

JEGYZŐKÖNYV

05. MÉRÉS - FAJHŐ MÉRÉSE

Klasszikus Fizika Laboratórium



- Mérést végezte: Rábóczki Bence
- Mérést végző Neptun-azonosítója: NQQDTE
- Mérés időpontja: 2020. szeptember 18.
- Jegyzőkönyv leadásának időpontja: 2020. november 28.

Fehasználta mérőszközök

- Számítógép
- Feszültségmérő
- Kaloriméter
- Hőkulcs
- Termosztát
- "5-ös" számú minta

A mérés célja és menete

A célunk egy adott minta fajhőjének meghatározása. Ehhez egy izoperibol kalorimétert használunk, melynek a hőmérséklete változik, miközben a környezetéé állandó marad. Először a minta vízértékét kell megadnunk, amit ismerve már két módszerrel is (beejtéses és melegítéses) vizsgálhatjuk a fajhőt. A fajhő meghatározása legkönnyebben az alábbi képlettel történhet:

$Q = cm\Delta T$, ahol Q a testtel közölt hő, m a test tömege, ΔT a hőmérsékletének a változása és végül c a fajhője.

A kaloriméter vízértékének meghatározása

Elméleti háttér

A vízértékre vonatkozó alapvető képletek a következők:

$$v = \frac{Q_v}{\Delta T}$$

$$Q_v = \frac{U^2}{R} \cdot t_f$$

ahol v a vízérték, Q a kötölt hő, ΔT a kaloriméter hőmérsékletváltozása, U a fűtőfeszültség, R a fűtőszál ellenállása t_f pedig a fűtés időtartama. Azonban ez figyelmen kívül hagyja a kaloriméter és a környezet kapcsolatát. Ahhoz, hogy tényleg a valós értéket számolhassunk fel kell használnunk a Newton-féle lehűlési törvényt, valamint rendezni az egyenleteket, hogy a következő alakra jussunk:

$$v = \frac{Q}{T^* - T_k}$$

(T^* : korrigált hőmérséklet, T_k = környezet hőmérséklete)

A mérés menete

Első lépésként a hőkulcsot a kaloriméterbe helyeztem és a megfelelő hőmérséklet elérése után kivettem. Megvártam, hogy a hőmérsékleti egyensúly beálljon, majd elindítottam a mérési adatok rögzítését a számítógépen. A néhány perces előszakasz végén elindítottam a fűtést, amit nagyjából $3.5\text{ }^\circ\text{C}$ hőmérséklet-emelkedés után leállítottam. Ezután további 10 percen keresztül folytattam az adatok rögzítését az utószakaszban. A kapott eredményeket grafikonon ábrázoltam és kinyomtattam, ezt az ábrát fotóztam be a jegyzőkönyvemhez.

Mért és helyben számolt adatok

Mért értékek	Számolt értékek
$U_{futo} = 1842 \pm 1\text{ [mV]}$	$T_{korngy} = 21.7314 \pm 0.0001\text{ [}^\circ\text{C]}$
$R_{futo} = 7.07 \pm 0.01\text{ [}\Omega\text{]}$	$T^* = 25.322 \pm 0.017\text{ [}^\circ\text{C]}$
$\Delta t_{futes} = 167.91\text{ [s]}$	$\epsilon_0 = 0.085639\text{ [1/min]}$

Itt ϵ_0 : az utószakaszra illesztett exponenciális függvény kitevőjének együtthatója. Ezekből a kaloriméter által felvett hő:

$$Q = \frac{U_f^2}{R_f} t_f = 80.5817 \pm 0.2015\text{ J}$$

És a vízérték:

$$v = \frac{Q}{T^* - T_k} = 22.3323 \pm 0.1617\text{ } \frac{\text{J}}{^\circ\text{C}}$$

