

# JEGYZŐKÖNYV

## KLASSZIKUS FIZIKA LABORATÓRIUM

---

### 06. MÉRÉS - FÁZISÁTALAKULÁSOK VIZSGÁLATA

---



- Mérést végezte : Brindza Mátyás
- Mérést végző Neptun-azonosítója: Z2R8XS
- Jegyzőkönyv leadásának időpontja : 2021.08.31.

## A mérés célja

A mérés során egy minta hőmérsékletét mérjük. A hőmérsékletet lineárisan növeljük, ám a minta nem egészen követi ezt - megfigyelhetjük a **fázisátalakulás** jelenségét. A cél az, hogy meghatározzuk, mekkora hőmérsékleten játszódik le a fázisátalakulás (**olvadáspont**, **fagyáspont**-dermedés), és mekkora **hőmennyiséget** követel.

## Mérőeszközök

- Minta
- DTA (Differential Thermal Analysis)
  - Mintatartó
  - Környezet (állandó hőmérsékletű tömb)
  - Kályha
  - Kályhaszabályzó
  - Beépített hőmérők
- Mérleg

A DTA berendezés figyelemmel kíséri a referencia mintatartó és a mintatartó hőmérsékletét. E két mért hőmérséklet különbsége nagy jelentőséggel bír - a két rendszer majdnem kizárólag annyiban különbözik, hogy egyikben fázisátalakulás játszódik le, a másikban nem. Esetünkben a DTA berendezés egy egyszerűsített változatát használjuk, nincs referencia mintatartó.

## A mérés elméleti háttere

Használjuk az egy-test modellt, ez közelítőleg elég jó eredményhez vezet. Azaz tételezzük fel, hogy a minta és a mintatartó között tökéletes hőkontaktus van, így hőmérsékletük azonos.

A mérés során véghez viszünk **hűtést** is és **fűtést** is.

Kezdeti állapotban a környezet és a minta-mintatartó rendszer termikus egyensúlyban van. A környezet időben lineáris melegítését megkezdve a minta-mintatartó rendszer hőmérséklete egy rövid exponenciális szakasz után egy, a környezet hőmérsékletének időfüggését leíró egyenessel párhuzamos egyenest követ. Azaz a minta-mintatartó rendszer hőmérséklete mindig "le van maradva" egy kicsit a környezethez képest. Ezt az egyenest nevezzük **alapvonalnak**.

Egy bizonyos hőmérsékleten a minta-mintatartó rendszer hőmérséklete hirtelen állandósul. Ekkor a minta-mintatartó rendszerrel közölt hő jó része a fázisátalakulásra, azaz az **olvadásra** fordítódik.

A fázisátalakulás befejeztével a minta-mintatartó rendszer hőmérséklete exponenciálisan tart az alapvonalhoz. Erre logikus magyarázat a Newton-féle lehűlési törvény : minél nagyobb a minta-mintatartó rendszer és a környezet hőmérséklete közti különbség, annál nagyobb hőmennyiség áramlik át időegységenként.

Az olvadáspont leolvasható, mint az alapvonaltól való eltérésnél mért hőmérséklet. A kályha által leadott hőmennyiség meghatározható, mint a kályha ( $T_k$ ) és minta-mintatartó rendszer ( $T_m$ ) hőmérsékletének időfüggését leíró függvények közötti terület

a fázisátalakulás során.

$$\frac{dQ_h}{dt} = h \cdot (T_m - T_k)$$

ahol  $h$  az ún. hőátadási együttható. A kályha hőmérséklete így változik időben :

$$T_k(t) = T_o + \alpha \cdot t$$

Ha ábrázoljuk a  $T_m(t) - T_k(t)$  mennyiséget :

- A 0 időpillanatban 0 az értéke
- Az alapvonal egy vízszintes vonal lesz a negatív tartományban
- $T_m$  exponenciális tartása az alapvonalhoz megszokott (vízszintes asszimptota) exponenciális lecsengés lesz ( $\exp(-x)$ )
- A fázisátalakulási szakasz egy lefelé lejtő szakasz lesz
- $T_m$  újbóli exponenciális tartása az alapvonalhoz megszokott exponenciális lecsengés lesz ( $-\exp(-x)$ )

A  $T_m(t) - T_k(t)$  mennyiség mindenhol negatív lesz. A hőmennyiség és az alapvonal helyzetének meghatározásához célszerű bevezetni a következő jelöléseket:

- $m$  : a minta tömege
- $c$  : a minta fajhője (állandó nyomáson)
- $\omega$  : a minta hőkapacitása
- $v$  : a mintatartó hőkapacitása
- $q_f$  : az egységnyi tömegre vonatkoztatott fázisátalakulási hő
- $Q_f$  : a leadott vagy felvett fázisátalakulási hő

Így az alapvonal távolsága a  $t$  tengelytől (negatív irányba), azaz a névleges (fázisátalakulás nélkül konstans)  $T_m(t) - T_k(t)$ :

$$A = \frac{\alpha}{\epsilon_1}$$

ahol

$$\epsilon_1 = \frac{h}{v + m \cdot c}$$

A fázisátalakulási hőmennyiség meghatározásához  $T_m(t) - T_k(t)$ -től függő függvényt kell integrálni  $t_e$  és  $t_\infty$  között - ha  $t_e$ -kor kezdődik (majd  $t_v$ -kor végződik) a fázisátalakulás, és  $t_\infty$ -nél éri el a minta-mintatartó rendszer hőmérséklete az alapvonalat.

$$Q_f = m \cdot q_f = h \cdot \int_{t_e}^{t_\infty} [-(T_m(t) - T_k(t)) - A] dt$$

A kályha időfüggése és az alapvonal párhuzamos. Az alapvonal alatti terület azt követi, hogy a felvett hőből mennyit használna melegedésre a minta-mintatartó rendszer, ha nem játszódna le fázisátalakulás. Tehát a  $T_m(t)$  és az alapvonal közti terület lesz a fázisátalakulásra fordított hő.

Hűtés során is hasonlóképpen határozható meg a fázisátalakuláshoz, azaz a **dermedés**hez tartzó hőmérséklet és a hőmennyiség. Itt fellép a **túlhűtés** jelensége is. Túlhűtés

során a minta hőmérséklete a dermedési hőmérséklet alá megy, miközben nem történik fázisátalakulás. Egy ponton hirtelen megintdul a dermedés, ekkor a minta hőmérséklete felszökik a dermedési hőmérsékletig, majd lejátszódik a fázisátalakulás. Ezután a minta hőmérséklete a fűtés esetéhez hasonlóan exponenciálisan fog tartani az alapvonalhoz.

## Előzetes mérési adatok összefoglalva

A minta jelzése : "1"-es

A minta tömege :  $m = 1.1884g \pm 0.0005g$

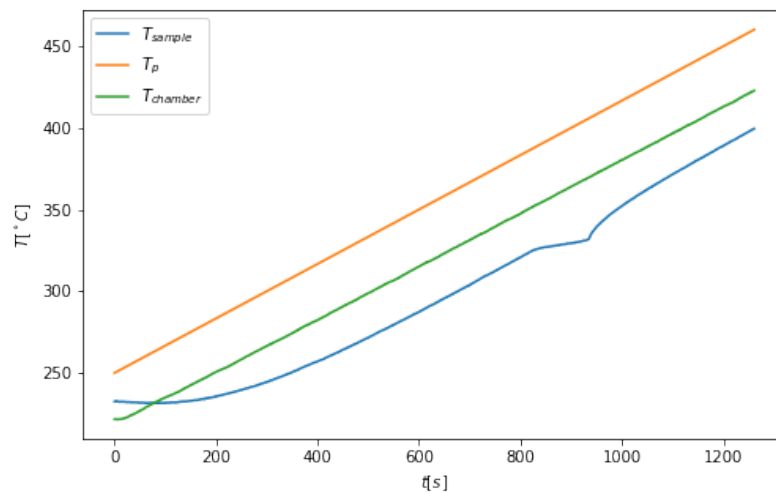
A hűtés / fűtés intervalluma és sebessége:

- Gyors fűtés :  $(250 - 480) ^\circ\text{C}$  ;  $v = 10^\circ\text{C}/\text{perc}$
- Gyors hűtés :  $(450 - 220) ^\circ\text{C}$  ;  $v = -8^\circ\text{C}/\text{perc}$
- Lassú fűtés :  $(250 - 480) ^\circ\text{C}$  ;  $v = 8^\circ\text{C}/\text{perc}$
- Lassú hűtés :  $(450 - 220) ^\circ\text{C}$  ;  $v = -5^\circ\text{C}/\text{perc}$

