Korszerű mérési módszerek laboratórium

Atommagok mágneses momentumának mérése

Mérési jegyzőkönyv

Rudolf Ádám

Fizika BSc., Fizikus szakirány

Mérőtársak: Kozics György, Laschober Dóra, Májer Imre

Mérésvezető: Csorba Ottó

Mérés időpontja: 2011. április 5.

Leadás időpontja: 2011. április 28.

1. Elmélet és mérési összeállítás

A laborgyakorlat során proton, és fluor atommag mágneses momentumát vizsgáltuk, és elvégeztük az ehhez szükséges méréseket. Vizsgáltuk továbbá a mérés során felmerülő hibaforrásokat és a használt mágneses tér homogenitását.

Egy mágneses momentummal rendelkező atommag E_0 nívója külső mágneses tér hatására a következőképpen hasad fel.

$$E(m) = E_0 + g\mu_{mag} H_0 m$$

ahol g az atommag úgynevezett g-faktora, μ_{mag} pedig a magmagneton. A (közel) homogén, sztatikus mágneses térre (H_0) merőlegesen alkalmazunk egy sinusos perturbáló teret, aminek köszönhetően a mag vált a két szomszédos állapot között. Felírhatjuk ak övetkező egyenletet:

$$h\nu = g\mu_{mag} H_0$$

ahol ν a változó mágneses tér frekvenciája, a jobboldalon pedig az energia-változás áll. Ha az egyenlet teljesül, a frekvenciát rezonanciafrekvenciának nevezzük, és ekkor a minta a külső térből energiát nyel el, amit észlelni tudunk. Tehnikailag az az egyszerűbb módszer, ha állandó H_0 tér mellet a gerjesztő tér frekvenciáját lassan változtatva keressük meg az abszorpciót. Ezzel a módszerrel a fenti egyenletből meghatározható a vizsgált atommag g-faktora.

A H_0 teret egy többezer menetes elektromágnessel hoztuk létre, amin 0,8 A - 2.5 A áramot folyattunk. Ezt egy 25 Hz-es jellel megmoduláltuk, aminek amplitúdója 1-2%-a volt az eredeti áramnak. Ehhez a rezonancia megfigyelése miatt volt szükség.

A rezonanciát egy oszcilloszkóp segítségével mérjük. Ha megtaláltuk, H_0-at egy ballisztikus galvanométerrel mértük, ami egy, a maximális térből kb. nulla térbe kihúzott tekercsen átáramlott töltésmennyiséget méri, ebből meghatározható a tér nagysága. A frekvenciát egy különálló, antennálval elátott oszcillátor segítségével mérjük olyanképpen, hogy annak frekvenciáját változtatva a lebegést figyeljük az oszcilloszkópon. Elméletileg ha az egyik frekvencia tart a másikhoz, a lebegés periódusideje tart a végtelenhez, ezért a legnagyobb megtalált frekvenciánál olvassuk le a beállított értéket, és ezt tekintjük a rezonanciafrekvenciának.

A felhasznált képleteket és elméleti részleteket majd az alkalmazásukkor közlöm.

2. Proton g-faktorának mérése

Elsőként rézgálicos vizet tartalmazó mintatartót helyeztünk a tekercsek közé. A vízben található hidrogén protonjának g-faktorát határoztuk meg. Az *1. táblázat*ban láthatók a beállított áramerősségek (**I**), a hozzájuk tartozó mágneses terek (**H0**) és rezonanciafrekvenciák (**ν**) a hibákkal (ezek indoklását lásd a *4. pontban*). Beillesztettem továbbá a leolvasott jelnagyságokat is, amik igen pontatlanok, csak tájékoztató jellegűek, majd a fluor minta mérésénél lesz szerepük.

f (MHz)	Δf (MHz)	H0 (mT)	ΔH0 (mT)	I (A)	Jelnagyság
3,6	0,18	87	3,6	0,87	1,0
4,0	0,20	94	3,6	0,96	1,1
4,1	0,21	101	3,7	1,06	1,2
4,5	0,22	107	3,7	1,12	1,6
4,9	0,25	114	3,8	1,33	2,0
5,6	0,28	127	3,9	1,57	3,0
6,4	0,32	151	4,0	1,81	3,6
7,0	0,35	168	4,2	2,02	3,6
7,7	0,39	181	4,3	2,25	3,0
8,4	0,42	198	4,5	2,47	2,2

1. táblázat. Proton g-faktorának meghatározásához szükséges mért adatok a számolt hibáikkal, amiknek részletesebb kifejtését a 4. pontban írtam le.

