

Korszerű vizsgálati módszerek labor jegyzőkönyv

Meissner-effektus mérése

CSÖRNYEI GÉZA

Eötvös Loránd Tudományegyetem
Fizika BSc III. évfolyam



'C' mérőcsoport

Mérés dátuma: 2018.04.26.

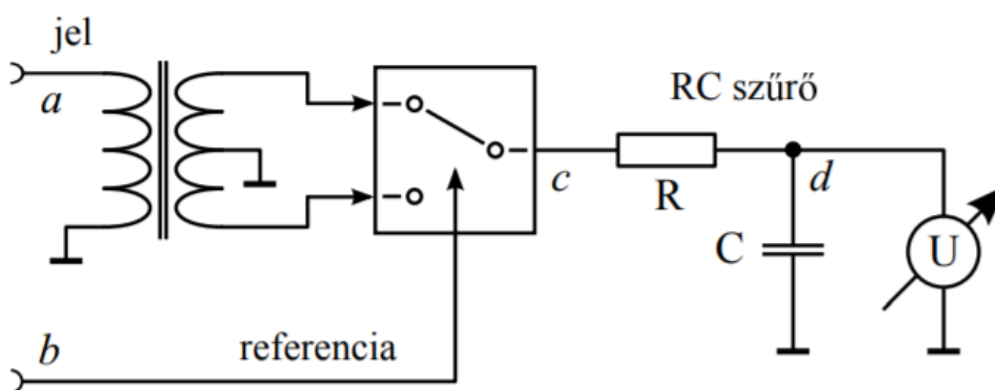
Mérés vezetője: Dankházi Zoltán

1. Bevezetés

Mérésünk során megvizsgáltuk a szupravezető anyag esetében fellépő Meissner-effektust, majd meghatároztuk az anyag szuszceptibilitását. A laborgyakorlat során megismerkedtünk a lock-in műszer működésével és használatával, melyre a mérés érzékenységének növeléséhez és a zaj hatásának csökkentésére, vagyis a zaj által fedett jelek megjelenítéséhez volt szükség.

2. Méréshez használt eszközök

A mérésünkhöz használt eszközök közül a legfontosabb a lock-in berendezés volt, melynek lényege, hogy nagyon szűk sáv szélességű tartományt mérve csökkenti a zajt, valamint növeli az érzékenységet. Ezt olyan módon éri el, hogy csak egy a rá adott referenciajel frekvenciáján érkező bemeneti jelek maradnak meg a hosszú időre vett átlagban, a többi jel eltűnik. A műszer elméletének ismertetése megtalálható [1]-ben. A műszer kapcsolási rajza a 1. ábrán látható.



1. ábra. A lock-in műszer kapcsolási rajza

A lock-in műszerre a referenciajelet egy frekvenciagenerátor segítségével adtuk. Ezen frekvenciagenerátor segítségével adtunk feszültséget a mérőfejre is, melynek mintát tartalmazó részét egy folyékony nitrogén által hűtött tartályba helyeztünk. A feszültséget DVM-el mértük, az adatok kimentését pedig számítógéppel végeztük. A mérési összeállítás megtalálható [1]-ben.

3. Elméleti összefoglaló

Szupravezetőnek nevezzük azon anyagokat, melyeket egy rájuk jellemző, kritikus hőmérséklet alá hűtve azok ellenállás gyakorlatilag nulla lesz. A Meissner-effektus lényege, hogy a kritikus hőmérséklet alá történő hűtés esetén a szupravezető anyagban eredetileg mérhető mágneses tér kiszorul belőle, vagyis az anyagban a mágneses indukció nulla lesz. Ekkor az anyag tökéletes diamágnes lesz, vagyis

szuszeptibilitása $\chi = -1$ lesz. Ez azonban csak ideális esetben történik így, mivel az anyagnak csak egy része válik ténylegesen szupravezetővé. A minta szuszeptibilitását az összeállításban látható tekercseken mérhető feszültség minta jelenléte miatti megváltozásából lehet számolni az alábbi képlet segítségével:

$$\frac{\Delta U}{U_0} = -\chi \frac{V_m}{V},$$

ahol U_0 a minta nélküli esetben mérhető feszültség, V_m a szupravezetővé váló minta térfogata, V pedig a minta teljes térfogata. Esetünkben utóbbi két adat értékét [2]-ből olvastuk ki: $V_m = (22 \pm 0.22) \text{ mm}^3$ és $V = (300 \pm 3) \text{ mm}^3$.

