

## 32. Termoizoliacinių medžiagų šilumos laidumo koeficiento matavimas

### Užduotis:

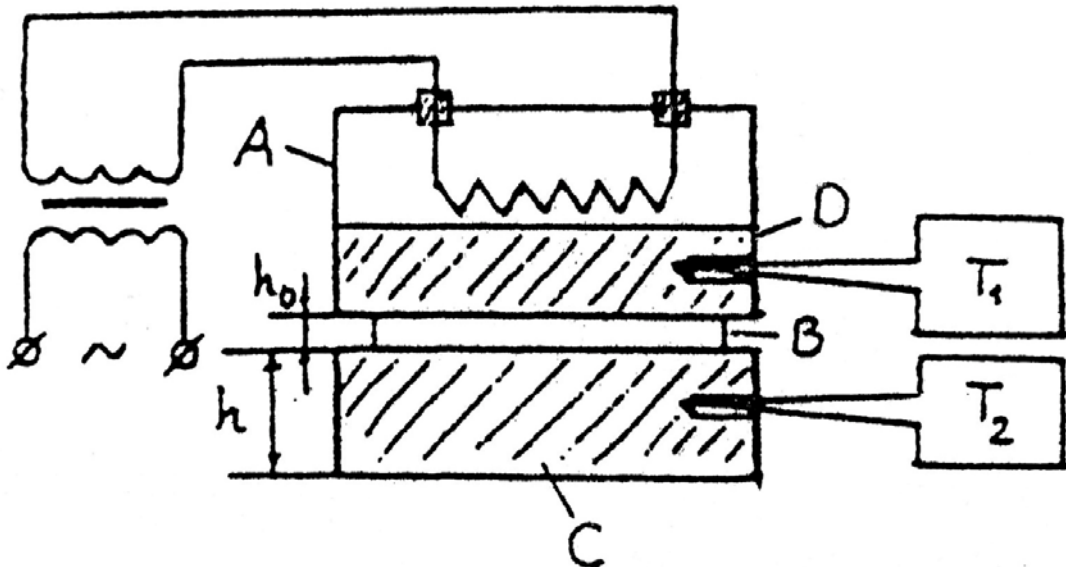
1. Išmatuoti dielektriko šilumos laidumo koeficientą.

### Pagrindiniai teoriniai klausimai:

1. Šilumos laidumo lygtis.
2. Šilumos sklidimo kietuosiuose kūnuose mechanizmai.
3. Kūnų vėsimo Niutono dėsnis.
4. Šilumos laidumo Debajaus teorija.

### Tyrimo metodika:

Šilumos laidumo koeficiento matavimas yra pagrįstas temperatūros gradiento ir vėsimo greičio matavimais. Principinė matavimo įrenginio schema pavaizduota 1 paveiksle.



1 pav. Matavimo įrenginio schema

Tiriamoji disko formos plokštelė B padėta ant horizontalaus masyvaus metalinio ritinio C, pakabinto trimis plonomis vielėlėmis. Ją uždengia metalinė disko formos plokštelė D. Ant jos padėtas cilindro formos elektrinis kaitintuvas A. Plokštelė D ir ritinys C pagaminti iš gero šilumos laidininko, kad temperatūrą visuose jų taškuose galima būtų laikyti vienodomis. Plokštelės B viršutinis paviršius turi plokštelės D temperatūrą  $T_1$ , o apatinis – ritinio C temperatūrą  $T_2$ . Temperatūros  $T_1$  ir  $T_2$  matuojamos elektroniniais termometrais, kurių termoporos galima įstatyti į plokštelės D ir ritinio C kiaurymes. Gaudamas šilumą, praėjusią pro plokštelę, ritinys C šyla ir vis didesnę jos dalį atiduoda aplinkai. Pagaliau pasiekiami pusiausvyros būsenai, kai praėjęs pro plokštelę B ir ritinio C atiduotas aplinkai šilumos kiekiai - tampa vienodi. Tokiu atveju temperatūros  $T_1$  ir  $T_2$  nekinta.

Šilumokaitos intensyvumas kiekybiškai apibūdinamas šilumos srauto tankiu. Jeigu laidininku, kurio skerspjūvio plotas  $S$ , per laiko  $dt$  pernešamas šilumos kiekis  $dQ$ , tai šilumos srauto tankis

$$q = \frac{dQ}{Sdt}. \quad (1)$$

Jis parodo, koks šilumos kiekis pernešamas per laidininko skerspjūvio ploto vienetą per laiko vienetą.

Eksperimentais nustatyta, kad šilumos srauto tankis proporcingas temperatūros gradientui ir nukreiptas jos mažėjimo kryptimi. Temperatūros gradientas parodo, koks temperatūros pokytis atitinka ilgio vienetą. Jeigu ilgio intervale  $dx$  temperatūros pokytis  $dT$ , tai šilumos srauto tankis

$$q = \chi \frac{dT}{dx}; \quad (2)$$

čia  $\chi$  - šilumos laidumo koeficientas. Jis parodo, koks šilumos srautas atitinka vienetinį temperatūros gradientą.

