

Mérési jegyzőkönyv:

Mágneses szuszceptibilitás mérése

(hétfői csoport)

Rakya Péter

2006. május 2.

1. Bevezetés

Ebben a mérési feladatban két minta mágneses szuszceptibilitását kellett kimérnem, egy Hall-szondát, egy nagyon pontos analitikai mérleget, egy integráló voltmérőt (fluxusmérő) és erős, homogén mágneses teret biztosító elektromágnest használva. A mérés a Hall-szonda kalibrációjával kezdődött, majd erőmérés segítségével meghatároztam a minták szuszceptibilitását. A mérés végén ellenőriztem, hogy alkalmas közelítéseket tettünk-e föl a mágneses térrel kapcsolatban. Az elméletből adódó görbék illesztése nem szolgált meglepetéssel, így nyugodtan mondhatjuk, hogy nem hanyagoltunk el semmilyen lényeges jelenséget. A mérés elvét, módszerét és a mérési összeállítást az [1] tankönyv ismerteti, a jegyzőkönyvben a mérési feladatok végrehajtását és kiértékelését fogom csak részletezni.

2. Mérési feladatok

A mérést a 7 A terhelhetőségű mágnessel, a belső mérőhelyen végeztem. A mágneses tér inhomogenitását a mozgatható Hall-szondával mértem, mérendő mintáim a 3-as és 5-ös rudak voltak, valamint a plexiüvegrúd.

3. A Hall-szonda kalibrációja

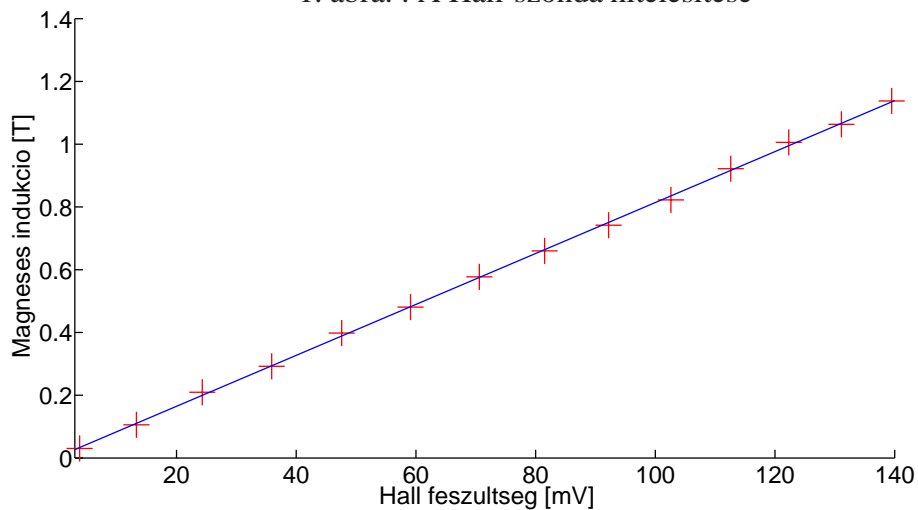
A jegyzet instrukciói szerint mértem az összetartozó fluxus és Hall-feszültség értékeket, a túlvezérlés elkerülése végett elég hamar méréshatárt váltottam. (Tájékoztatásul közlöm a DC tápegység leadott áramát is, a Hall-áram: $I_H = 5,00 \text{ mA}$.) A táblázat utolsó oszlopát a jegyzet által megadott összefüggés alapján számítottam ki:

$$B = \frac{\Phi}{n\bar{F}} \quad ,\text{ ahol: } n = 194 \quad \bar{F} = \frac{\pi}{3}(r_k^2 + r_k r_b + r_b^2)$$

valamint az értékek: $r_k = 4,8 \text{ mm}$ $r_b = 3,05 \text{ mm}$

DC tápegység árama (I) [A]	Hall-feszültség (U_H) [mV]	Fluxus (Φ) [mVs]	Indukció B [T]
0	3.8	0.29	0.0304
0.5	13.3	1.01	0.1058
1	24.3	2.00	0.2095
1.5	35.9	2.79	0.2923
2	47.6	3.8	0.3981
2.5	59.1	4.59	0.4809
3	70.6	5.51	0.5773
3.5	81.5	6.3	0.6600
4	92.2	7.08	0.7418
4.5	102.6	7.85	0.8224
5	112.6	8.8	0.9220
5.5	122.3	9.6	1.0058
6	131.1	10.15	1.0634
6.5	139.5	10.86	1.1378

