



**2004-2006 m. Bendrojo programavimo dokumento 2 prioriteto „Žmogiškųjų išteklių plėtra“ 4 priemonė „Mokymosi visą gyvenimą sąlygų plėtra“**

Projekto sutarties numeris: **ESF/2004/2.4.0-K01-160/SUT-261**

Projekto pavadinimas: **Inovatyvūs mokymosi metodai ir naujausios technologijos gamtos mokslų bakalaurų rengimui**

---

**FIZ 121 MOLEKULINĖ FIZIKA IR TERMODINAMIKA**

**Laboratorinis darbas**

**ŠILUMINIO PLĖTIMOSI KOEFICIENTO NUSTATYMAS**

**1. Darbo tikslas:**

Nustatyti metalų plėtimosi koeficientus.

**2. Darbo užduotis:**

2.1. Gauti tiesinę šiluminio plėtimosi priklausomybę nuo temperatūros.

2.2. Išmatuoti vario, žalvario ir aliuminio plėtimosi koeficientus.

**3. Bendroji teorija**

**Dujų šiluminis plėtimasis**

R.Boilis ir E.Mariotas bandymais nustatė tokį dėsnį: *kai dujų temperatūra ir masė nekinta, jų tūrio ir slėgio skaitinių reikšmių sandauga yra pastovus dydis:*

$$pV = \text{const.} \quad (1)$$

Prancūzų mokslininkas Gei-Liusakas bandymais nustatė, kad

a) esant pastoviam tūriui, tam tikros masės dujų slėgio priklausomybė nuo temperatūros yra tiesinė.

$$p = p_0 (1 + \alpha_p \cdot t); \quad (2)$$

čia  $p_0$  — dujų slėgis temperatūroje  $t = 0^\circ\text{C}$ ;

b) esant pastoviam slėgiui, tam tikros masės dujų tūrio priklausomybė nuo temperatūros yra tiesinė:

$$V = V_0 (1 + \alpha_v \cdot t); \quad (3)$$

čia  $V_0$  - dujų tūris temperatūroje  $t = 0^\circ\text{C}$ .

Labai praretintų dujų, kurios elgiasi kaip idealios dujos, terminis slėgio koeficientas  $\alpha_p$  ir tūrinis plėtimosi koeficientas  $\alpha_v$  yra artimi  $\alpha = 1/(273,15^\circ\text{C})$ . Visais kitais atvejais net tą pačių dujų  $\alpha_p$  ir  $\alpha_v$  šiek tiek skirtingi (pavyzdžiui,  $\text{CO}_2$  dujų  $\alpha_v$  didesnis už  $\alpha_p$  apie 0,4 %), be to, priklauso nuo jų būsenos (slėgio ir temperatūros).

Išstatę į (2) ir (3) formules absoliutinę temperatūrą  $T = 273,15^\circ\text{C} + t$ , gauname

$$\begin{cases} p = \alpha \cdot p_0 (1/\alpha + t) = \alpha \cdot p_0 \cdot T \\ V = \alpha \cdot V_0 (1/\alpha + t) = \alpha \cdot V_0 \cdot T \end{cases}$$

### Šiluminis kietųjų kūnų plėtimasis

Kylant temperatūrai kietieji kūnai plečiasi. Šis plėtimasis vadinamas šiluminiu plėtimusi, ir jam apibrėžti įvedami linijinio ir tūrinio plėtimosi koeficientai. Tarkime, kad  $l_0$  - kūno ilgis  $0^\circ\text{C}$  temperatūroje, o  $\Delta l$  - kūno pailgėjimas, kai tas kūnas šildomas iki  $t^\circ\text{C}$ . Šis pailgėjimas yra proporcingas pradiniam ilgiui  $l_0$  ir temperatūrai:

$$\Delta l = \alpha_l l_0 t, \quad (4)$$

čia  $\alpha_l$  yra **linijinio plėtimosi koeficientas**. Jo reikšmė lygi santykiniam kūno pailgėjimui  $\Delta l/l_0$ , kai jis pašildomas  $1^\circ\text{C}$ . Tada kūno ilgis  $t^\circ\text{C}$  temperatūroje yra toks:

$$l = l_0 + \Delta l = l_0 (1 + \alpha_l t). \quad (5)$$

Kietųjų kūnų linijinio plėtimosi koeficientai labiausiai priklauso nuo jų medžiagos. Daugelio kietųjų kūnų jie yra apytiksliai lygūs  $10^{-5} - 10^{-6} (\text{C}^\circ)^{-1}$ . Iš tikrųjų  $\alpha_l$  šiek tiek priklauso nuo temperatūros.