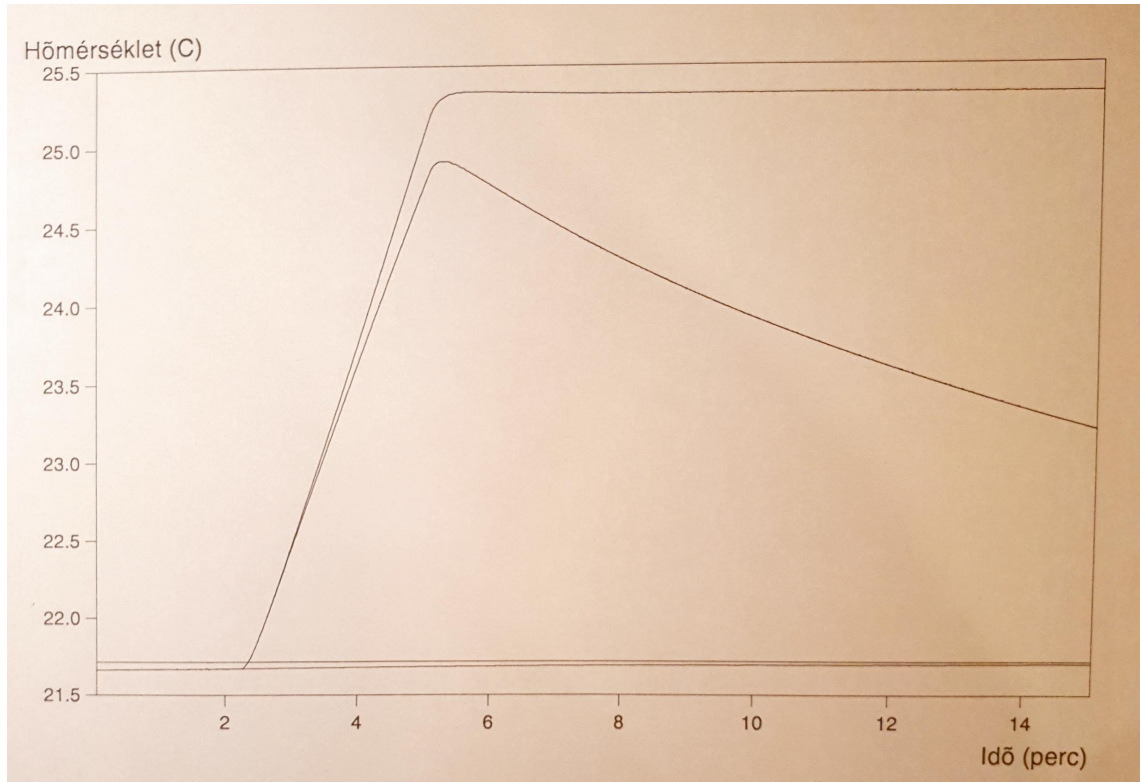
Hibaszámítás

A hibákat az alábbi képletekkel számoltam:

$$\frac{\Delta Q}{Q} = 2 \cdot \frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta R}{R}$$

$$\frac{\Delta v}{v} = 2 \cdot \frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta T^* + \Delta T_k}{T^* - T_k}$$

A mérés grafikonja



A beejtéses módszer

Elméleti háttér

A mérés során a kaloriméterbe ejtjük a termoszal felmelegített mintát, majd a kaloriméter hőmérséklet-változását mérjük, és ebből határozzuk meg a minta fajhőjét az alábbi összefüggéseket felhasználva:

$$c = \frac{v}{m} \cdot \frac{T^* - T_k}{T_{m0} - T_m^*}$$

$$T_m^* = T_k + \frac{\epsilon'}{\epsilon' - \epsilon_0} (T^* - T_k)$$

(eddig be nem vezetett tagok jelentése: T_{m0} a minta hőmérséklete, T_m^* a minta korrigált hőmérséklete, ϵ' a mérés főszakaszában a korrigált hőmérsékletre illesztett exponenciális függvény kitevőjében található együttható)

A mérés menete

Először is a kaloriméter hőmérsékletét állítottam be egy állandó értékre, pont mint a vízérték meghatározásánál. Mivel a mintát már jóval korábban a termoszba helyeztem, ezért a kettejük hőmérséklete azonosnak tekinthető, tehát a termoszra beállított hőmérsékletet vehetem a minta hőmérsékletének is. Az előszakaszban, a beejtés előtt pár percig rögzítettem az adatokat, majd a beejtés után a még nagyjából 12 percig rögzítettem az adatokat.

