JEGYZŐKÖNYV
KLASSZIKUS FIZIKA LABORATÓRIUM

---

05. MÉRÉS - FAJHŐ MÉRÉSE

- Mérést végezte : Brindza Mátyás
- Mérést végző Neptun-azonosítója: Z2R8XS

- Mérés időpontja : távmérés
- Jegyzőkönyv leadásának időpontja : 2021.08.31.

A mérés célja:

A mérés célja egy minta fajhőjének meghatározása, mely egy ún. izoperibol kaloriméter (a hőmérséklete változik, de a környezetéé nem) segítségével történik. A mérés nagyvonalakban három fő részre osztható : a karloriméter vízértékének meghatározása, majd a fajhő vizsgálata két módszerrel (beejtéses és melegítéses).

Megyjegyzés : A számolásokat és a hibaszámolásokat *Python*-ban végeztem.

Mérőeszkzök:

- Számítógép
- Voltméter
- Kaloriméter
- Hőkulcs
- Termosztát
- 1-es minta

A kaloriméter vízértékének meghatározása

A mérés elméleti háttere:

Az álábbi összefüggések érvényesek a mérésben szereplő fizikai mennyiségekre.

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

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

ahol v a vízrték, Q a közölt hő, ΔT a kaloriméter hőmérsékletének változása, U a fűtőfeszültség, R a fűtőszál ellenállása és t_f a fűtés időtartama. Ez a modell nem veszi figyelembe a környezettel való kapcsolatot, így a Newton-féle lehűlési törvény segítségével javíthatunk rajta.

$$v \cdot \frac{dT}{dt} = \frac{dQ_v}{dt} - h \cdot (T - T_k)$$

ahol T a kaloriméter hőmérséklete, T_k a környezet hőmérséklete, h a hőátadási tényező. Ezzel bevezethető a korrigált hőmérséklet (T^*) fogalma:

$$T^*(t) = T(t) + \epsilon_0 \cdot \int_0^t (T(t') - T_k)dt'$$

ahol $\epsilon_0 = \frac{h}{v}$, mely az utószakaszra illesztett exponenciális függvény egyik paramétere lesz.

$$T(t) = T_k + C \cdot e^{-\epsilon_0 \cdot t}$$

Mindezt figyelembe véve a vízértékre vonatkozó összefüggés az alábbi formára hozható.

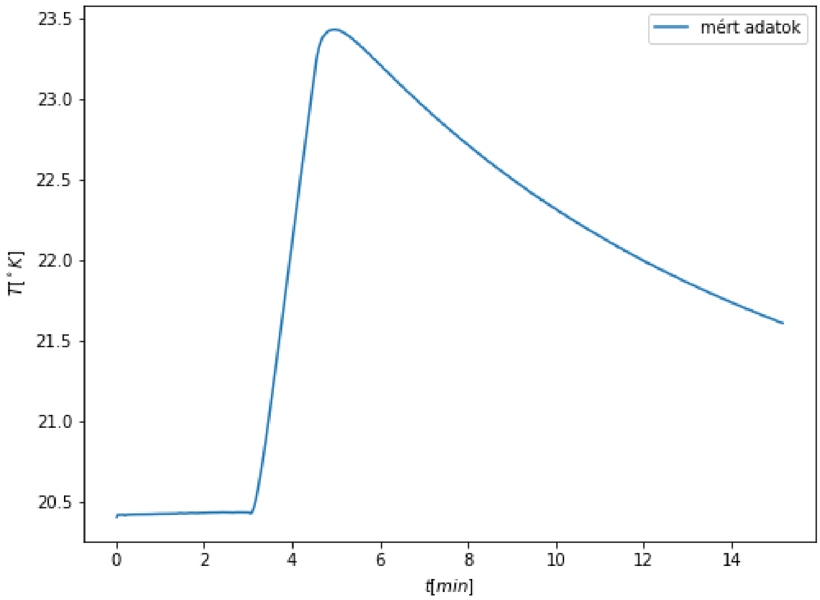
$$v = \frac{Q_v}{\Delta T} = \frac{Q_v}{T^* - T_k}$$

