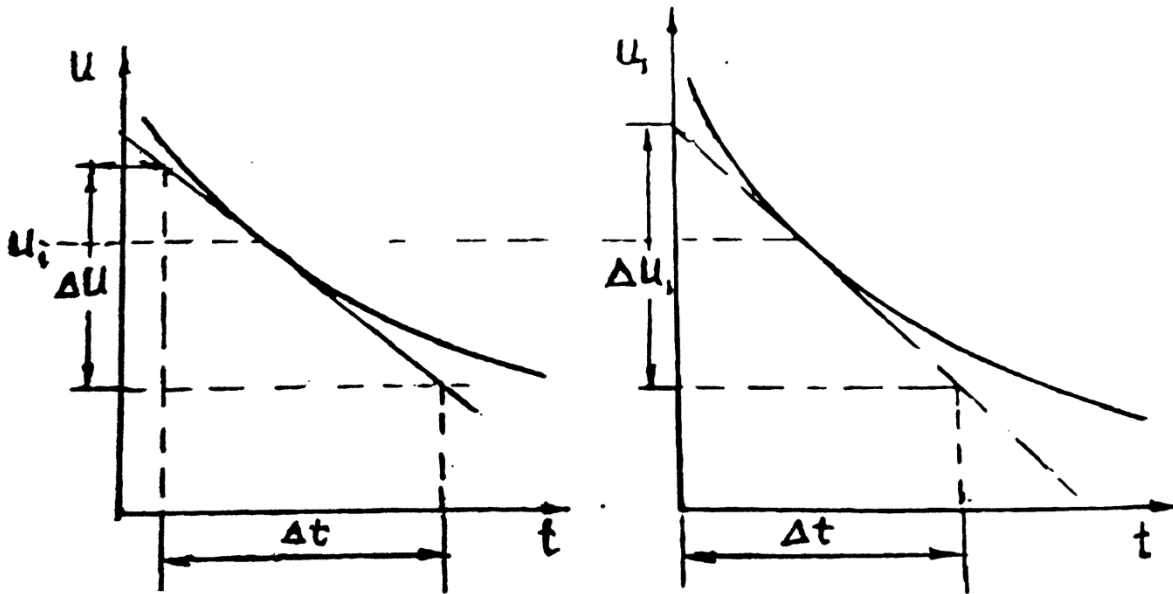
$$c = c_1 \frac{m_1 dT_1 / dt}{m dT / dt} ; \quad (7)$$

Kadangi temperatūra matuojama termoelementu, tai $dT_1 = \alpha^{-1} dU_1$ ir $\alpha T = \alpha^{-1} dU$. Esant vienodiems tūriams, $\frac{m_1}{m} = \frac{\rho_1}{\rho}$. Įrašę tai į (7) lygtį gausime

$$c = c_1 \frac{\rho_1 dU_1 / dt}{\rho dU / dt} ; \quad (8)$$

Vėsimo spartas dU_1 / dt ir dU / dt rasime grafiškai diferencijuodami vėsimo kreives (2 pav.). Nubrėžę liestines taškuose, atitinkančiuose pasirinktą temperatūrą T_i ir ją atitinkančią įtampą U_i , imame vienodus laiko intervalus ($\Delta t = \Delta t_1$) ir randame atitinkamas ΔU ir ΔU_1 vertes. Tokiu atveju

$$\frac{dU_1 / dt}{dU / dt} = \frac{\Delta U_1}{\Delta U} ; \quad (9)$$



2 pav. Vėsimo greičių grafinio įvertinimo schema

o ieškomoji savitoji šiluma

$$c = c_1 \frac{\rho_1 \Delta U_1}{\rho \Delta U}; \quad (10)$$

Taip surandame savitosios šilumos vertes visame temperatūrų intervale. Kaip žinomos savitosios šilumos bandinį patartina naudoti varinį ritinį. Vario savitosios šilumos vertės pateiktos šioje lentelėje:

$T, ^\circ C$	0	100	200	300	400
$c_1 \left(\frac{J}{gK} \right)$	0,3810	0,3935	0,4082	0,4220	0,4359

Pagal šią lentelę nubrėžiame $c_1(T)$ grafiką tarpinėms c_1 vertėms rasti. Be to, jas galima rasti tiesinės interpoliacijos būdu pagal formulę

$$c_1 = \frac{\Delta c}{\Delta T} (T_i - T_{01}) + c_{01}; \quad (11)$$

čia ΔT – lentelėje nurodytas temperatūros intervalas (100 K), į kurį patenka T_i vertė, o Δc – jį atitinkantis savitosios šilumos pokytis. T_{01} – temperatūros intervalo mažoji kraštinė vertė, o c_{01} - ją atitinkanti savitoji šiluma.

Darbo eiga.

1. Ritinio pavidalo metalinį svarelį kaitinkite darbo stende esančia krosnele.
2. Svarelį temperatūrą bet kuriuo momentu galite nustatyti iš voltmetro rodmensų pasinaudodami kūno temperatūros ir voltmetro rodomos įtampos sąryšį atvaizduojančiu grafiku, esančiu stalčiuje.
3. Svarelį kaitinkite iki apytiksliai $195^{\circ}\text{C} - 200^{\circ}\text{C}$ ($\sim 12\text{ mV}$).
4. Ištraukite svarelį iš krosnelės ir vėsinkite ore.
5. Pasirinktu dažnumu (pvz. kas 30 s) fiksuokite voltmetro rodmenis.
6. 1–5 punktuose aprašytus matavimus pakartokite su aliumininu svareliu.
7. Nubrėškite $U(t)$ ir $U_1(t)$ grafikus, atitinkančius abiem atvejais išmatuotas voltmetro rodomos įtampos priklausomybes nuo laiko. $U(t)$ atitinka matavimus su aliumininu svareliu, o $U_1(t)$ – su variniu.
8. Pasirinkite keletą temperatūros verčių intervale $0-200^{\circ}\text{C}$ ir per jas atitinkančius grafikų $U(t)$ bei $U_1(t)$ taškus nubrėškite liestines tiems grafikams (2 pav.). Rekomenduojama rinktis 4–5 temperatūros vertes.
9. Pasirinkę vienodus laiko intervalus Δt raskite tuos laiko intervalus atitinkančius įtampų pokyčius ΔU ir ΔU_1 .
10. Vario savitosios šilumos priklausomybė nuo temperatūros yra žinoma (nurodyta lentelėje). Antrojo svarelį medžiagos (aliuminio) savitoji šiluma randama iš (10) lygties.
11. Jei grafikų analizei pasirinktos temperatūros T vertę atitinkančios vario savitosios šilumos lentelėje nėra, pagal tos lentelės duomenis nubrėškite $c(T)$ grafiką ir iš jo nustatykite tarpines (atitinkančias pasirinktąją temperatūrą) vertes.
12. Nustatykite c priklausomybę nuo T (intervale $0-200^{\circ}\text{C}$) bei atvaizduokite ją grafiškai.
13. Įvertinkite darbo rezultatus bei suformuluokite išvadas.

Laboratorinio stendo fizikiniai parametrai:

$$\rho_{\text{Cu}} = 8,9 \text{ g/cm}^3; \rho_{\text{Al}} = 2,7 \text{ g/cm}^3.$$

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.