Dėl šiluminio plėtimosi kūnų tūris padidėja. Nustatyta, kad pirmuoju artutiniu kietojo kūno tūris  $V$  didėja proporcingai temperatūros pirmajam laipsniui:

$$V = V_0 (1 + \alpha_v t); \quad (6)$$

čia  $V_0$  - kūno tūris  $0^\circ\text{C}$  temperatūroje, o  $\alpha_v$  - tūrinio plėtimosi koeficientas, t.y. santykinis tūrio padidėjimas, pakilus temperatūrai  $1^\circ\text{C}$ .

Tarp koeficientų  $\alpha_v$  ir  $\alpha_l$  egzistuoja toks apytikslis ryšys:

$$\alpha_v = 3 \alpha_l. \quad (7)$$

Kietųjų kūnų linijinio plėtimosi koeficientai, kaip jau minėjome, yra nedideli. Nežiūrint į tai, jų šiluminis plėtimasis gali sukelti didelius įtempimus, nes net ir nedidelei šių kūnų deformacijai sukelti reikia didelių jėgų. Todėl technikoje tenka į tai atsižvelgti - apsisaugoti nuo galimų kietųjų kūnų šiluminio plėtimosi pasekmių. Pavyzdžiui, geležinkelio bėgiai klojami su nedideliais tarpais; tiltų galai uždedami ant specialių ridinių, įlydymui į stiklą parenkami tokie metalai, kad tų metalų ir stiklo linijinio plėtimosi koeficientai būtų vienodi.

Šiluminio plėtimosi mechanizmą aiškinimas remiasi prielaida, kad kūną sudarančios dalelės yra sujungtos sąveikos jėgomis, priklausančiomis nuo atstumo tarp dalelių. Todėl vienu dalelių šiluminiai virpesiai perduodami kitoms. Pavyzdžiui, tamprūs dalelių virpesiai vienmatėje gardelėje, kurią galima schemiškai atvaizduoti spyruoklėmis surištomis dalelėmis (1 pav.), bus perduodami gretimoms dalelėms B, C, D ir t. t. Tuo būdu kristale plinta tampriosios bangos, pernešančios šiluminių virpesių energiją nuo vieno mazgų prie kitų. Tokios tampriosios bangos, atitinkančios kietajame kūne plintančius tvarkingus jo dalelių virpesius, yra fizikinė **garso** prigimtis ir vadinamos garso, arba akustinėmis, bangomis.



1 pav. Paprasčiausias kietojo kūno modelis – atomus surišančias jėgas atvaizduoti spyruoklėmis

Garso greitis kietuosiuose kūnuose maždaug lygus keliems kilometrams per sekundę.

Kūną pašildžius, padidėja vidutinis atstumas tarp gardelės mazgų (linijinis ir tūrinis plėtimasis) ir padidėja kristalo energija. Dėl to *padidėja* kristalinės gardelės dalelių šiluminių virpesių (tada jie jau tampa anharmoniškais) amplitudė ir *susilpnėja ryšiai tarp dalelių*. Kaitinant dar daugiau, kietojo kūno kristalinė gardelė gali suirti ir medžiagos kietoji fazė gali virsti skystąja arba garų faze.

#### **4. Tyrimo metodika**

Tarkime, kad  $L$  ilgio kūnas pakaitinamas temperatūros skirtumu  $\Delta T$ . Jeigu  $\Delta T$  yra nedidelis, tai  $\Delta L$  yra proporcingas  $\Delta T$ . Matematiškai priklausomybė išreiškiama taip:

$$\Delta L = \alpha L \Delta T, \quad (1)$$

Kur  $\alpha$  yra vadinamas tiesinio medžiagos plėtimosi koeficientu.

Nevienalytės medžiagos (pavyzdžiui, asimetrinio kristalo) plėtimosi koeficientas  $\alpha$  gali būti skirtingas visomis kryptimis. Be to, plėtimosi koeficientas priklauso nuo absoliutinės temperatūros.

Varis, aliuminis ir bronzos yra izotropinės medžiagos, todėl tiesinis plėtimosi koeficientas yra vienodas visomis kryptimis.