1. ábra. : A Hall-szonda hitelesítése



Az ábrázolt pontokat és az illesztett egyenest az 1. ábra mutatja. Az egyenes meredeksége:

$$m = (8.1 \pm 0.1) \frac{\text{s}}{\text{m}^2} \quad (1)$$

Az $\frac{R_H}{d}$ állandó értékének meghatározása a Hall-áram ismeretében már könnyű:

$$\frac{R_H}{d} = \frac{1}{I_H \cdot m} = (24.6 \pm 0.5) \frac{m^2}{C} \quad (2)$$

A mérés hibáját az alábbi képletből számítottam:

$$\frac{\Delta \frac{R_H}{d}}{\frac{R_H}{d}} = \frac{\Delta \Phi}{\Phi} + \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta I_H}{I_H} = 2 \frac{\Delta r_b}{r_b} + \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta I_H}{I_H} = 0.021 \quad (3)$$

4. A Hall-szonda vizsgálata változó Hall-áram mellett

A DC tápegységből 4 A áramot szedtem ki, így biztosítottam közepes indukcióértéket a mágnespofák között. A Hall-áramot 5 mA-enként változtattam (a megengedett tartományon), és mértem az adódó Hall-feszültséget. Rövid számolással a 4 A áram melletti mágneses indukció $B = (0.742 \pm 0.002) T$ -nak adódott. Mérési adataim:

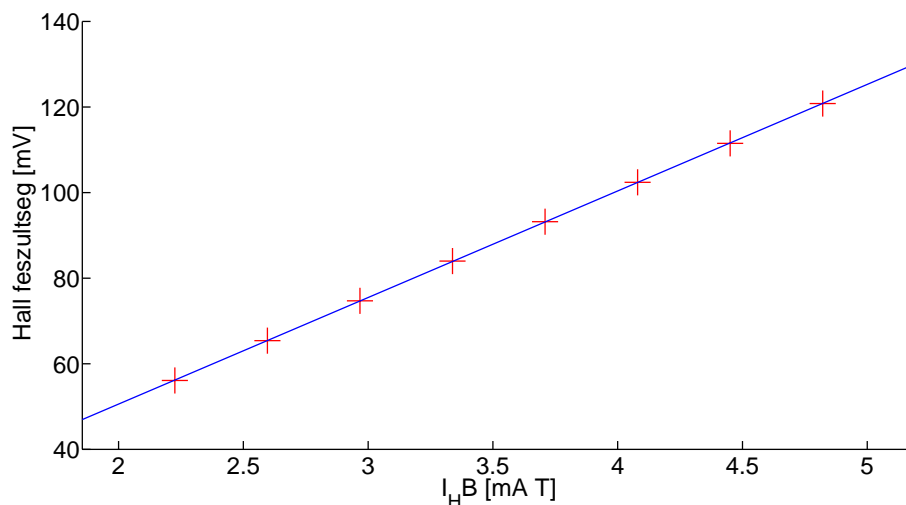
Hall-áram I_H [mA]	Hall-feszültség U_H [mV]
3	56.1
3.5	65.4
4	74.7
4.5	84.0
5	93.2
5.5	102.4
6	111.5
6.5	120.8

A 2. ábrán látható illesztésből:

$$\frac{R_H}{d} = (24.9 \pm 0.1) \frac{m^2}{C} \quad (4)$$

adódik, amelynek hibájába beleszámítottam már a szisztematikus hibát is. Ez az eredményünk nagyon pontosan egyezik az előző pontban kapott mérési eredménnyel, így azt a következtetést is levonhatjuk, hogy fluxusmérőnk kiválóan integrál.

