

**Szilárd testek vonalas hőtágulási együtthatójának meghatározása****1. A gyakorlat célja:**

- vonalas kiterjedésű szilárd testek hőtágulásának kísérleti tanulmányozása;
- lineáris hőtágulási tényező kísérleti meghatározása különböző szilárd fémek anyagok esetében

**2. A hőtágulás jelenségének elmélete**

A szilárd- és folyékony halmazállapotú testek hőtágulása ismert jelenség, amely szorosan összefügg az atomok és molekulák mozgási energiájának hőmérséklettel arányos növekedésével. Miközben a test hőmérséklete emelkedik a részecskék rezgési amplitúdója egyre nagyobb értéket vesz fel. Ennek következtében az általuk elfoglalt mikroszkopikus térfogat, és ezzel együtt a test makroszkopikus mérete is növekszik. Vonalas kiterjedésű testek esetében többnyire csak a lineáris méretnövekedésnek van jelentősége.

Kísérletileg tapasztalható tény, hogy ha a kezdeti  $t_0$  vonatkoztatási hőmérsékleten levő  $l_0$  hosszúságú testet melegítjük egy  $t$  hőmérsékletre, a test  $\Delta l = l_t - l_0$  lineáris tágulást szenved. A hosszváltozás egyenesen arányos a test kezdeti  $l_0$  hosszával, a  $\Delta t = t - t_0$  hőmérsékletváltozással és függ az anyagi minőségtől:

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t \quad (1)$$

Esetünkben legyen  $t_0 = 0^\circ\text{C}$  a jég olvadásponti hőmérséklete! A kifejezésben szereplő mennyiségek véges változását helyettesítve, majd a tagok átrendezése után felírhatjuk, hogy:

$$l_t = l_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t), \quad (2)$$

amelyben az  $(1 + \alpha \cdot t)$  tényezőt lineáris hőtágulási binomnak nevezzük, illetve  $\alpha$  arányossági tényező a lineáris hőtágulási együttható.

A lineáris hőtágulási tényező értelmezés szerint a  $\Delta t = 1^\circ\text{C}$  hőmérsékletváltozásra bekövetkező  $\Delta l/l_0$  relatív méretnövekedéssel egyenlő:

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot \frac{1}{\Delta t} = \frac{1}{l_0} \cdot \frac{l_t - l_0}{t - t_0} \quad (3)$$

Nem minden anyag esetében következik be hossznövekedés a test hőmérsékletének növekedésekor. Ezeknek az anyagoknak negatív hőtágulási tényezőjük van. Ilyen viselkedésű anyag például a gumi.

Nagyobb hőmérsékleti tartományokban a mérések azt mutatják, hogy a test hőtágulását nem lineáris összefüggés fejezi ki, hanem egy magasabb rendű polinom:

$$l_t = l_0 \cdot (1 + \alpha_1 \cdot t + \alpha_2 \cdot t^2 + \dots), \quad (4)$$

amelyben a hőtágulási együtthatók értéke  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  tapasztalati úton határozhatók meg.

Általában  $\alpha_1 \gg \alpha_2$ , ezért nem túl nagy  $(t_0, t)$  hőmérsékleti intervallumra az  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  értékek helyett a gyakorlatban jó megközelítésnek tekinthető a közepes hőtágulási együttható  $\alpha_{\text{közép}}$  számított értéke.

A melegítés vagy hűtés alkalmával bekövetkező tágulást, illetve összehúzódást csak igen nagy erővel akadályozhatjuk meg. Más szóval, igen nagy mechanikai feszültségek jelentkeznének az anyagokban, ha azok méretváltozását meggátoljuk, miközben a testek hőmérsékletváltozást szenvednek. Hooke törvénye értelmében a hőmérsékletváltozás hatására megjelenő húzó-, illetve nyomófeszültség értékére felírható:

$$\sigma = E \cdot \frac{\Delta l}{l_0} = E \cdot \alpha \cdot \Delta t, \quad (5)$$

amelynek  $F = S \cdot \alpha \cdot E \cdot \Delta t$  erő felel meg.