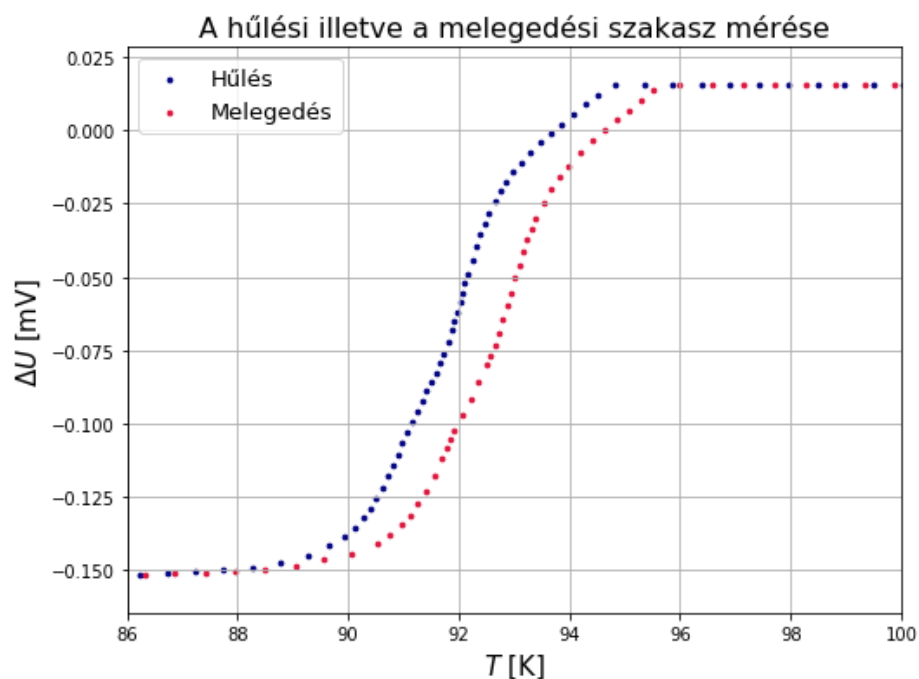
A mérés megkezdése előtt először össze kellett illesztenünk a mért és a referencia jel fázisát, hogy a legerősebb jelet kaphassuk. Az beállítás után mérhető feszültségekre még rátevődött a műszer által adott offset jel, amely az előbbi beállítás során hasznos volt, ezen értéktől azonban számításainkhoz először meg kellett szabadulni. Ennek elérése érdekében megmértük a feszültséget 0° és 180° -os fázistolás esetén, ekkor a kapott feszültségértékek egyikéből levonódott az offset feszültség, míg a másikhoz hozzáadódott (mivel az offset mindig egy irányba tolja a jelet, viszont a fázistolás előjelváltást eredményezett a bemeneti jelen, a differenciál erősítő miatt), így a két jel abszolútértékének összegeként megkaphatjuk a valódi bemeneti feszültségértéket. A két mért érték -6.095 mV és 5.418 mV volt, így az átlaguk, ezáltal a keresett feszültségérték

$$U_0 = -5.757 \pm 0.005 \text{ mV},$$

ahol a feszültségmérés hibájára a leolvasást és a beállítás bizonytalanságát figyelembe véve 0.1%-os hibát becsültem.