2. ábra. : A Hall-szonda $I_H - U_H$ karakterisztikája



5. A minták geometriai adatainak mérése

A minták alapkörének átmérőjét csavarmikrométerrel mértem több helyen is. Az eredmények:

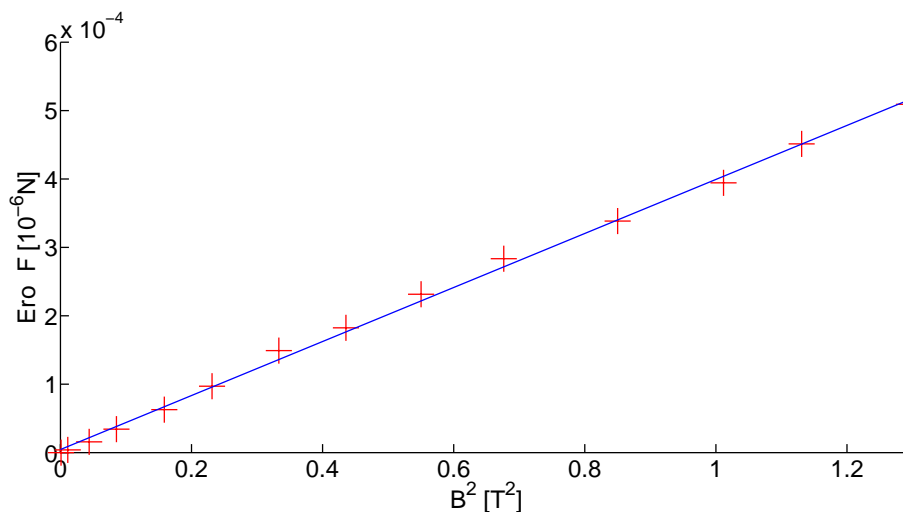
$$r_3 = (4.005 \pm 0.005) \text{ mm} \quad r_5 = (3.98 \pm 0.01) \text{ mm} \quad r_{plexi} = (3.995 \pm 0.005) \text{ mm}$$

$$A_3 = (50.4 \pm 0.1) \text{ mm}^2 \quad A_5 = (49.8 \pm 0.3) \text{ mm}^2 \quad A_{plexi} = (50.1 \pm 0.1) \text{ mm}^2$$

6. A szuszceptibilitás meghatározása

A mérlegből lelógó kampóra akasztott mintát a két mágnespofa közé lógtattam. Az áramot 0.5 A-es lépésekben növeltem mindkét esetben és leolvastam az összetartozó $U_H - \frac{F}{g}$ párokat. Az ábrázolást és illesztést a *Mathlab* programmal végeztem, így a származtatott B , B^2 , F értékek nem szerepelnek a táblázatban.(ezeket a program magának kiszámolta)