Például, ha az  $S = 1 \text{ cm}^2$  keresztmetszetű acélrúd hőmérsékletét  $\Delta t = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ -al növeljük, miközben kitágulásában megakadályozzuk, az acélrúdban igen nagy feszítőerő jelentkezik. Az acél anyagára jellemző állandók értékével számolva  $E = 21 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$  és  $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  a feszítőerő várható értéke igen nagy,  $F = 25200 \text{ N}$ !

A hőtágulás az anyagok szerkezeti sajátosságával is szorosan összefügg. A nem izotróp anyagok esetében, például a kristályos anyagok hőkiterjedése irányfüggőséget mutat. Ezért kristályos anyagok nem egyenletes melegítése során bizonyos irányokban igen nagy rugalmas belsőfeszültségek ébrednek, amelyek a kristálylapok mentén történő csúszásokhoz, vagy diszlokációs síkok mentén bekövetkező csúszásokhoz vezetnek.

Bizonyos fémötvözetek esetében alacsony hőtágulási együttható valósítható meg. Például, az invár nevezetű ötvözet (64 % Fe, 36 % Ni) hőtágulási tényezője  $\alpha = 2 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  nagyon kicsi, amely alkalmassá teszi a precíziós mérőműszerek készítésére.

Az amorf anyagok termikus viselkedése kedvezőbb tulajdonságot mutat. A vegyi iparban és a háztartásban gyakran használt „tűzálló” kvarcüvegből készült edények nagy és gyors hőmérsékletváltozásokat is elviselnek, mivel igen alacsony a hőtágulási tényezőjük ( $\alpha_{\text{kvarcüveg}} = 0,6 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ).

Optikai célokat szolgáló üvegek esetében a belső feszültségmentesítés végett az olvadt üveg hűtése akár éveken át is tarthat, ami igen szigorú technológiai feladatot jelent. Általában a táblázatokban közölt hőtágulási együtthatók értéke  $t_0 = 0^\circ\text{C}$  hőmérsékletre vannak megadva. Gyakorlati vonatkozásban viszont nem követünk el jelentős hibát, ha a szobahőmérsékleten mért hőtágulási tényezőt választjuk vonatkoztatási értéknek.

### **3. A kísérleti mérés gyakorlati megvalósítása**

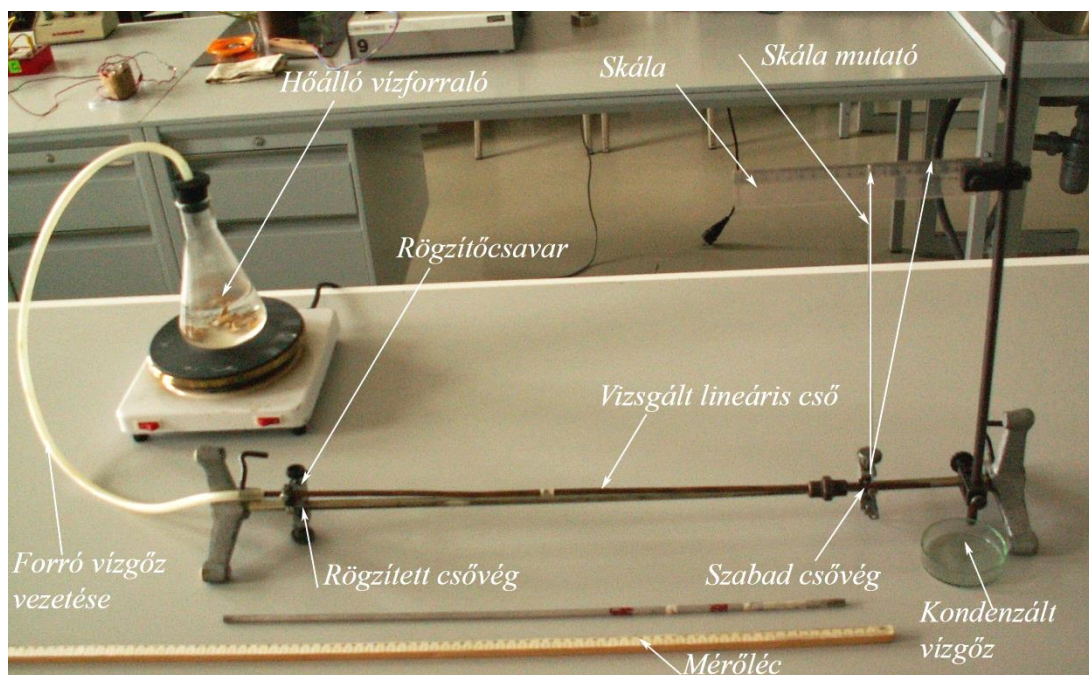
#### **Mérés egy könnyen megvalósítható mérőberendezéssel**