Įrašę (1) lygtį į (2) gausime, kad šilumos kiekis, pratekęs pro skerspjūvio plotą  $S$  per laiką  $dt$ , yra

$$dQ = \chi \frac{dT}{dx} Sdt. \quad (3)$$

Iš šios lygties matyti, kad šilumos laidumo koeficientas parodo, koks šilumos kiekis prateka pro laidininko skerspjūvio ploto vienetą per laiko vienetą, kai temperatūros gradientas lygus vienetui. Temperatūros gradientas tiriamojoje plokštėje:

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_1 - T_2}{h_0}. \quad (4)$$

Šilumos kiekis, pratekęs plokštelėje per laiką  $dt$ :

$$dQ = \chi \frac{T_1 - T_2}{h_0} Sdt. \quad (5)$$

Tokį patį šilumos kiekį gavo iš plokštelės apatinis ritinys. Nesant šilumokaitos su aplinka, ritinio temperatūra padidėtų tam tikru dydžiu  $dT$ , todėl

$$dQ = mcdT; \quad (6)$$

čia  $m$  – cilindro masė, o  $c$  – jo savitoji šiluma. Pasiekus nuostoviąją būseną, tokį patį šilumos kiekį  $dQ$  cilindras atiduos aplinkai. Taigi galime užrašyti (6) ir (5) lygčių dešiniųjų pusių lygybę:

$$\chi \frac{T_1 - T_2}{h_0} \cdot Sdt = mcdT. \quad (7)$$

Iš čia

$$\chi = \frac{mch_0}{(T_1 - T_2)S} \frac{dT}{dt}. \quad (8)$$

Santykis

$$\frac{dT}{dt} = \tau_1 \quad (9)$$

yra ritinio vėsimo sparta, kai šiluma atiduodama tik per apatinį ir išorinį paviršius. Ją rasime atlikę papildomą eksperimentą. Užsirašome nusistovėjusį temperatūrų skirtumą  $T_1 - T_2$ . Išėmę tiriamąją plokštelę, šiek tiek pakaitiname ritinį. Nuėmę kaitintuvą leidžiame jam vėsti ir išmatuojame temperatūros  $T$  priklausomybę nuo laiko. Vėsimo spartą, esant temperatūrai  $T_2$ , kai šiluma atiduodama visu paviršiumi, rasime apskaičiavę vėsimo kreivės  $T(t)$  krypties koeficientą taške  $T_2$ :

$$\tau_0 = \frac{\Delta T}{\Delta t}. \quad (10)$$

Kadangi šilumos atidavimo aplinkai sparta proporcinga kūno paviršiaus plotui, tai

$$\tau_1 = \tau_0 \frac{S_1}{S_0}; \quad (11)$$

čia  $S_0$  - ritinio visas paviršius, o  $S_1$  - paviršiaus plotas be vieno pagrindo ploto. Įrašę šią  $\tau_1$  išraišką į (8) gausime

$$\chi = \frac{mch_0S_1\tau_0}{(T_1 - T_2)SS_0}; \quad (12)$$

čia  $m$  – ritinio masė,  $c$  – aliuminio savitoji šiluma,  $h_0$  – tiriamosios plokštelės aukštis,  $S$  – plokštelių skerspjūvio plotas.

Matavimo paklaidą  $\Delta\chi$  randame pagal santykinės paklaidos skaičiavimo formulę.

#### Darbo eiga:

1. Tiriamą termoizoliacinę plokštelę patalpinkite tarp dviejų aliuminio plokštelių ir uždėkite ant jų kaitintuvą.
2. Įsitikinkite, kad temperatūros jutikliai yra įstatyti į apatinę ir viršutinę plokšteles.
3. Įjunkite kaitinimo įrenginį.
4. Stebėkite, kaip kinta temperatūra. Kaitinkite tol, kol temperatūrų skirtumas  $T_1 - T_2$  tarp dviejų aliumininių plokštelių taps pastovus.
5. Užsirašykite aliumininių plokštelių temperatūras  $T_1$  ir  $T_2$ .
6. Nuimkite kaitintuvą, viršutinę aliumininę ir tiriamąją plokšteles.
7. Uždėkite kaitintuvą atgal ant kabančio aliuminio ritinio ir pakaitinkite jį tiek, kad jo temperatūra pasidarytų didesnė už  $T_2$ . Tuomet nuėmę kaitintuvą leiskite jam vėsti.
8. Fiksuokite ritinio temperatūrą kas 20 s ir užsirašykite duomenis.
9. Nubraižykite ritinio vėsimo kreivę: ordinačių ašyje atidėkite ritinio temperatūrą  $T(^{\circ}\text{C})$ , abscisių – vėsimo trukmę  $t(\text{s})$ . Raskite kreivės krypties koeficientą  $\tau_0$  taške  $T=T_2$ .
10. Pagal (12) išraišką apskaičiuokite tiriamosios plokštelės šilumos laidumo koeficientą.
11. Įvertinkite matavimo paklaidas ir suformuluokite darbo išvadas.

**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.