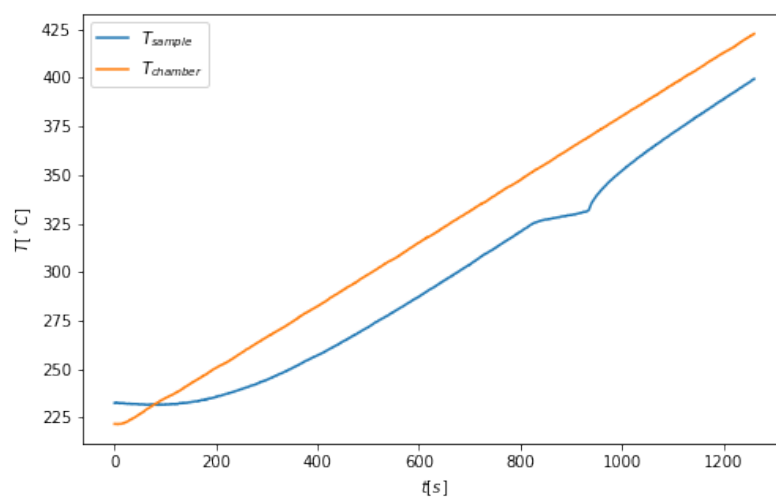
# Gyors fűtés

## Mérési adatok

Az alábbi ábrák mutatják a laborban digitálisan rögzített adatokat.



Az összes mért hőmérséklet időbeli fejlődése



A kályha és a minta hőmérsékletének időbeli fejlődése

$$v = 10^{\circ}C/perc$$

## Kiértékelés

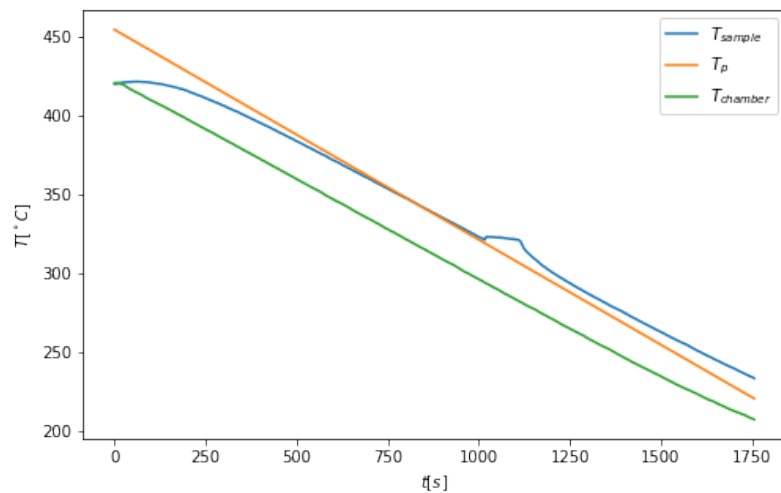
$$T_{futes}^{gyors} = 325.1659^{\circ}C \pm 0.00005^{\circ}C$$

$$F_{futes}^{gyors} = 1388.326022^{\circ}C \cdot s \pm 13.031513^{\circ}C \cdot s$$

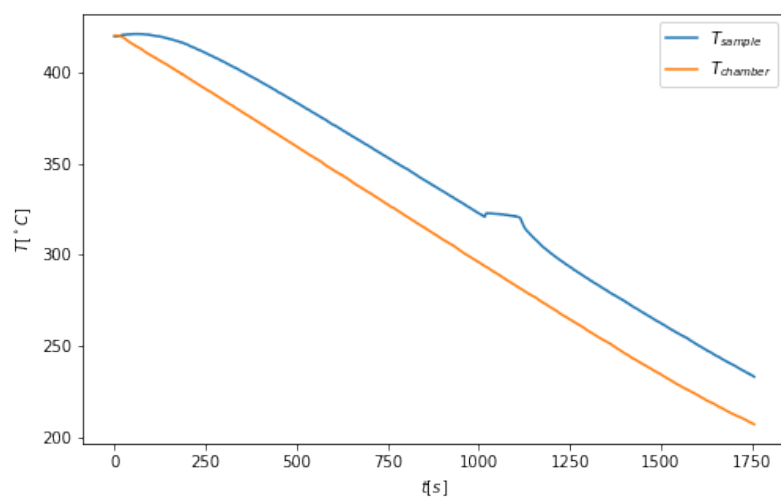
# Gyors hűtés

## Mérési adatok

Az alábbi ábrák mutatják a laborban digitálisan rögzített adatokat.