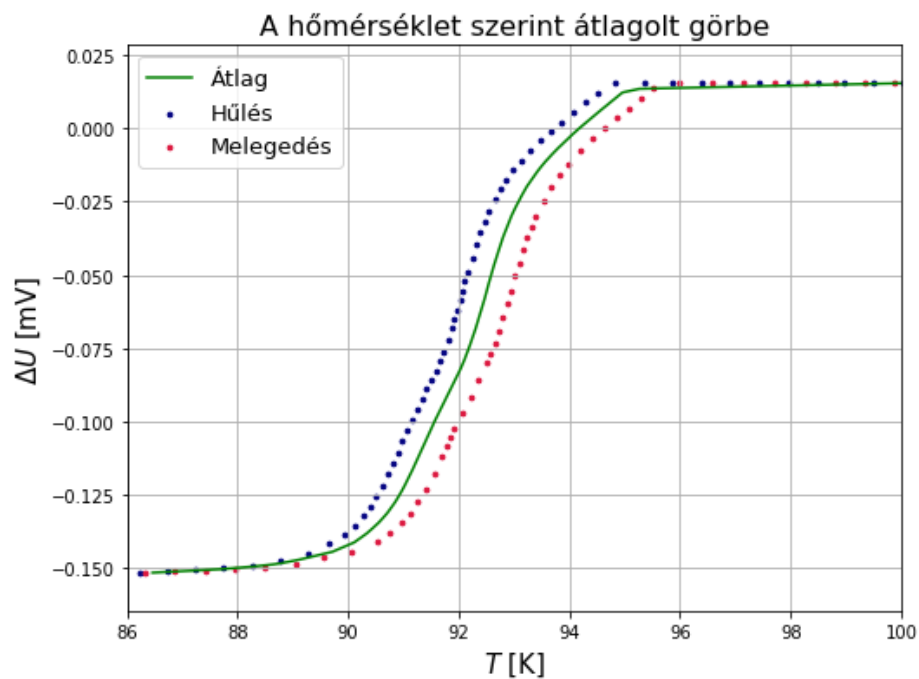
4. Kiértékelés

A kalibrálás elvégzése után behelyeztük a mintát a nitrogénnel megtöltött tartályba, majd elindítottuk a mérés. Két mérést végeztünk, az első során a minta kritikus hőmérséklet alá történő hűlésének folyamatát, a másodikban, miután feljebb emeltük a mintatartót a tartályban, a visszamelegedés folyamatát vettük fel. A mérés során a minta hőmérsékletét egy a mintatartóban levő platina hőmérővel mértük. A kapott adatfájl tartalmazta az eltelt időt, a hőmérsékletet (mely nem pontosan a minta hőmérséklete volt, lévén egy hőmérő saját hőmérsékletét méri, és a hőmérő nem pontosan a minta mellett volt), valamint a lock-in feszültséget. A hűlés és a melegedés során felvett feszültségértékeket a hőmérséklet függvényében a 2. ábrán ábrázoltam.