Izotróp testek lineáris hőtágulásának tanulmányozása céljából használjuk az 1. ábra szerinti kísérleti berendezést.

A gyakorlati mérések céljából duralumínium- és rézcső viselkedését vizsgáljuk és a következőképpen járunk el:

- *A kísérlet kezdetén megmérjük a szobahőmérsékleten levő cső hosszát, amelynek értékét jelölje  $l_t$ . Ez a hossz a befogószerkezet és a támasztási ék szerepét betöltő borotvapenge éle közötti távolságot jelenti. A mérés megkezdése előtt lejegyezzük a szobahőmérsékletet, valamint a mutató helyzetét a skála gyanánt használt vonalzóról.*

- Elektromos melegítővel vizet forralunk egy hőálló üveglombikban, ahonnan a forró vízgőzt gumidugón átvezetett műanyagcső közbeiktatásával közvetlenül a fémcsőbe juttatjuk és ott lecsapódik.
- A csövön átáramló vízgőzök a csövet 100 °C-ra melegítik. Miközben a cső kiterjed, a cső a borotvapengét és vele együtt a mutatót elmozdítja. A skála előtt elforduló mutató jelzi a vonalas kiterjedést.
- Leolvassuk a skáláról a mutató újabb helyzetét, miután beállt a termikus egyensúlyi állapot.



1. Ábra A lineáris hőtágulási tényező meghatározásához használt kísérleti berendezés

- A hőtágulás okozta megnyúlás nagysága meghatározható egyszerű megfontolás alapján, figyelembe véve a 2. ábrán látható betétábra jelöléseit:

a- a penge magassága,

b- a penge és a mutató együttes magassága,

s- a mutató végének elmozdulása a beosztásos skála előtt

A rajzon ábrázolt körcikkeknek háromszögekkel való megközelítése csak elhanyagolható hibát okoz a méréspontosság vonatkozásában. A háromszögek hasonlóak, ezért felírható az alábbi aránypár:

$$\frac{\Delta l}{s} = \frac{a}{b},$$

$$\Delta l = \frac{a}{b} \cdot s$$

illetve

(6)

Minden egyes vizsgált anyag esetében (vas-, duralumínium-, illetve rézcső) végezzünk legalább két kísérletet és az adatokat foglaljuk táblázatba, majd számítással határozzuk meg az átlagos fajlagos lineáris hőtágulási tényező értékét!