Temperatūros matavimas. Termistoriaus varža kinta priklausomai nuo temperatūros. Varža gali būti išmatuota su ommetru, o temperatūra nustatyta pagal pridedama lentelę ir paveikslą. Tiesinės lentelėje pateiktų taškų interpoliacijos paklaidą laikyti lygią  $\pm 0,2$  °C. Termistorius yra įstatytas į laikiklį. Pasiiekus šiluminę pusiausvyrą, temperatūra išilgai vamzdelio yra pasiskirsčiusi vienodai. Šilumos nuostoliai galimi per termistoriaus laikiklį. Kad taip neatsitiktų, laikiklį būtina uždengti poroloniniu izoliatoriumi.

Puslaidininkių elektrinio laidumo priklausomybė nuo temperatūros panaudota *šiluminiuose varžuose*, arba *termistoriuose*, kurie naudojami temperatūrai matuoti. Termistorių sudaro nedidelis (apie 0,5 mm skersmens) puslaidininkinis rutuliukas (arba plokštelė) su pritvirtintais prie jo metaliniais kontaktais. Rutuliuko išorinis paviršius apsaugotas nuo drėgmės ir šviesos izoliacinės medžiagos kiauteliu. Viskas įtaisyta plastmasiniame laikiklyje, ant kurio galo užmautas antgalis. Termistoriaus veikimas pagrįstas tuo, jog puslaidininkių elektrinė varža, kylant temperatūrai, sparčiai mažėja (arba sparčiai didėja savasis laidumas). Grynas puslaidininkis 0 K temperatūroje yra izoliatorius. Temperatūrai didėjant, kai kurie elektronai įgauna pakankamai energijos peršokti iš valentinės juostos į laidumo juostą. Kuo aukštesnė temperatūra, tuo daugiau valentinių elektronų peršoka į laidumo juostą, ir puslaidininkio savasis laidumas didėja. Metalų elektrinis laidumas, pakėlus temperatūrą 1 laipsniu, 0—100 °C ribose mažėja apytiksliai 0,3—0,4%, o puslaidininkių elektrinis laidumas, pakėlus temperatūrą 1 laipsniu tose pat ribose padidėja 3—6%. Metalų elektrinis laidumas, kylant temperatūrai, mažėja, o puslaidininkių laidumas — didėja.

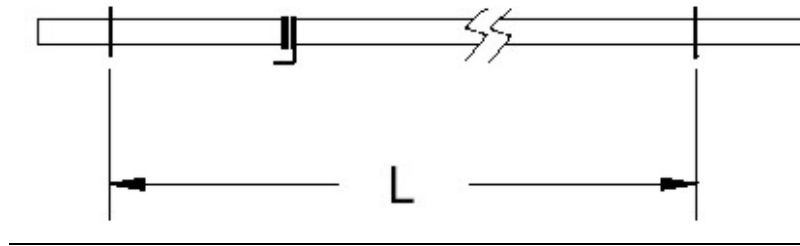
Termistorių varža siekia tūkstančius ir net dešimtis tūkstančių omų, o metalinių termometrų — kelis šimtus omų. Tai svarbu, kai tarp termistorių ir matuojamojo prietaiso yra didelis nuotolis, nes pačių termistorių varža vis tiek esti žymiai didesnė už jungiamųjų laidų varžą. Kadangi termistoriai gali būti labai mažų matmenų, tai jie tinka matuoti temperatūrai labai mažuose tūriuose, plonuose dujų, skysčių ir kitokios aplinkos sluoksniuose, taip pat paviršiaus temperatūrai.

## **5. Prietaisai ir medžiagos**

1. Matavimų rėmas su termistoriumi ir mikrometru.
2. Trys metaliniai vamzdeliai – bronzinis, varinis (99,5 % Cu, 0,5 % Te), aliuminio (98,9 % Al, 0,7 % Mg, 0,4 % Si), išorinio vamzdelio spindulys 6,4 mm.
3. Poroloninis izoliatorius šilumos nuostoliams ties termistoriaus jungimu išvengti.
4. Termoplastinis 6,4 mm skersmens vamzdelis.
5. Šilumos šaltinis - garų generarius (TD-8556A).
6. Skaitmeninis ommetras termistoriaus varžos matavimui.
7. Indas vandeniui iš metalinio vamzdelio surinkimui.
8. Jungiamieji laidai.