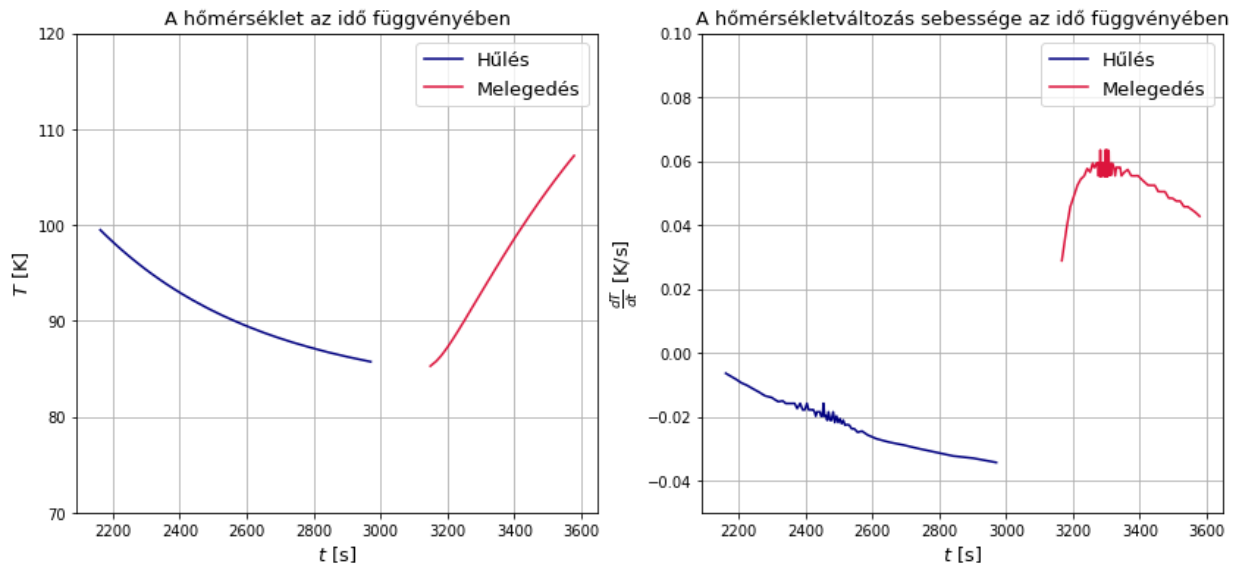
2. ábra. A mérés során kapott görbék

A kapott ábrákon jól látszik, hogy a görbéknek hiszterézise van, mely [1] alapján a mintatartó véges hővezetéséből származik. Ezen hiszterézis kikompenzálható az [1]-ben leírtak alapján, ha a két görbe hőmérséklet szerinti átlagát vesszük. Az átlagolással kapott görbe a 3. ábrán látható.



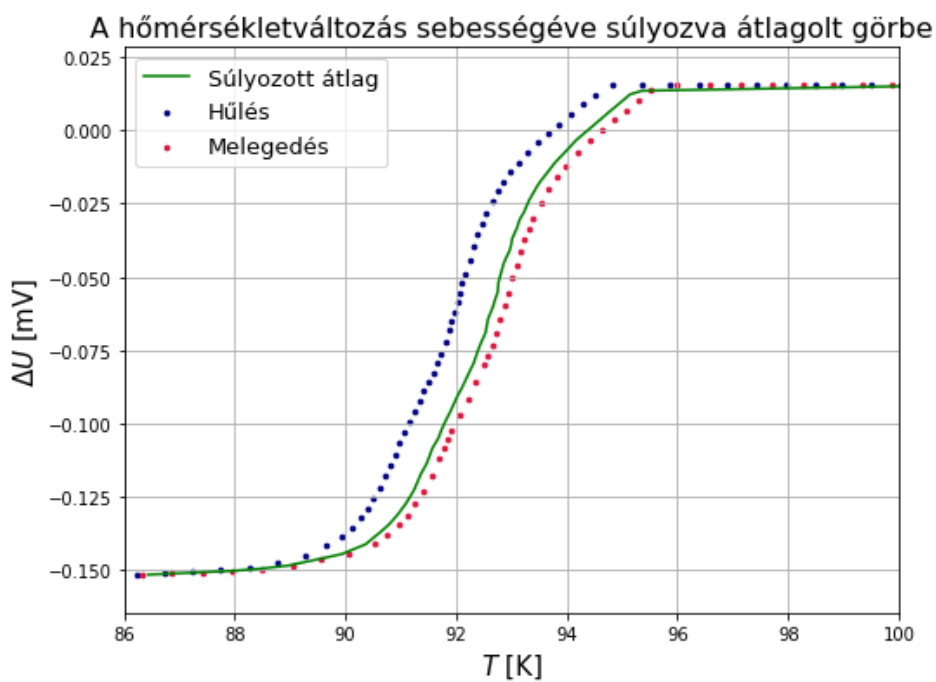
3. ábra. Az átlagolt görbe helyzete

Az így kapott görbe pontosságát az átalakulási sebességek figyelembevételével vizsgálhatjuk meg, mégpedig úgy, hogy az időadatokat segítségével képezzük a melegedési illetve hűlési sebességeket és megnézzük, hogy a fenti eltolásokból származó hiba milyen arányban áll a mérés hibájával. A hőmérséklet és a hőmérsékletváltozás időfüggését a 4. ábrán ábrázoltam.