2. Ábra A hőtágulás okozta kiterjedés kísérleti meghatározása

1. Táblázat: A kísérleti mérési eredmények táblázata

A cső anyaga	$t_1$ (°C)	$l_t$ (mm)	$\Delta t$ (°C)	$a$ (mm)	$b$ (mm)	$s$ (mm)	$\Delta l$ (mm)	$\alpha$ (1/°C)	irodalom (1/°C)
Réz									
Dúr-alumínium									

### Mérés megvalósítása nagyobb pontosságú mérőberendezéssel

Pontosabb kísérleti mérés céljából mérőórát is használhatunk a hőtágulás meghatározására, amely lehetővé teszi a századmilliméter pontosságú leolvasást. A melegedés következtében lineáris kitágulást szenvedő cső szabadon elmozduló végét egy elmozdulást mérő óraszerkezettel hozzuk érintkezésbe. Végezzük el a kísérleti méréseket a 3. ábrán látható elrendezés szerint. Az elektromos melegítővel forralt víz gőzét vezessük be a tanulmányozandó csövekbe és mérjük meg rendre az alumínium-, réz-, illetve vascső lineáris hőtágulását. A mérési adatokat foglaljuk táblázatba, majd számítással határozzuk meg a fajlagos lineáris hőtágulási tényező értékét.

2. Táblázat: A kísérleti mérési eredmények táblázata

A cső anyaga	$t_1$ (°C)	$l_t$ (mm)	$\Delta t$ (°C)	$\Delta l$ (mm)	$\alpha$ (1/°C)	irodalom (1/°C)
Vas						
Réz						
Alumínium						

A mérési eredmények értékelése céljából végezzünk hibaszámítást!

### Hibaszámítás és a mérési eredmény helyes felírása

Kísérleti méréseinknél különböző mérési pontosságú mérőeszközöket használunk a hőtágulási együttható meghatározása céljából:

- milliméteres beosztású mérőszalagot a kezdeti  $l_0$  mérésére, amelynél az abszolút mérési hiba 1 mm;

- mikrométer órát a  $\Delta l$  hőtágulás értékének meghatározására, ennek viszont az abszolút mérési hibája 0,01 mm;
- laboratóriumi hőmérőt a kezdeti hőmérséklet (szobahőmérséklet) méréséhez, amelynek abszolút mérési hibája 1 °C.

A lineáris hőtágulás törvénye szerint felírható a lineáris hőtágulási tényező kifejezése:

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \cdot \Delta t} = \Delta l \cdot (l_0)^{-1} \cdot (\Delta t)^{-1} \quad (7)$$

Ismert, hogy a szorzat relatív hibája egyenlő a tényezők relatív hibáinak összegével, ezért felírhatjuk:

$$\varepsilon_r(\alpha) = \varepsilon_r(\Delta l) + \varepsilon_r(l_0) + \varepsilon_r(\Delta t),$$

ahol a relatív mérési hiba  $\varepsilon_r$  értéke egyenlő a használt mérőeszközök abszolút mérési hibája és a mért mennyiség értékének hányadosával.

## Megjegyzések és megválaszolandó feladatok:

- Végezzünk hibaszámítást a mérési adatok igényes feldolgozásával és határozzuk meg a kapott eredmények hibakorlátait, valamint hasonlítsuk össze az eredményt a szakirodalomban közölt értékkel!
- Fogalmazzunk meg következtetéseket a hosszúság mérésére szolgáló műszerek készítésénél használt anyagok természetére vonatkozóan!
- Készítsünk grafikus ábrát az  $l_t=f(t)$  függvénykapcsolat természetéről!

3. Táblázat: A szakirodalomban közölt néhány anyag lineáris hőtágulási tényezőjét tartalmazó táblázat:

Anyag megnevezése	$\alpha_{\text{közép}} \cdot 10^6 \text{ (}^\circ\text{C}^{-1}\text{)}$ (0-100°C)
Alumínium	24
Vörösréz	16
Sárgaréz (62% Cu, 38 % Zn)	19
Bronz (Cu és Sn)	17
Grafit	2
Kvarcüveg (amorf)	0,6
Tiszta vas	12
Vasöntvény	9
Acél	11
Jég	5,1
Fa (bükk)	0,5-5