Mért és helyben számolt adatok

$$T_{m0} = 34.0 \pm 0.1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_k = 21.6391 \pm 0.0001 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T^* = 24.449 \pm 0.0012 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\epsilon_0 = 0.066783 \frac{1}{\text{min}}$$

$$\epsilon' = 1.8174 \frac{1}{\text{min}}$$

$$m = 14.0690 \pm 0.0001 \text{ g}$$

A minta korrigált hőmérséklete a rá vonatkozó fentebbi képletből:

$$T_m^* = 24.5562 \pm 0.0014 \text{ } ^\circ\text{C}$$

A fajhő értéke pedig:

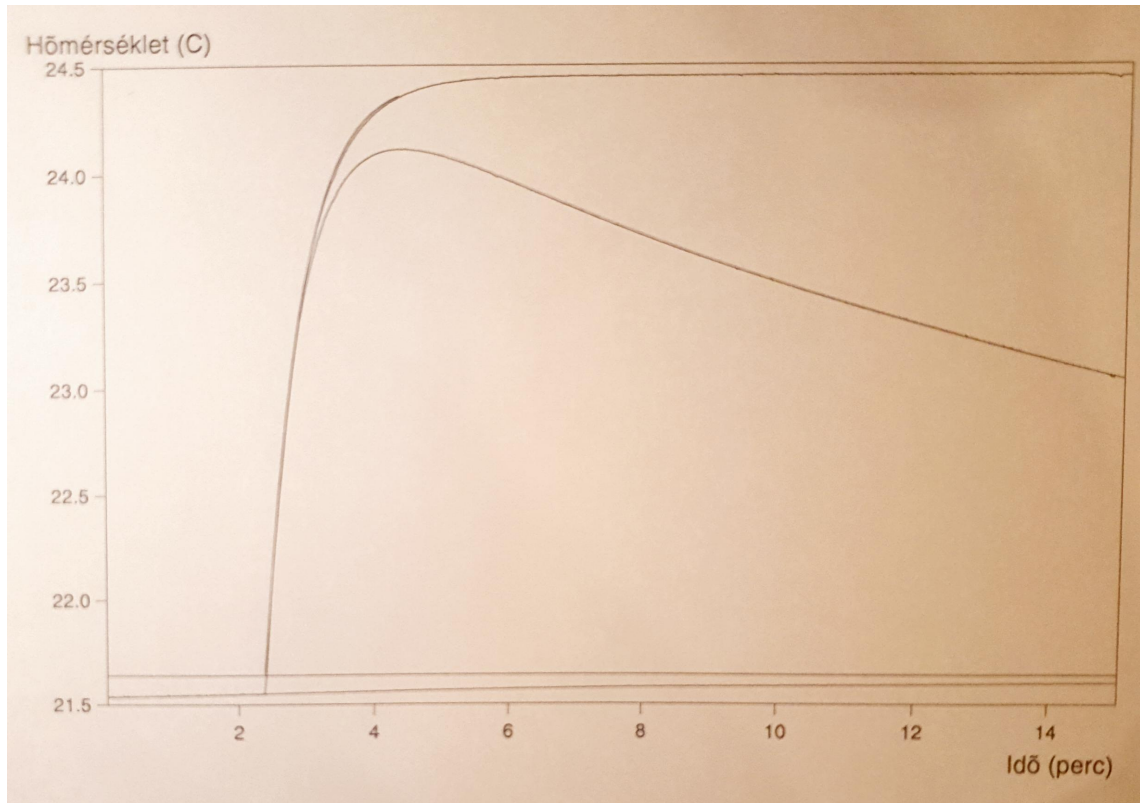
$$c = 472.296 \pm 8.539 \frac{\text{J}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}$$

Hibaszámítás

A a fajhő hiábját az alábbi képlet alapján számítottam:

$$\frac{\Delta c}{c} = \frac{\Delta v}{v} + \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta T^* - \Delta T_k}{T^* - T_k} + \frac{\Delta T_{m0} - \Delta T_m^*}{T_{m0} - T_m^*}$$