3. ábra. : 3-as minta

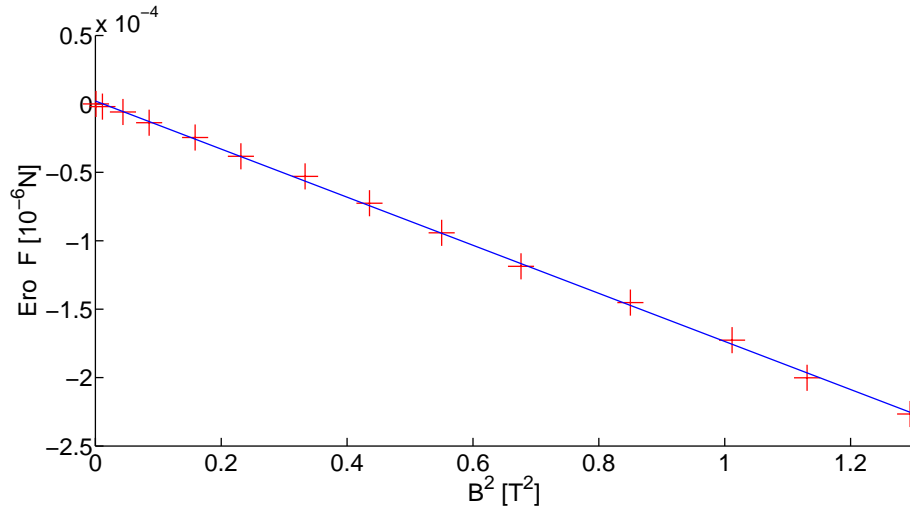


A 3. minta		Az 5. minta		Plexiüveg	
U_H [mV]	$\frac{F}{g}$ [mg]	U_H [mV]	$\frac{F}{g}$ [mg]	U_H [mV]	$\frac{F}{g}$ [mg]
3.7	0	3.8	0	3.9	0
13.3	0.4	13.3	0.7	13.2	-0.2
24.3	1.6	24.4	1.7	24.5	-0.6
35.8	3.5	35.9	2.6	35.9	-1.4
47.7	6.4	47.7	3.4	47.6	-2.5
59.1	9.9	59.2	3.8	59.2	-3.9
70.5	15.2	70.5	4.0	70.6	-5.4
81.4	18.6	81.3	3.8	81.5	-7.4
92.3	23.6	92.2	3.3	92.3	-9.6
102.6	28.9	102.4	2.6	102.6	-12.1
112.7	34.5	112.4	1.5	112.4	-14.8
122.2	40.2	122.5	0.35	122.5	-17.6
131.2	46.0	131.1	-1.0	131.0	-20.4
139.6	51.9	139.5	-2.2	139.4	-23.1

Megjegyezném, hogy mindkét esetben az áramot nullára csökkentve $\frac{F}{g} = (0.1 - 0.2)$ mg eltérést tapasztaltam a kalibrált értéktől. Ez valószínűleg a hiszterézis következménye. A jegyzet[1] szerinti illesztések a 3.,4. és az 5. ábrákon láthatóak.

Az illesztett egyenesek meredekségei:

4. ábra. : plexiüveg



$$M_3 = (390 \pm 10) \frac{\mu N}{T^2} \quad M_{plexi} = (-146 \pm 3) \frac{\mu N}{T^2}$$

A meredekségek mellett szereplő hibák mind statisztikus hibák, a szisztematikus hibával majd később foglalkozom. A jegyzetben[1] szereplő képlet alapján könnyen kiszámíthatók a szuszceptibilitásértékek:

$$\kappa = \kappa_0 + \frac{2\mu_0 M}{A} \quad (5)$$

Valamint a szuszceptibilitás hibája:

$$\frac{\Delta\kappa}{\kappa} = \frac{\Delta M}{M} + \frac{\Delta A}{A} + 2\frac{\Delta B}{B} = \frac{\Delta M}{M} + \frac{\Delta A}{A} + 2\frac{\Delta m}{m} + 2\frac{\Delta U_H}{U_H} \quad (6)$$

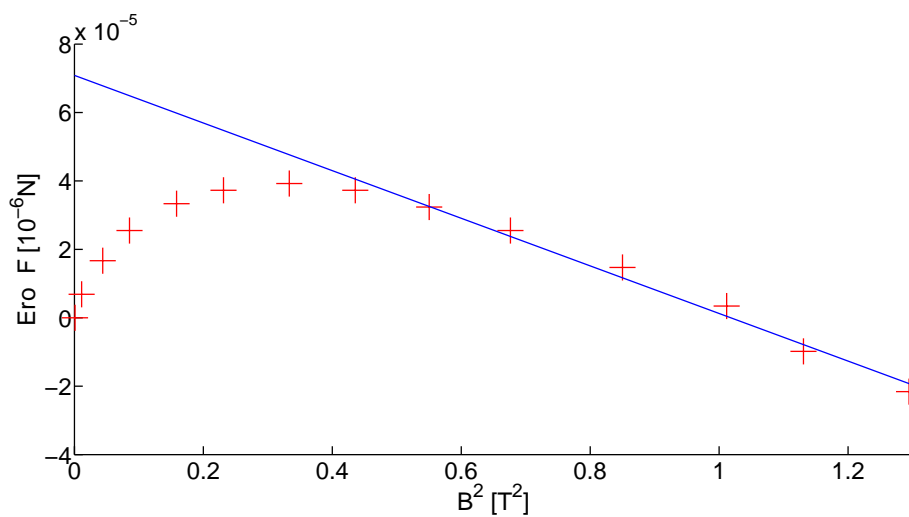
Ezekből:

$$\kappa_3 = (2.00 \pm 0.08) 10^{-5}$$

$$\kappa_{plexi} = (3.8 \pm 0.1) 10^{-7}$$

Az 5. ábra egy kicsit furcsa erőfüggésről tanúskodik. Több mint valószínű, hogy a minta anyagának szuszceptibilitása erősen függ a külső tértől. Egyenes illesztésével csak az adatsor vége felé lehet próbálkozni, és ott is csak becsukott szemmel. Mindenesre az illesztett egyenes meredeksége:

5. ábra. : 5-ös minta



$$M_5 = (-700 \pm 100) \frac{\mu N}{T^2}$$

Ebből a szuszceptibilitás az előzőekhez hasonló módon kiszámolva, csupán információs jelleggel (ezért a hibaszámolást is nélkülözöm):

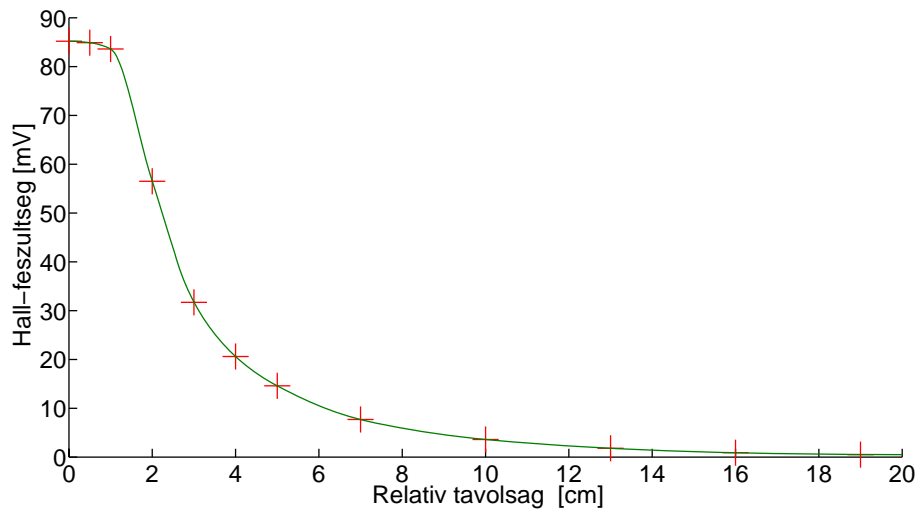
$$\kappa_5 = 3.8 \cdot 10^{-7} \quad (7)$$

7. A mágneses erőtér kvalitatív jellemzése

A külső Hall-szondát a lehető legmélyebbre toltam a mágnespofák közti részbe, majd kifelé haladva vettem fel a mérési pontokat. Mérési adataim:

A szonda relatív helyzete [cm]	A Hall-feszültség (U_H) [mV]
0	85.2
0.5	84.9
1	83.6
2	56.5
3	31.7
4	20.6
5	14.6
7	7.7
10	3.6
13	1.8
16	0.9
19	0.5

6. ábra. : A mágneses tér



A 6. grafikonból rögtön megállapítható, hogy mind a homogenitás feltételezése, mind a szórt tér elhanyagolása jogos volt, így a mérés kiértékeléséhez a megfelelő közelítéseket tartalmazó elméleti képleteket használtuk.

8. Összefoglalás

A mérés elején kalibráltam a későbbi mérőeszközünket, a beépített Hall-szondát. Két módszerrel is meghatároztam az eszközt jellemző $\frac{RH}{d}$ állandót; mindkét esetben ugyanazt az eredményt kaptam. Mind az alumínium, mind a réz minta szuszceptibilitását megmértem nagy pontossággal, majd a mérés végén megvizsgáltam, hogy a mágneses térre vonatkozó feltételezéseink helytállóak voltak-e. A mérés összetett bevezető volt a szuszceptibilitás-mérések világába.

Hivatkozások

[1] Havancsák Károly: *Mérések a klasszikus fizika laboratóriumban*