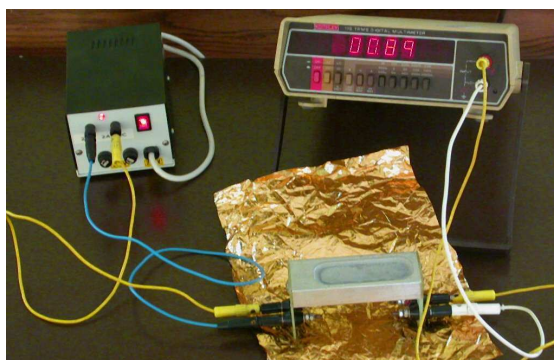


## 14. fejezet

# Testek fűtési és hűtési kinetikájának tanulmányozása



*A mérés eszközei és összeállítása*

Tekintsünk egy testet, amely termikus (és csakis olyan) kölcsönhatásban áll (a sajátjánál jóval nagyobb hőkapacitású) környezetével, azaz hő formájában állandó energiatranszport zajlik le közöttük! Ha nincsenek termikus egyensúlyban (vagyis a test  $T_t$  hőmérséklete eltér környezetének  $T_k$  hőmérsékletétől), akkor a test melegszik vagy hűl. (Ha  $T_t < T_k$ , és emiatt a test nagyobb (hő)teljesítményt vesz fel környezetéből, mint amekkorát annak lead, tehát nettó hőfelvétele pozitív; ha  $T_t > T_k$  a test környezetének leadott (hő)teljesítménye meghaladja az abból felvettét, vagyis nettó hőfelvétele negatív). A hőmérséklet mindaddig változik, míg a hőmérsékletek kiegyenlítődése meg nem teremti a termodinamikai egyensúlyt. Minél nagyobb az adott időpillanatban a test (előjeles!) nettó hőleadásának teljesítménye, hűlése ill. melegedése annál gyorsabb.

Minthogy a kinetikát a rendszer (hőtani) jellemzői határozzák meg, a kinetika analizéséből e jellemzőkre következtetni lehet.

A hőtranszport három jól ismert formájában (hővezetés, hőáramlás és hősugárzás) történő hőátadás teljesítményére jellemző, hogy a teljesítmény az első kettő esetében széles hőmérséklet-tartományban lineárisan függ a  $T_t - T_k$  hőmérsékletkülönbségtől (és a test  $f$  felületétől)

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = -\text{konst} \cdot (T_t - T_k),$$

míg a sugárzás esetében a hőmérsékletfüggés sokkal erősebb:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = -\text{konst} \cdot (T_t^4 - T_k^4).$$

(Megjegyzés: noha e feladatlapon a hőmérsékletet  $T$ -vel jelöljük (hogy a  $t$  időtől megkülönböztessük), az utolsó formula kivételével nem szükséges abszolút hőmérsékletet használni, a hőmérsékletet megadható  $^{\circ}\text{C}$  egységben (a hőérzékelők gyári adatlapjain is leggyakrabban így szerepel).

Ha  $(T_t - T_k)/T$  elég kicsi, akkor még a sugárzásos hőátadás is közelíthető a  $T_t - T_k$  lineáris függvényével, így ilyen körülmények között közelítőleg a teljes hőtranszport teljesítménye is a  $T_t - T_k$  lineáris függvénye,

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = -\kappa' \cdot (T_t - T_k).$$

Itt a konstanst  $\kappa'$ -vel jelöltük, ez a három fajta hőcserére vonatkozó egyesített hővezetőképesség.

Ha a testet (külső forrásból származó energiával, pl. elektromos fűtőtest segítségével) még fűtjük is, akkor a hűlés/melegedés sebességét meghatározó energiamérlegbe természetesen a fűtés (pillanatnyi) teljesítményét is bele kell számítani. Ha a  $Q$  belső energia helyett rögtön a  $T_t = Q/c$  hőmérsékletet vezetjük be az egyenletekbe,

$$\frac{\partial T_t}{\partial t} = \frac{P}{c} - \kappa \cdot (T_t - T_k),$$

ahol  $P$  a fűtés teljesítménye (J/s),  $c$  pedig a test hőkapacitása (J/K). Az egyenlet első tagja a fűtést írja le, ezért pozitív, a második a hűlést, ezért negatív. Ezt a differenciálegyenletet ebben a formában is könnyű megoldani, de a test melegedése/hűlése szempontjából tanulságosabb, ha az alábbi három, tovább egyszerűsített egyenletet vizsgáljuk.