A mérés grafikonja



Együtt melegítéses módszer

Elméleti háttér

Itt a kalorimétert a mintával együtt fűtjük, figyelve a hőmérséklet-változást. A minta fajhőjére a következő összefüggés igaz:

$$c = \frac{1}{m} \frac{Q - v(T^* - T_k)}{T_m^* - T_k}$$

A mérés során nem tudunk c' -t mérni, ezért két lehetőségünk van T_m^* meghatározására: az első az, hogy a beejtéses módszer c' -jét használjuk fel itt is, a második pedig, hogy a minta és a kaloriméter hőmérséklet-különbségét elhanyagoljuk (ez azonban nagyobb hibához vezet).

A mérés menete

A beejtéses módszer után beálló hőmérsékleti egyensúlyt a néhány perces előszakaszban rögzítettem. Ez után elkezdem a hőközlést, amit nagyjából három Celsius-fok különbség eléréséig folytattam, majd a leállítás után további 12 percig rögzítettem a mérési adatokat.

Mért és helyben számított adatok

$$U_f = 1839 \pm 1 \text{ mV}$$

$$R_f = 7.07 \pm 0.01 \text{ } \Omega$$

$$t_f = 182.79 \text{ s}$$

$$T_k = 21.5933 \pm 0.0001 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T^* = 24.766 \pm 0.008 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\epsilon_0 = 0.073089 \frac{1}{\text{min}}$$

$$m = 14.0690 \pm 0.0001 \text{ g}$$

A rendszerrel közölt hő mennyisége:

$$Q = \frac{U_f^2}{R_f} t_f = 87.437 \pm 0.219 \text{ J}$$

A további számításokhoz a beejtéses módszer ϵ' értékét használtam.

A korrigált hőmérséklet:

$$T_m^* = T_k + \frac{\epsilon'}{\epsilon' - \epsilon_0} (T^* - T_k) = 24.8989 \pm 0.0082 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Ezeket felhasználva a fajhő értéke:

$$c = 356.5806 \pm 5.2391 \frac{\text{J}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}$$

Ha pedig a $T^* = T_m^*$ közelítést alkalmazom:

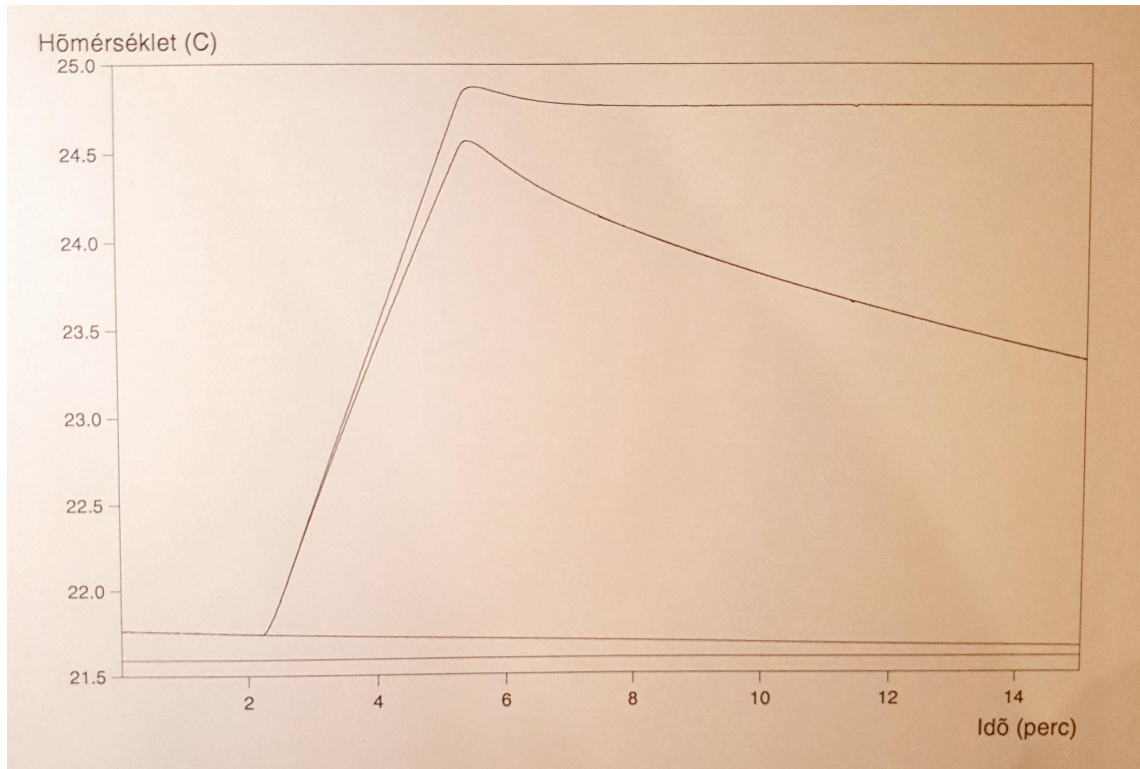
$$c = 371.5173 \pm 5.2531 \frac{\text{J}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}$$