A rezonanciafrekvencia egyenesen arányos a gerjesztő tér nagyságával:

$$\nu = \frac{g\,\mu_{mag}}{h} H_0$$

Így ha a ν rezonanciafrekvenciákra H_0 függvényében egyenest illesztünk, akkor h és μ_{mag} ismeretében kiszámolhatjuk g-t.

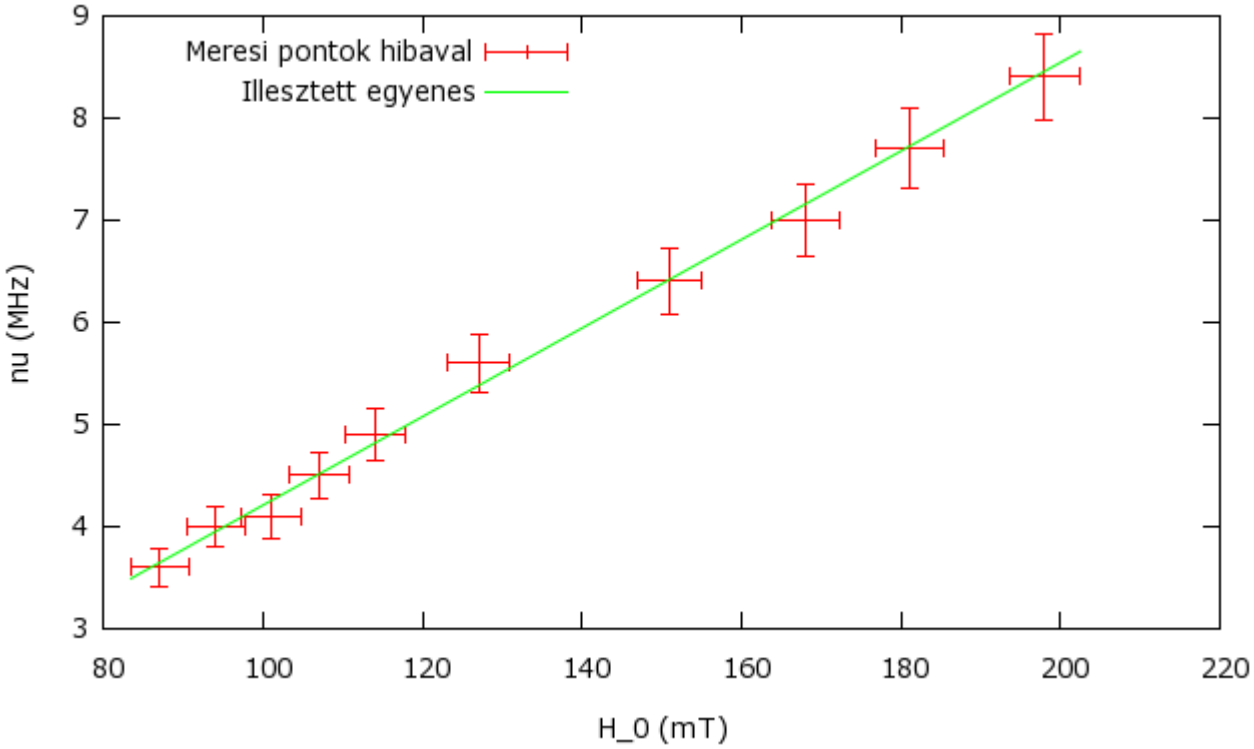
Az illesztést elvégeztem, a grafikont az *1. ábra* mutatja. Az egyenes meredeksége:

$$\frac{g\,\mu_{mag}}{h} = (0{,}0433 \pm 0{,}00090)\,\frac{MHz}{mT}$$

Ebből:

$$g = 5{,}7 \pm 0{,}12$$

Az irodalmi érték: $g_{irod} = 5{,}59$. Ez hibán belül van, így a mérést jónak tekintem.



1. ábra. Hidrogén g fakrotának meghatározása: rezonanciafrekvenciák a homogén, sztatikus tér függvényében, hibákkal és az ezt figyelembe vevő illesztett egyenessel.