A mérés menete és a mért adatok

Először a hőkulcs a kaloriméterbe kerül, majd a kívánt hőmérséklet elérése után kivehető. Az egyensúlyi hőmérséklet beállta után elidítható az adatok digitális rögzítése. A $3.073 min$ előaszakaszt követően $\Delta T = 2.998°C$ hőmérséklet-emelkedésig $U = 1994 mV$ feszültséggel melegszik a rendszer. Ezután leáll a fűtés és további 10 percig folytatódik az adatok digitális rögzítése.

A mérése vonatkozó adatok:

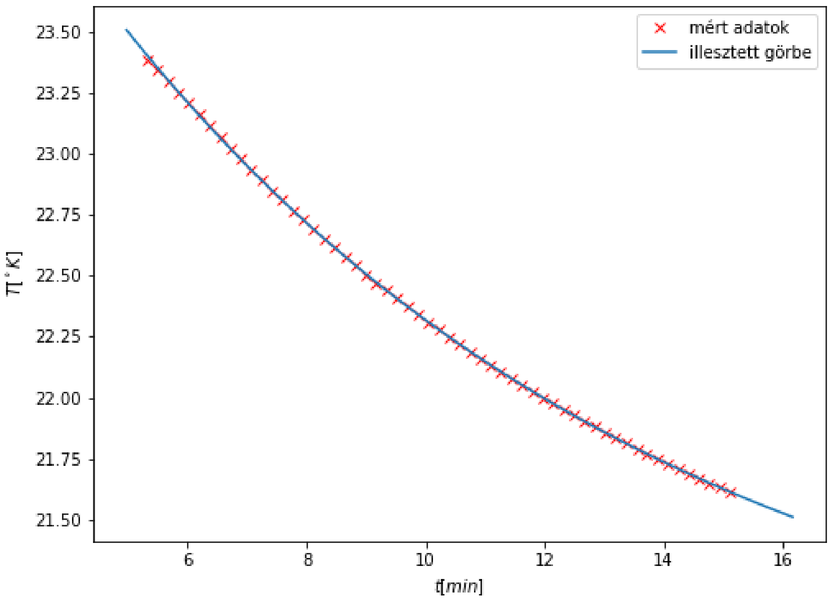
- A fűtés kezdete : $3.073 min \pm 0.0005 min$
- A fűtés időtartama : $t_f = 113.04 s \pm 0.003 s$
- A környezet hőmérséklete : $T_k = 20.438°C \pm 0.0005°C$
- A fűtőfeszültség : $U_f = 1994 mV \pm 0.5 mV$
- A fűtőszálellenállása : $R_f = 7.07\Omega \pm 0.01\Omega$



A kaloriméter hőmérsékletének időbeli fejlődése

Kiértékelés és hibaszámítás

A fűtés utáni szakaszra - az utószakaszra -, exponenciálist lehet illeszteni az elméleti részben leírtak szerint.



Exponenciális görbe illesztése az utószakaszra

Az illesztés eredménye:

$$\epsilon_0 = 0.107026 \frac{1}{min} \pm 1.7205 \cdot 10^{-4} \frac{1}{min}$$

A korrigált hőmérséklet is kiszámolható az elméleti részben tárgyaltak alapján.

$$T^* = 23.15977°C \pm 0.00260625°C$$

A kaloriméter által felvett hő:

$$Q = \frac{U_f^2}{R_f} \cdot t_f = 63.57159J$$

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

$$\Delta Q = 0.13867J$$

Ezen a ponton már kiszámolható a kaloriméter vízértéke.

$$v = \frac{Q}{T^* - T_k} = 23.35668 \frac{J}{°C}$$

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

$$\Delta v = 0.077604 \frac{J}{°C}$$

A minta fajhőjének mérése - Beejtéses módszerrel

A mérés elméleti háttere

E mérés alatt egy előzetesen (termoszban) felmelegített minta kerül a kaloriméterbe, majd a kaloriméter hőmérséklet-változása rögzül digitálisan. A fajhőre az alábbi összefüggés vonatkozik:

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

ahol c a minta fajhője, T_{m0} a minta hőmérséklete (pontosabban a termoszé), T_m^* a minta korrigált hőmérséklete:

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

ahol ϵ' a főszakaszon vett korrigált hőmérsékletre illeszt exponenciális görbe kitevője.