Hibaszámítás

A hibát az alábbi képlettel számoltam:

$$\frac{\Delta c}{c} = \frac{\Delta v}{v} + \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta Q}{Q} + \frac{\Delta T^* - \Delta T_k}{T^* - T_k} + \frac{\Delta T_m^* - \Delta T_m^*}{T_m^* - T_m^*}$$

A mérés grafikonja



Hőátadási tényezők

A kaloriméter h és k hőátadási tényezői az alábbi képletekkel számíthatók:

$$h = \epsilon_0 v$$

$$k = \epsilon \epsilon' \frac{\omega}{\epsilon_0}$$

tudjuk, hogy a laborban használt kaloriméterre igaz, hogy $\epsilon \approx \epsilon_0$, valamint, hogy $\omega = cm$, így megkaphatjuk, hogy:

$$k = \epsilon' cm$$

Hőátadási tényező a kaloriméter és a környezet között

A vízmérték méréséből származó ϵ -nal:

$$h = 1.913$$

A beejtési méréséből származó ϵ -nal:

$$h = 1.491$$

Az együtt melegítési méréséből származó ϵ -nal:

$$h = 1.632$$

Az átlaguk (a hiba itt az átlagtól vett legnagyobb eltérés):

$$h = 1.679 \pm 0.234 \frac{\text{J}}{^\circ\text{C} \cdot \text{min}}$$

Hőátadási tényező a kaloriméter és a minta között

A beejtési mérésből számolt hőkapacitással:

$$k = 12.076$$

A melegítési (ϵ') mérésből számolt hőkapacitással:

$$k = 9.117$$

A melegítési ($T^* = T_m^*$) mérésből számolt hőkapacitással:

$$k = 9.499$$

Az átlaguk (a hiba itt az átlagtól vett legnagyobb eltérés):

$$k = 10.231 \pm 1.845 \frac{\text{J}}{^\circ\text{C} \cdot \text{min}}$$

Diszkusszió

Az együtt melegítési módszer során a kétféle közelítés közül a $\Delta T^* < \Delta T_m^*$ miatt a második esetben még kisebb is lett a hiba a várttal ellentétben, azonban ez nem sokat javít a tényen, hogy a két mérési módszerrel kapott hőkapacitások között hatalmas eltéréseket kaptam. Valószínűleg a mérés során megfeledkeztem valamiről, vagy esetleg elrontottam a mérést, mert többszöri átszámolásra is ezeket a sajnos nagyon eltérő végeredményeket kaptam. A hőátadási tényezőknél látszik, hogy $k > h$, azaz a kaloriméter megfelelően működik (viszont a k hibáján itt is kiütözik a kapott hőkapacitások közti számottevő eltérés).

Felhasznált irodalom

- Böhönyey - Havancsák - Huhn: Mérések a klasszikus fizika laboratóriumban, szerkesztette: Havancsák Károly, ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 2003.