Az összes mért hőmérséklet időbeli fejlődése



A kályha és a minta hőmérsékletének időbeli fejlődése

$$v = -8^{\circ}C/perc$$

## Kiértékelés

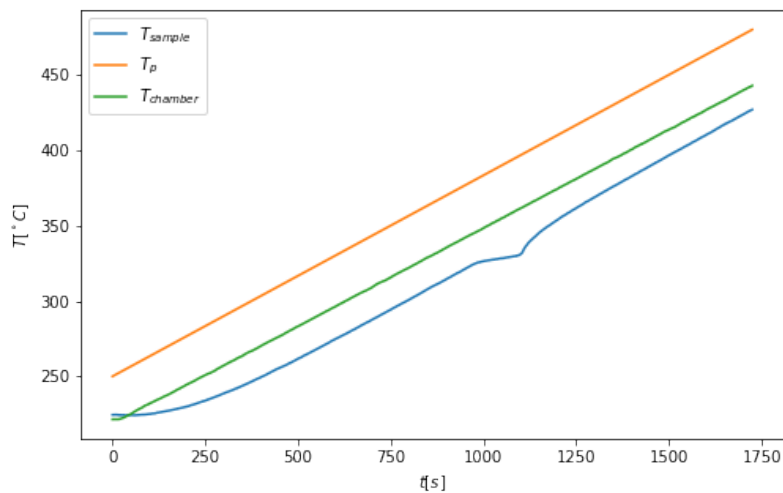
$$T_{hutes}^{gyors} = 322.8921^{\circ}C \pm 0.00005^{\circ}C$$

$$F_{hutes}^{gyors} = 1388.326022^{\circ}C \cdot s \pm 19.284218^{\circ}C \cdot s$$

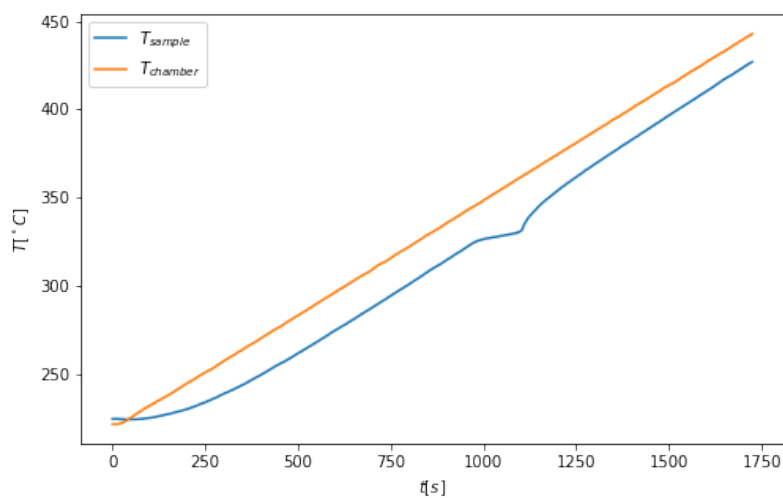
## Lassú fűtés

### Mérési adatok

Az alábbi ábrák mutatják a laborban digitálisan rögzített adatokat.



Az összes mért hőmérséklet időbeli fejlődése



A kályha és a minta hőmérsékletének időbeli fejlődése

$$v = 8^{\circ}C/perc$$

### Kiértékelés

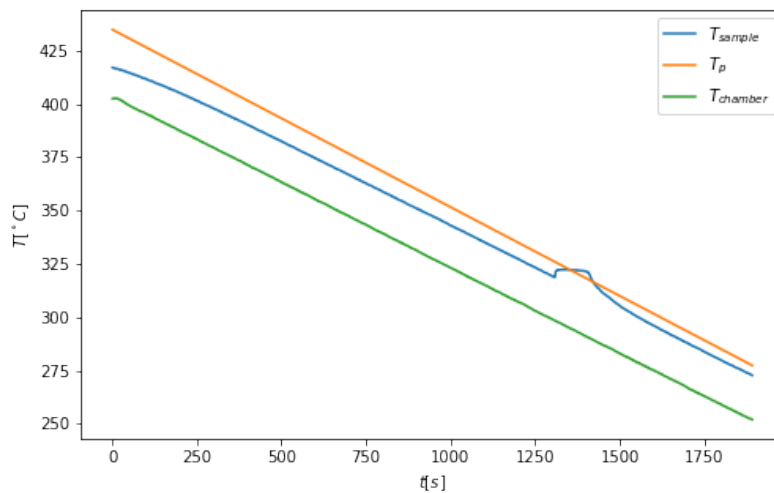
$$T_{futes}^{lassu} = 325.111^{\circ}C \pm 0.00005^{\circ}C$$

$$F_{futes}^{lassu} = 1095.766174^{\circ}C \cdot s \pm 3.000042^{\circ}C \cdot s$$