A mérés menete és a mért adatok

A mintát már a mérés kezdete előtt pár perccel érdemes a termosztátba helyezni, hogy biztosan felvegye a hőmérsékletét. Ezután, ha már a kaloriméter hőmérséklete is állandónak bizonyul, elindítható a mérés. A digitális adatrögzítés kezdetől $t_b = 3.838 min$ telik el a minta beejtéséig. Az adatok ezután még 15 percig rögzülnek, majd a mérés leáll.

A mérésre vonatkozó adatok:

- A minta tömege : $m = 4.7661g \pm 0.00005g$
- A beejtés időpontja : $t_b = 3.838min \pm 0.0005min$
- A minta hőmérséklete : $T_{m0} = 33.1°C$

Kiértékelés és hibaszámítás

A korrigált hőmérsékletre vett illesztés az alábbi ábrán latható, alatt pedig az illesztés eredménye.

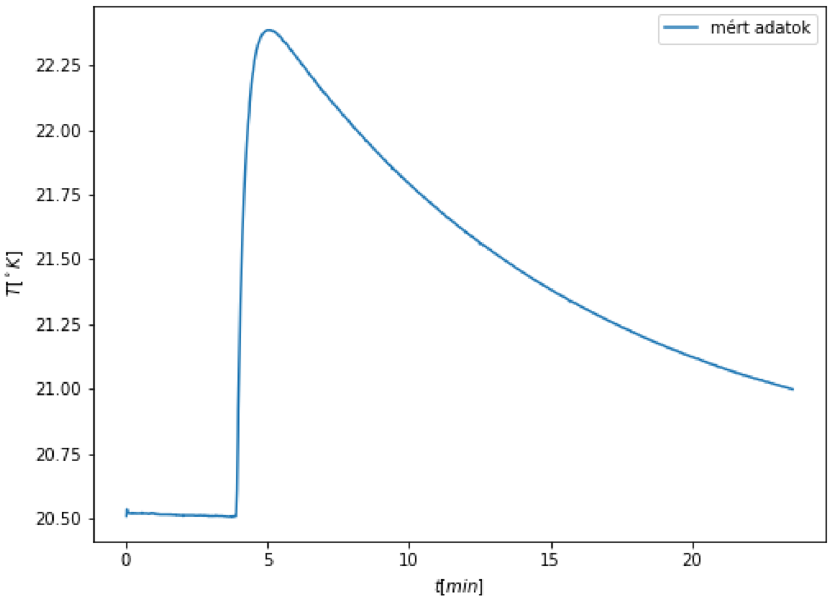
$$\epsilon' = 1.8124 \frac{1}{min}$$
$$T^* = 22.55838°C \pm 0.0024°C$$

A minta korrigált hőmérséklete:

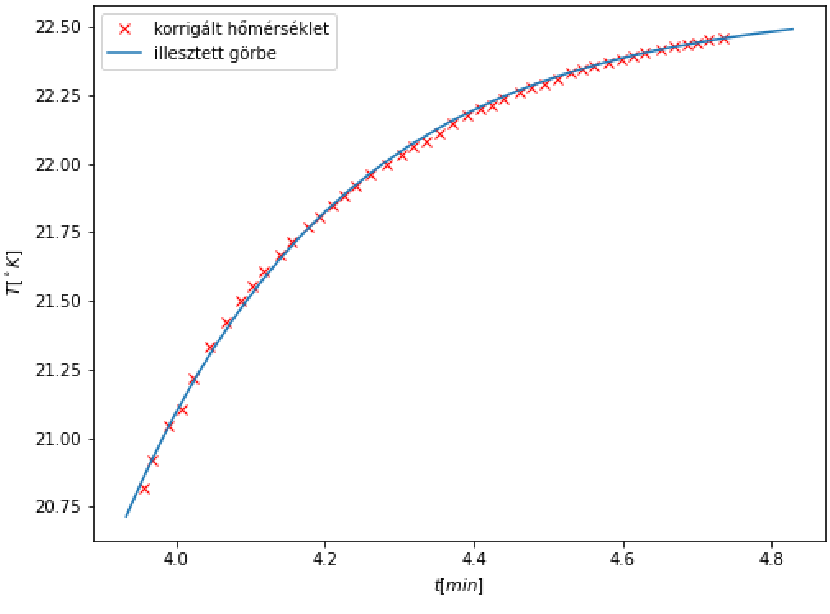
$$T_m^* = T_k + \frac{\epsilon'}{\epsilon' - \epsilon_0} \cdot (T^* - T_k) = 22.691452°C \pm 0.0026°C$$

Végül a fajhő értéke és hibája:

$$c = \frac{v}{m} \cdot \frac{T^* - T_k}{T_{m0} - T_m^*} = 998.32464 \frac{J}{kg°C}$$



Mért adatok a beejtéses módszer során



A főszakaszon vett korrigált hőmérséklet és a rá illesztett exponenciális görbe

$$\frac{\Delta c}{c} = \frac{\Delta v}{v} + \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta(T^* - T_k)}{T^* - T_k} + \frac{\Delta(T_{m0} - T_m^*)}{T_{m0} - T_m^*} = 0.97542\%$$

$$\Delta c = 9.73792 \frac{J}{kg°C}$$

A minta fajhőjének mérése - Együtt melegítéses módszerrel

A mérés elméleti háttere

A minta és a kaloriméter egyszerre melegszik, ebben a felállásban az alábbi öszefüggés áll fenn a fajhőre.

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

Az előző módszertől jelentős eltérés, hogy ϵ' nem mérhető. Az egyik lehetőség, hogy az előző módszerben meghatározott ϵ' értékét használjuk fel. A második lehetőség, hogy elhanyagoljuk a kaloriméter és a minta közti hőmérséklet-különbséget - ez persze nagyobb hibát is fog okozni a számolásokban.

A számolások, levezetések hasonlítanak előző módszernél látottakhoz.

A mérés menete és a mért adatok

Előszakasz gyanánt néhány percig rögzítjük a beálló hőmérsékletet. Elkezdjük felfűteni a kaloriméter-minta rendszert, ΔT_{fel} hőmérséklet-emelkedést követően leállítjuk a fűtést és további $10 - 15$ percig rögzítjük az adatokat.
A mérésre vonatkozó adatok:

- A környezet hőmérséklete : $T_k = 21.328°C \pm 0.0005°C$
- A fűtés kezdete : $t_{fel} == 2.201 min \pm 0.0005 min$
- A fűtés vége : $t_{vege} = 4.459 min \pm 0.0005 min$
- A hőmérséklet-emelkedés : $\Delta T_{fel} = 3.263°C \pm 0.0005°C$

Kiértékelés és hibaszámítás

A rendszer lecsengését leíró együttható:

$$\epsilon_0 = 0.07761684 \frac{1}{min} \pm 0.000326 \frac{1}{min}$$

A rendszerrel közölt hő:

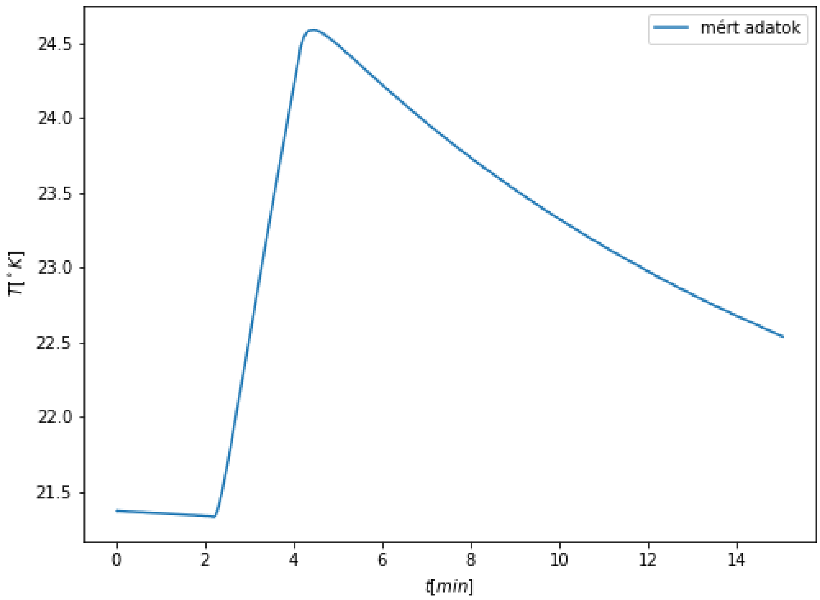
$$Q = \frac{U_f^2}{R} \cdot (t_{vege} - t_{fel}) = 76.1914225 J \pm 0.162848 J$$

A korrigált hőmérséklet:

$$T^* = 23.8984°C \pm 0.0085°C$$

A beejtéses módszer ϵ'-jével T_m^*:

$$T_m^* = T_k + \frac{\epsilon'}{\epsilon' - \epsilon_0} \cdot (T^* - T_k) = 24.942806°C \pm 0.0026°C$$



Mért adatok az együtt fűtéses módszer során

Végül a fajhő értéke és hibája:

$$c = 938.255246 \frac{J}{kg°C} \pm 9.82593 \frac{J}{kg°C}$$

Hőátadási tényezők

A h és k hőátadási együtthatók az alábbi módon számolhatók ki.

$$h = \epsilon_0 \cdot v$$
$$k = \epsilon \cdot \epsilon' \cdot \frac{\omega}{\epsilon_0} = \epsilon' \cdot c \cdot m$$

amennyiben $\epsilon \approx \epsilon_0$ és $\omega = c \cdot m$.

A környzet és a kaloriméter között

A kaloriméter vízértékénél számolt ϵ-nal:

$$h = 2.499766 \frac{J}{°C \cdot min}$$

Az együtt melegítéses módszernél számolt ϵ-nal:

$$h = 1.812871 \frac{J}{°C \cdot min}$$

Együttesen:

$$h = 2.156319 \frac{J}{°C \cdot min} \pm 0.343447 \frac{J}{°C \cdot min}$$

A minta és a kaloriméter között

A beejtéses módszernél számolt ϵ-nal:

$$k = 8.623608 \frac{J}{°C \cdot min}$$

Az együtt melegítéses módszernél számolt ϵ-nal:

$$h = 8.104723 \frac{J}{°C \cdot min}$$

Együttesen:

$$h = 8.364165 \frac{J}{°C \cdot min} \pm 0.259442132 \frac{J}{°C \cdot min}$$

Diszkusszió

A beejtéses módszer exponenciális illesztése rontott az eredmények minőségén. Az együtt melegítéses módszer esetén pedig nem állt be teljesen az egyensúlyi hőmérséklet az előszakaszban, illetve nem csengett le elég ideig az utószakasz. Mindkettő a mérési adatok minőségéből ered. A hőátadási együtthatókban többek között ezért van ekkora eltérés - ezt az eltérést pedig nagyrészt a fajhő okozza.

A fajhő relatív hibája nagy, az előbbi bekezdés miatt. Ezen kívül a hibahatárok megfelelőek.

Felhasznált irodalom

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