Amikor a test hőmérséklete a környezetéhez hasonló, és csak éppen elkezdjük melegíteni,  $(T_t - T_k)$  közel 0-nak vehető, így ettől a tagtól eltekinthetünk. Ebben az esetben

$$\frac{\partial T_t}{\partial t} = \frac{P}{c},$$

vagyis a hőmérséklet változása kizárólag azért következik be, mert a fűtőteljesítmény növeli a belső energiát. A melegedés első szakaszának képe tehát egy  $P/c$  meredekségű egyenes.

Ha a fűtést most kikapcsoljuk, a test melegebb, mint a környezete, viszont a fűtőteljesítmény 0. Ekkor a már ismert

$$\frac{\partial T_t}{\partial t} = \frac{\partial T_t - T_k}{\partial t} = -\kappa \cdot (T_t - T_k)$$

egyenlethez jutunk. Ennek megoldása egy exponenciális függvény (hiszen ez az a függvény, amelynek deriváltja saját magának egy konstansszorososa), a megoldás alakja

$$T_t = T_k + e^{-\kappa \cdot t},$$

ezt logaritmizálva

$$\ln(T_t - T_k) = -\kappa \cdot t.$$

Összefoglalva, a hűlési szakaszon a hőmérsékletkülönbség logaritmusának képe egy  $-\kappa$  meredekségű egyenes.

Abban az esetben, ha a melegítést „végtelen” ideig folytatjuk, a hőfelvétel és a hőleadás egyensúlyba jut. Ebben az esetben a hőmérséklet elér egy konstans  $T_{\max}$  egyensúlyi értéket. Vagyis, ha  $T_t = T_{\max}$ ,  $\frac{\partial T_t}{\partial t} = 0$ , ezért

$$\kappa \cdot (T_{\max} - T_k) = \frac{P}{c}.$$

Ebből az összefüggésből  $T_{\max}$  könnyen kiszámítható,

$$(T_{\max} - T_k) = \frac{P}{\kappa c}.$$

Az előző három eredmény birtokában megállapíthatjuk, hogy nem kell végtelen ideig melegíteni a testet ahhoz, hogy az egyensúlyi hőmérsékletét meghatározzuk, hiszen elegendő az előbb meghatározott két meredekséget elosztani egymással,

$$(T_{\max} - T_k) = \frac{P}{\kappa c} = \left( \frac{\partial(T_t - T_k)}{\partial t} \right) \Big|_{T_t \approx T_k, P > 0} \Big/ \left( \frac{\partial \ln(T_t - T_k)}{\partial t} \right) \Big|_{T_t >> T_k, P = 0}.$$

Az emberi test hőegyensúlyának fenntartásában a párologtatásnak (veritékezés) fontos szerepe van. Baleseti sérültek sugárzásos hőleadását gyakran a beteg mentőfóliába burkolásával csökkentik (pl. a hegyi mentők). A mentőfólia (alumíniumréteggel bevont műanyag hártya) az infravörös sugárzás nagy részét (kb. 80%) visszaveri, emellett az áramlásos hővesztéséget is mérsékli. Az emberi test hőszabályozásának e két lehetőségét vizsgáljuk most.