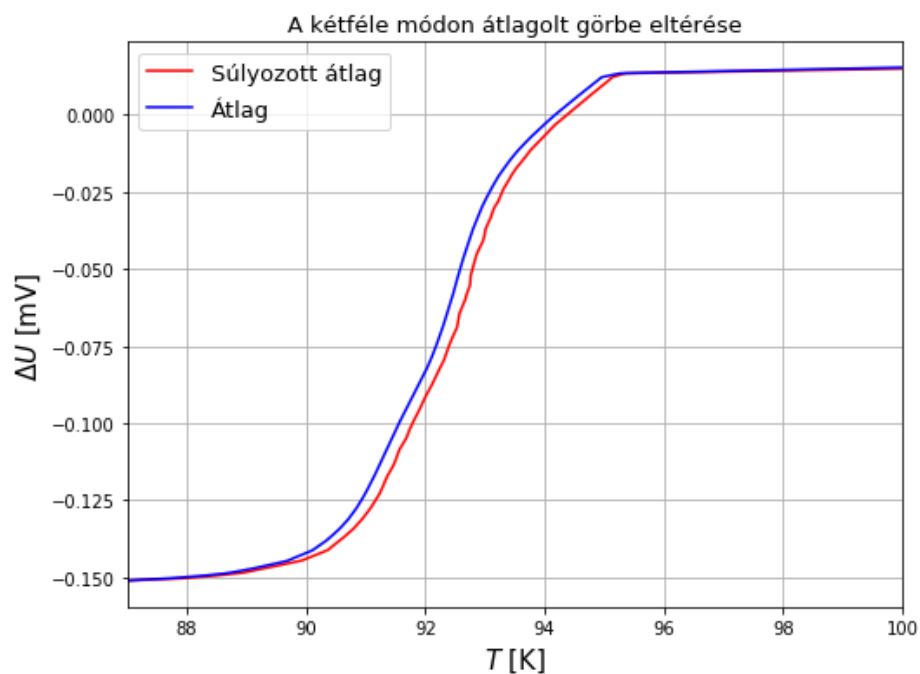
4. ábra. A hőmérséklet és annak változási sebességének időfüggése a hűlés és melegedés esetére

Ezt követően a hőmérsékletváltozás sebességének (annak abszolút értékének) megfelelő súlyokkal átlagoltam össze a hűlési és melegedési görbéket, a kapott görbe a 5. ábrán látható.



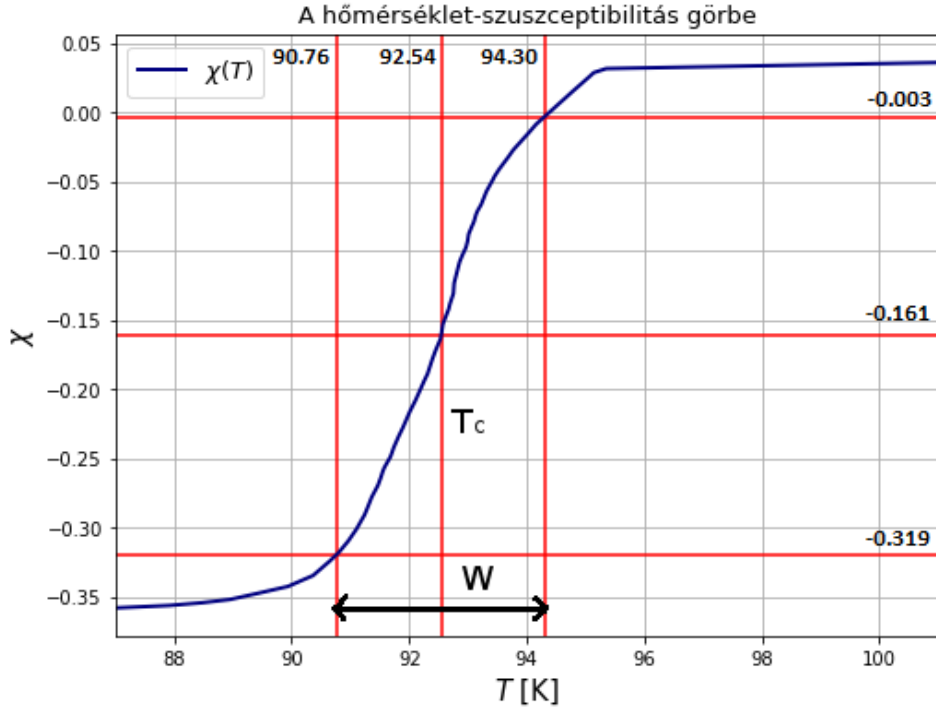
5. ábra. A hőmérsékletváltozás sebességére súlyozott átlaggörbe