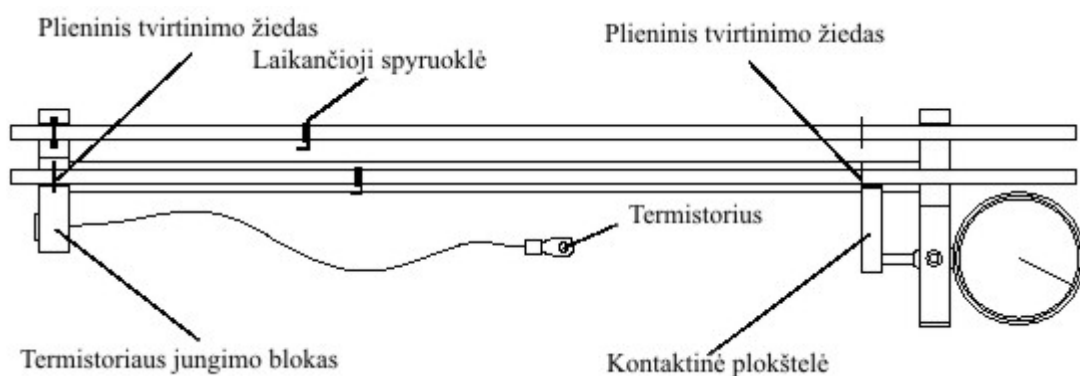
## **6. Tvrinio eiga**

1) Išmatuokite vario vamzdelio ilgį kambario temperatūroje tarp vamzdelio tvirtinimo taškų (2 pav.). Rezultatą pažymėkite lentelėje.



2 pav. Vamzdelio ilgio matavimas

2) Įtvirtinkite vamzdelį laikiklyje kaip pavaizduota 3 paveiksle. Vamzdelių plieniniai žiedai įsistato į pagrindiniame laikiklyje esančius plyšius. Kontaktinę plokštelę reikia atremti į mikrometro indikatorių.



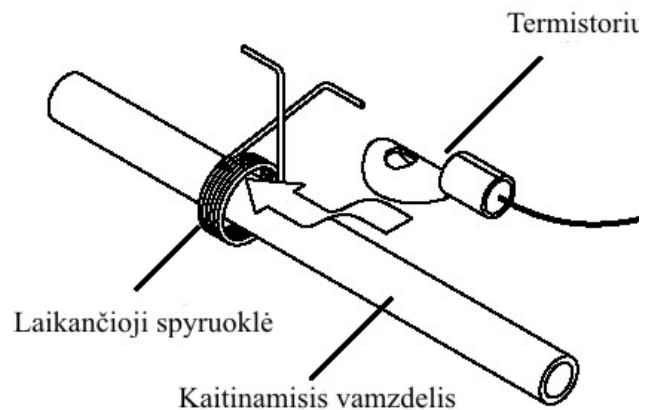
3 pav. Pagrindinio laikiklio schema

3) Pritvirtinkite termistorių ties vamzdelio viduriu. Jį reikia tvirtinti taip:

a) suspausti spyruoklės galus, ištraukti atsilaisvinusį termistorių ir paleisti spyruoklės galus;

b) pakeisti vamzdelius ir suspaudus spyruoklę įstatyti termistorių į plyšį tarp vamzdelio ir spyruoklės;

c) perkeliant termistorių nenutraukti (!) jungiamųjų laidų.



4 pav. Termistoriaus tvirtinimas

4) Ant termistoriaus uždėkite poroloninį izoliatorių.

5) Prijunkite ommetrą į pagrindiniame laikiklyje esančius lizdus, patikrinkite jungimo kontaktus.

6) Išmatuokite ir pažymėkite lentelėje termistoriaus elektrinę varžą  $R_{kb}$  kambario ( $k_b$ ) temperatūroje.

7) Prijunkite žarnelėmis tiriamus vamzdelius prie garų generatoriaus. Kitame vamzdelio gale pastatykite indą susikondensavusio vandens kaupimui.

8) Nustatykite nulinę padalą ties ilgesniaja mikrometro rodykle. Metaliniam vamzdeliui plečiantis rodyklė turi judėti prieš laikrodžio rodyklę.