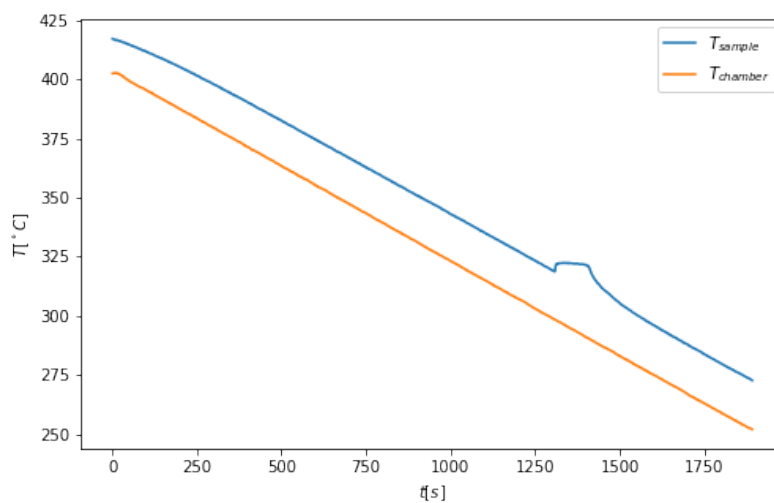
# Lassú hűtés

## Mérési adatok

Az alábbi ábrák mutatják a laborban digitálisan rögzített adatokat.



Az összes mért hőmérséklet időbeli fejlődése



A kályha és a minta hőmérsékletének időbeli fejlődése

$$v = -5^{\circ}C/perc$$

## Kiértékelés

$$T_{hutes}^{lassu} = 322.257^{\circ}C \pm 0.00005^{\circ}C$$

$$F_{hutes}^{lassu} = 1318.43041^{\circ}C \cdot s \pm 16.45816^{\circ}C \cdot s$$



*Megjegyzés:* A fázisátalakuláshoz tartozó hőmérsékleteket az ábrák releváns részeinek nagyításával találtam meg. Az  $F$  értékeket pedig a megfelelő adatsorok interpolálásával és numerikus integrálásával kaptam.

## A fázisátalakulási hő kiszámítása

A hőátadási együttható:

$$h = 0.747 \frac{J}{^{\circ}C \cdot min} \pm 0.005 \frac{J}{^{\circ}C \cdot min}$$

A felvett fázisátalakulási hőmennyiségek:

$$Q_{futes}^{gyors} = 14.44432173 J \pm 0.258924 J$$

$$Q_{hutes}^{gyors} = -17.28465898 J \pm 0.04654 J$$

$$Q_{futes}^{lassu} = 13.64228886 J \pm 0.253556 J$$

$$Q_{hutes}^{lassu} = -16.41445868 J \pm 0.0523731 J$$

A fajlagos fázisátalakulási hőik:

$$q_{futes}^{gyors} = 7666.837436 J/kg \pm 137.6368 J/kg$$

$$q_{hutes}^{gyors} = -9174.4474447 J/kg \pm 24.4637 J/kg$$

$$q_{futes}^{lassu} = 7241.1299733 J/kg \pm 134.77614 J/kg$$

$$q_{hutes}^{lassu} = -8712.5576891 J/kg \pm 27.56768 J/kg$$

*Megjegyzés:* Az alábbi képletekkel számoltam a hibákat.

$$\frac{\Delta Q}{Q} = \frac{\Delta h}{h} + \frac{\Delta F}{F}$$

$$\frac{\Delta q}{q} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta Q}{Q}$$

Végül a minta oldvaspntja és fajlagos fázisátalakulási hője:

$$T_m^o = 323.8565^{\circ}C \pm 1.5995^{\circ}C$$

$$q = 8198.74313 J/kg \pm 975.704308 J/kg$$

## Diszkusszió

A relatív hibákat szemügyre véve sikeresnek mondható a mérés. Megjegyzendő, hogy hűtés estén nagyobb hőket is kaptunk, jóval nagyobb hibával, fűtés esetén viszont az olvaspnttra jött ki magasabb érték.

A minta olvasási hőmérséklete nagyjából azonos a kádmiúméval és az óloméval. Mivel mindkét fém többé-kevésbé mérgező, feltételezhetően a minta valamilyen nem mérgező fémek ötvözetből áll.

## **Felhasznált irodalom**

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