Ha összevetjük ezen görbét a korábban, tisztán az átlagolással kapott görbével, akkor látható, hogy elég nagy az eltérés. A továbbiakban ezen görbével fogunk dolgozni, ezt használjuk fel a szuszeptibilitás meghatározására.



6. ábra. A két átlaggörbe eltérése

A fenti görbe segítségével ki tudjuk számolni a szuszeptibilitás hőmérsékletfüggését is. Ehhez a fenti képletet használtam, melybe behelyettesítettem az ismert, illetve számolt értékeket, így lényegében csak a lock-in feszültségeket kellett egy számolt konstanssal szoroznom, hogy megkapjam a szuszeptibilitás értékeket. Az így kapott hőmérséklet-szuszeptibilitás görbe a 7. ábrán látható.



7. ábra. A szuszeptibilitás hőmérsékletfüggése. Az ábrán bejelöltem a fázisátalakulás hőmérsékletét (T_c), az 50%-os szuszeptibilitásérték megkeresésével, valamint az átalakulás szélességét, a 10%-os, illetve a 90%-os szuszeptibilitásérték megkeresésével.

Az ábráról is leolvasható, hogy a minta szuszeptibilitása a fázisátalakulás után

$$\chi = -0.358 \pm 0.013$$

lesz, ahol a hibát mind a hőmérsékletmérés becsült hibája (≈ 0.5 K), mind a mérési statisztikus hiba (0.001 mV, melyet a fázisátalakulás utáni ΔU értékek szórásából állapítottam meg) figyelembevételével adtam meg. A kapott érték értelemszerűen nagyobb mint -1, ugyanis nem a teljes minta, csupán annak egy része vált szupravezetővé. A minta kritikus hőmérséklete az ábráról leolvashatóan

$$T_c = 92.54 \pm 0.5 \text{ K},$$

az átalakulás szélessége pedig

$$W = 3.54 \pm 0.01 \text{ K}.$$

5. Diszkusszió

Mérésünk során megismerkedtünk a Meissner-effektus méréséhez szükséges be-
rendezésekkel, megfigyeltünk egy anyag szupravezetővé történő alakulásának fo-
lyamatát, és meghatároztuk a szupravezető szuszceptibilitását, valamint kritikus
hőmérsékletét.

Hivatkozások

[1] : *Kiadott jegyzet:*

<http://atomfizika.elte.hu/kvml/docs/korszeruosszefuzott.pdf>

[2] : *Mérési információk:*

<http://austen.elte.hu/adatok/MEISNER/info.txt>

Mérési jegyzetre vonatkozó megjegyzések

A mérési leírással kapcsolatosan egy megjegyzéssel szeretnék élni: a hőmérséklet
változás sebességével való súlyozás szükségességét, illetve a hibaszámítás miben-
létét nem világította meg számomra kellőképpen a jegyzet, nem értettem milyen
hibaszámítási eljárás kellett volna ahhoz, hogy bebizonyosodjék, hogy a szimpla
átlaggörbe nem a legjobb leírása a fázisátalakulásnak. Hasznosnak érezném ezen
részhez a kívánt hibaszámítás részletezését, illetve azt, hogy milyen határ elérése
esetén szükséges a sebességekkel történő súlyozás.