Méréseinkhez egy műanyag lábakon álló alumíniumtömböt készítettünk (a továbbiakban: a „test”). A test az alulról rácsavarozott teljesítményellenálláson (ellenállása  $15\Omega$ , amelynek hőmérsékletfüggése a vizsgált hőmérséklettartományban elhanyagolható) átvezetett árammal fűthető („FUTES” feliratú banánhüvelyek, a polaritás tetszőleges); hőmérsékletét a bele fűrt lyukban elhelyezett termoellenállással mérhetjük. Az alkalmazott termoellenállás hőmérsékleti együtthatója pozitív (ún. PTK termoellenállás), vagyis ellenállása hőmérsékletének emelkedésekor nő; polaritásérzékeny, csatlakozói a „TERM+” ill. „TERM” feliratú (piros ill. fekete) banánhüvelyek. A viszonylag rossz hővezetőképességű műanyag lábak megakadályozzák, hogy a hővezetés túlsúlyba kerüljön a hőcsere többi fajtájához képest.

Készülékünk a fűtés/hűlés kinetikájának tanulmányozására készült, ennek valóságos körülményeit jól modellezi. Éppen emiatt azonban nem várható el tőle, hogy a kinetikát befolyásoló paraméterek (pl. hőkapacitás, párologáshő) értékeit olyan pontosan meg tudjuk határozni, mint az ezek mérésére kifejlesztett speciális kalorimetriás módszerek.

Megjegyzések: A termoellenállás  $175^\circ\text{C}$  felett tönkremegy, ezért a biztonság kedvéért soha ne melegítse fel annyira, hogy  $R(T)$  ellenállása jelentősen meghaladja a  $2\text{k}\Omega$  értéket! A felmelegített testet mindig a lábainál fogjuk meg, különben égési sérülést okozhat! A test elektromos alkatrészei (pl. a termoellenállás) nem vízálló szigetelésűek, ezért azokra nem kerülhet víz, a testet (pl. hűtés céljából) ne tegye vízbe! A felmelegített test viszonylag lassan hűl le, ami sok idejét elrabolhatja, ezért a fűtés bekapcsolása előtt jól gondolja meg, nem maradt-e még valami szobahőmérsékleten elvégzendő teendője!

## 14.1. Feladatok

Eszközök: 1 db test, 1 db árammérő, 4 vezeték, 1 alumíniumfólia

1. Vegye fel a test fűtési kinetikáját! Csavarja a testet a hőleadást csökkentő fóliába, és mérje meg a termofeszültség  $V(T)$  értékét szobahőmérsékleten! Ezután kapcsolja be a fűtést (kösse a fűtőellenálláshoz a  $24\text{V}$ -os tápegységre csatlakozó kábeleket) 15 percre, és közben percenként mérje meg  $V(T)$  értékét!
2. Mérje ki a test hűlési kinetikáját: az 1.1 pontban felmelegített testet fűtés nélkül hagyja a fóliában, és engedje hűlni 20 percig, ezalatt percenként mérje meg  $V(T)$  értékét!
3. Távolítsa el a fóliát a testről (vigyázat, forró!), csap alatt teljesen hűtse le a testet, s törölje szárazra!
4. Pipettázzon  $3\text{cm}^3$  vizet a test tetején lévő hengeres bemélyedésbe, és – immár fólia nélkül – ismét melegítse addig, amíg a víz felforr (kb. 17 perc), és jegyezze a termofeszültségeket.
5. Ismét hűtse 15 percig a testet.
6. A víz felforrása miatt a második esetben  $100^\circ\text{C}$  értéknél megállt a melegítés, állapítsa meg az ehhez tartozó termofeszültséget! A szobahőmérséklet és a víz forráspontja közti különbség ismeretében állapítsa meg, hogy  $1\text{mV}$  termofeszültség hány fok hőmérsékletkülönbségnek felel meg! Ennek alapján számítsa át az összes mért termofeszültség-értékeket fokokba ( $T_t - T_k$ )! A hűlési szakaszokon számítsa ki a hőmérséklet-különbség logaritmusát is!
7. Ábrázolja a hőmérséklet időfüggését a melegedési szakaszokon, és a hőmérsékletkülönbség természetes alapú logaritmusát a hűlési szakaszokon! Olvassa le a meredekségeket!
8. Mennyi a test egyensúlyi hőmérséklete szárazon, fóliába csavarva; és mennyi vizesen, fólia nélkül? Mi a különbség oka?