3. Fluor g-faktorának meghatározása

A proton g-faktorának ismeretében már nem kell végigcsinálni az előző eljárást a fluor g-faktorának meghatározásához, ugyanis ismert a következő kifejezés:

$$\frac{\nu_F}{\nu_p}=\frac{g_F}{g_p}$$

Átrendezve:

$$g_F=\frac{\nu_F}{\nu_p}g_p$$

Az előző mérésnél feljegyeztük a jelnagyságokat is. Ez azért volt célszrű, mert most ezeken a helyeken mérünk a legjobb jel/zaj arány érdekében. Ez azért különösen szükséges ezen mérés esetében, mert a fluor csúcsa jóval kisebb a protonénál. Az előző mérések alapján ez 1,9 A - 2 A környékén teljesül. Így ezen a két helyen megmértük a proton és a fluor rezonanciafrekvenciáit is. Az eredményeket a *2. táblázat* tartalmazza.

I (A)	1,90	2,00
v_p (MHz)	7,015	7,286
v_F (MHz)	6,600	6,857
g	5,21	5,21

2. táblázat. Fluor g-faktorának meghatározása.

A két mérés két tizedesjegyre megegyezik, de a számolás során két frekvencia-értéket használtunk, amiknek egyesével 5%-os hibája van (lásd *4. pont*). Mivel ilyen esetben a relatív hiba összeadódik, ezért 10%-os hibávan számoltam. Összefoglalva:

$$g_F = 5{,}2 \pm 0{,}52$$

4. Hibaforrások

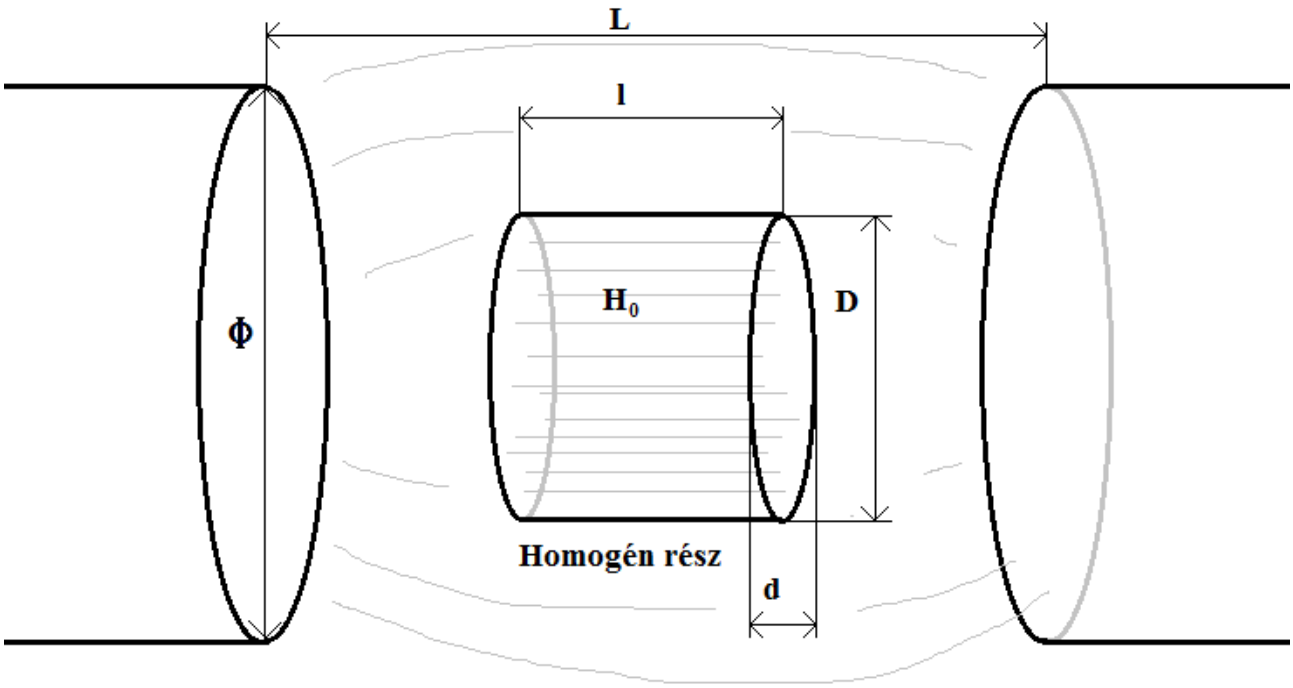
Alapvetően kétféle hibát különböztetünk meg: a szubjektív hibát, ami a mérést végző személytől függ, például leolvasási hiba, reakcióidőből eredő hiba, stb., és az objektív hibát, amit a mérőműszerek pontatlansága, és egyéb kiküszöbölhetetlen források okozhatnak, a mérést végzőtől függetlenül.