9) Įjunkite garų generatorių. Kai garai pradeda tekėti vamzdeliu pastarasis kaista. Kai temperatūra nusistovi, išmatuokite termistoriaus varžą  $R_h$  ( $h$  - hot) ir atitinkamą mikrometro parodymą  $\Delta L$  užrašykite žemiau pateiktoje lentelėje. Viena padala mikrometro skalėje atitinka 0,01 mm vamzdelio pailgėjimą.

Eksperimentą pakartokite bronziniam ir aliuminio vamzdeliui.

### **7. Matavimų rezultatai ir skaičiavimai**

1 lentelė. Matavimų rezultatai lentelė

	L, mm	$R_{kb}$ , $\Omega$	$\Delta L$ , mm	$R_h$ , $\Omega$	$T_{kb}$ , $^{\circ}\text{C}$	$T_h$ , $^{\circ}\text{C}$	$\Delta T$ , $^{\circ}\text{C}$
varis							
bronza							
aliuminis							

1) Naudodamiesi termistoriaus varžos priklausomybe nuo temperatūros (Priedas Nr1), nustatykite kambario  $T_{kb}$  ir karšto vamzdelio  $T_h$  temperatūras. Baikite pildyti lentelę.

2) Apskaičiuokite temperatūros skirtumą  $\Delta T = T_h - T_{kb}$ .

3) Naudodamiesi priklausomybe  $\Delta L = \alpha L \Delta T$  apskaičiuokite tiesinio plėtimosi koeficientus  $\alpha_{Cu}$ ,  $\alpha_{br}$ ,  $\alpha_{Al}$ .

4) Įvertinkite matavimų paklaidą ir pateikite išvadas.

### **8. Kontroliniai klausimai:**

1. Dujų, skysčių ir kietųjų kūnų šiluminio plėtimosi mechanizmai.
2. Dujų, skysčių ir kietųjų kūnų šiluminio plėtimosi kiekybinė išraiška.
3. Kietųjų kūnų šiluminis plėtimosi koeficientas ir jo priklausomybė nuo temperatūros.
4. Termistoriaus varžos priklausomybė nuo temperatūros.

### **9. Literatūra**

1. <ftp://ftp.pasco.com/manuals/English/TD/TD-8558A/012-04394C/012-04394C.pdf>.
2. K.Lipskis, R.Lukošius, Z.Pocius, A.Urbelis. Molekulinė fizika ir termodinamika. Fizikos laboratoriniai darbai. Vilnius, 1979.
3. A.Tamašauskas. Fizika 2. V, Mokslas, 1987, 224 p.

Priedas Nr1. Termistoriaus varžos priklausomybė nuo temperatūros

$R, \Omega$	$T, ^\circ\text{C}$	$R, \Omega$	$T, ^\circ\text{C}$	$R, \Omega$	$T, ^\circ\text{C}$	$R, \Omega$	$T, ^\circ\text{C}$
351,020	0	95,447	26	30,976	52	11,625	78
332,640	1	91,126	27	29,756	53	11,223	79
315,320	2	87,022	28	28,590	54	10,837	80
298,990	3	83,124	29	27,475	55	10,467	81
283,600	4	79,422	30	26,409	56	10,110	82
269,080	5	75,903	31	25,390	57	9,767.2	83
255,380	6	72,560	32	24,415	58	9,437.7	84
242,460	7	69,380	33	23,483	59	9,120.8	85
230,260	8	66,356	34	22,590	60	8,816.0	86
218,730	9	63,480	35	21,736	61	8,522.7	87
207,850	10	60,743	36	20,919	62	8,240.6	88
197,560	11	58,138	37	20,136	63	7,969.1	89
187,840	12	55,658	38	19,386	64	7,707.7	90
178,650	13	53,297	39	18,668	65	7,456.2	91
169,950	14	51,048	40	17,980	66	7,214.0	92
161,730	15	48,905	41	17,321	67	6,980.6	93
153,950	16	46,863	42	16,689	68	6,755.9	94
146,580	17	44,917	43	16,083	69	6,539.4	95
139,610	18	43,062	44	15,502	70	6,330.8	96
133,000	19	41,292	45	14,945	71	6,129.8	97
126,740	20	39,605	46	14,410	72	5,936.1	98
120,810	21	37,995	47	13,897	73	5,749.3	99
115,190	22	36,458	48	13,405	74	5,569.3	100
109,850	23	34,991	49	12,932	75		
104,800	24	33,591	50	12,479	76		
100,000	25	32,253	51	12,043	77		