A mágneses tér mérésekor a következő hibaforrások merülhetnek fel. A ballisztikus galvanométerről a mutató mozgása közben kell leolvasnunk a maximális kitérését, ami becslésünk szerint 1 beoszutás, azaz 3,35 mT nagyságú. Ez a szubjektív hiba. Az objektív hibák ismertek: 0,01 mT kalibrációs, és maximum 5% mérőműví hiba. Ezek négyzetösszege lesz a mágneses tér hibája.

A frekencia mérésénél a következő hibaforrások léptek fel. A mérőműví hiba itt is 5%. A szubjektív hiba az, hogy mit veszünk pontosan a lebegési frekvenciának, hogy a digitális kijelzőről mit olvasunk le, ha annak utolsó számjegye mozog. Azonban ezek mind kHz nagyságrendűek, ami elhanyagolható a mérőműví hiba mellett.

Fontos megemlítendő még, hogy technikai okokból az általam használt program (GNUPLOT) csak *y* irányú hibák figyelembevételére képes egyenesillesztésnél. A bizonytalanságot úgy vettem figyelembe, mintha a két irányú relatív hiba összege jelenne meg *y* irányú relatív hibaként. Ezzel biztosan nem becsültem alá a hibát. Ennek ellenére az ábrán a rendes *x* és *y* irányú hibákat jelöltem.

5. A mágneses tér homogenitása



2. ábra. Az elektromágnes pofái, és a benne foglalt ellpiszis alapú hasáb formájú térrész, amin belül a mágneses teret homogénnek tekintjük.

Mivel az eddig leírt számolások homogén H_0 tér esetén igazak, nem közömbös, hogy tekinthetjük-e homogénnek a teret a mágnespofák között. Utolsó feladatként ennek a vizsgálatát kaptuk. Azonban nem triviális, hogy egyáltalán mit nevezünk homogén térnek, ugyanis egzaktul homogén tér nyilván nincs a valóságban. Mivel a berendezés hengeres, ezért a mágnespofák között egy henger formájú részben tekintjük a teret homogénnek. Ám mivel a minta nem pontszerű, az a térrész, ahol a mintát mozgathatjuk, egy ellipszis alapú hasábbal közelíthető. A laborban a csapat a következő kritériumokat állította fel:

Mikor megtaláltuk az abszorpciós csúcsot, a mérőfej mozgatásával megkerestük azokata határokat, ahol a csúcs nagysága 1 beosztásnyinál kisebbre csökken (kb. eddig megfigyelhető), vagy elmozdul a vízszintes tengelyen fél beosztásnyit (5 kHz eltérés, ami kb. a rezonanciafrekvencia ezredrésze a MHz nagyságrendű értékek miatt). Ha csak az egyik feltétel is teljesült, azt a homogén tér határának tekintettük.

A kapott értékek a mérés és számolás módjával (a jelölések világos módon leolvashatók a *2. ábráról*):

<u>*L* értéke:</u>

Egyszerű mérés alapján $L = 2{,}4$ cm

<u>*Φ* értéke:</u>

$\Phi = 10$ cm

<u>*l* számolása:</u>

A henger távolsága a bal vaspofától 4,5 mm, a jobb vaspofától 5 mm. Világos, hogy $l = L - (4{,}5 \text{ mm} + 5 \text{ mm}) = L - 9{,}5 \text{ mm} = 1{,}5$ cm

<u>*d* számolása:</u>

A határok: 25 cm - 21 cm = 4 cm. Mivel a mérőtekercsnek van egy kb. 1 cm-es kiterjedése, ezért: d = 5 cm.

<u>*D* számolása:</u>

Azonos indoklással: 41 cm - 36,5 cm = 4,5 cm, így $D = 5{,}5$ cm.

L és *Φ* értékek nagyjából pontosnak tekinthetők, kb. 1-2 mm hibával, azonban *l*, *d* és *D* értékek pontatlansága becslésem szerint 1 cm is lehet a sok lehetséges hibaforrás miatt, pl. nehezen hozzáférhető helyen kellett leolvasni az értékeket, vagy mert nagy volt a holtjátéka a mérőtekercset tartó állványnak.

Mindezeket tekintve saját definíciónk szerint a g-faktor méréseket biztosan homogén térben végeztük, és sikeresen feltérképeztük, hogy geometriailag ez hol tehető meg.