

# MÉRÉSI JEGYZŐKÖNYV

---

## 8. MÉRÉS – A MAG MÁGNESES NYOMATÉKÁNAK MÉRÉSE

LABORVEZETŐ: CSORBA OTTÓ

SZILVÁSI ÁDÁM, FIZIKA BSC  
MÉRŐTÁRSAK: MÁRTON ISTVÁN,  
SZIGLIGETI ATTILA  
MÉRÉS DÁTUMA: 2010. ÁPRILIS 15.  
LEADÁS DÁTUMA: 2010. JÚNIUS 10.

### 1) A MÉRÉS CÉLJA

A mérés célja a magrezonancia, illetve az elektronrezonancia jelenségével való megismerkedés, illetve az ehhez kapcsolódó alpmérések elvégzése.

### 2) A MÉRÉSI MÓDSZER

A magmágneses rezonancia egy olyan spektroszkópai módszer, amely az atommag mágneses momentumának és a sztatikus mágneses tér kölcsönhatásának révén felhasadt magnívók közötti átmeneteket vizsgálja. Ezek az átmenetek megfelelő rádiófrekvenciás elektromágneses sugárzás segítségével gerjeszthetők, így lehetőség nyílik a magok g-faktorának meghatározására. A jelenségen alapuló precíziós mérési eljárást felhasználhatjuk egy ismeretlen mágneses tér letapogatására is.

Ismeretes, hogy egy  $E_0$  energiájú nívó külső mágneses térben felhasad és az új energiaszinteket az mágneses kvantumszám határozza meg:

$$E(m) = E_0 + g\mu_{mag}H_0m,$$

ahol  $g$  az atommag g-faktora,  $\mu_{mag}$  pedig a magmagneton. Ha a sztatikus tér mellett egy olyan  $\nu$  frekvenciájú, harmonikusan változó perturbálóteret is alkalmazunk, melynek van  $H_0$ -ra merőleges komponense, két szomszédos nívó között átmenetek jöhetnek létre. Ennek feltétele a  $h\nu = \Delta E$  energiamegmaradást kifejező rezonancia-egyenlet:

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

Ez annak felel meg, hogy egy  $\nu$  frekvenciájú foton elnyelődik, vagy emittálódik. Az NMR-mérésben a sztatikus tér nagyságát változtatjuk a gerjesztő frekvencia függvényében, így a pontokra illeszkedő egyenes meredekségéből a g-faktor meghatározható.

A rezonancia homogén mágneses teret igényel, amit egy több ezer menetes, nagyméretű vasmagos tekercssel hozunk létre, 0.5 - 2 amperes egyenáramot átfolyatva rajta. Azért, hogy a rezonancia könnyebben észrevehető legyen, ezt az egyenáramot, és ez által a mágneses teret, moduláljuk: 25 Hz-es frekvenciával a mágneses teret értékének egy-két százalékával, szinuszos időfüggéssel változtatjuk.

A rezonanciajelenség miatt fellépő abszorpció mérésére ugyanazt a tekercset használjuk, mint amivel magát a rádiófrekvenciás gerjesztést létrehozuk. A tekercs oszcillátor kapcsolásba van kötve, ezen oszcillátor amplitúdójának csökkenése jelzi az abszorpciót. A rezonanciát oszcilloszkópon jelenítjük meg: a vízszintes tengelyen a homogén mágneses tér modulációját, a függőleges tengelyen pedig az oszcillátor által mért abszorpciót használjuk az elektronsugár eltérítésére. Amikor a homogén mágneses tér éppen eléri a rezonanciát (ezt az oszcillátor időben állandó frekvenciája határozza meg), az abszorpciós csúcs megjelenik az oszcilloszkópon. A mérésnél kétféle mintát használunk: protonrezonanciához rézgáliccal, mint paramágneses sóval kevert vizet, illetve fluor-rezonancia bemutatásához teflon mintát.

A rezonanciafrekvenciát egy rádióadó segítségével mértük ki: az adó antennáján a jelgenerátor által keltett jel és az oszcillátor által sugárzott jel csatolódik, és ha a két jel frekvenciája közeli, nagy periódusidejű lebegés jön létre, ami az oszcilloszkóp képernyőjén megfigyelhető. A mágneses tér értékét ballisztikus galvanométerrel mértük. Ennek működése a következő: ha a készülék mérőpalcáját a légrésből határozott mozdulattal kirántjuk, a nyugalmi indukció következtében az apró mérőtekercsben áram indukálódik, aminek időbeli integrálját mérjük. Ez arányos a légrésben mérhető mágneses térerősséggel, amit egy fénycsík kilendüléséből lehetett meghatározni: 1 egységhez  $3,35 \text{ mT}$  mágneses térerősség tartozott. Mivel a készülék nem tárolta el a maximális kilendüléshez tartozó értéket, a leolvasási hiba kb. 1 egység volt. A mérési elrendezés az 1. ábra látható.

### 3) A MÉRÉS KIÉRTÉKELÉSE

#### A) PROTONREZONANCIA VIZSGÁLATA

A mérés érzékeny volt a mintán átmenő mágneses fluxusra, így elhelyezése kritikus volt, minél pontosabban kellett elhelyeznünk a sztatikus tér közepén, amit egy emelővel (amin a mintatartó el volt helyezve), s az emelő asztal síkjában való pozicionálásával valósítottunk meg.

A víz rezonanciahelyeit megkeresve, s a frekvencia-térerősség görbére egyenest illesztve meghatározzuk a proton g-faktorát. Minden egyes pontban megmértük a sztatikus tér létrehozása érdekében az áramgenerátorral adott áramerősséget, a galvanométerrel a térerősséget, s a rezonanciafrekvenciát. Valamint a későbbi összehasonlító mérésekhez figyeltük, hogy hol adja a rezonancia a legjobb jel/zaj arányt, s itt határoztuk meg a későbbi feladatok értékeit. Az általunk mért adatok:

$I$ [A]	$\Delta I$ [A]	$H$ [mT]	$\Delta H$ [mT]	$\nu$ [MHz]	$\Delta \nu$ [MHz]
0,87	0,04	80	5	3,6	0,2
0,92	0,05	84	5	3,8	0,2
0,98	0,05	87	5	3,9	0,2
1,05	0,05	90	6	4,1	0,2
1,13	0,06	97	6	4,3	0,2
1,22	0,06	104	6	4,6	0,2
1,31	0,07	107	6	4,8	0,2
1,41	0,07	114	7	5,1	0,3
1,55	0,08	121	7	5,5	0,3
1,63	0,08	127	7	5,8	0,3
1,68	0,08	134	7	5,9	0,3
1,84	0,09	144	8	6,5	0,3
2	0,1	154	8	7,0	0,3
2,11	0,1	168	9	7,5	0,4
2,35	0,1	178	9	8,0	0,4
2,49	0,1	188	10	8,5	0,4

Azt találtuk, hogy a legnagyobb amplitúdójú jelet  $\sim 1,85$ - $1,95$  A-es tartományban, az ennek megfelelő sztatikus tér esetén kaptuk, így a fluor g-faktorát itt fogjuk mérni a jobb jel/zaj arány érdekében. Az illesztés adataiból a g-faktor meghatározásához az egyenes meredekségét kell felhasználnunk. Az egyenes meredeksége, illetve ebből a proton g-faktora:

$$b = (22,1 \pm 0,2) \frac{mT}{MHz},$$

$$g_p = \frac{h}{\mu_{mag} b} = \frac{6,626 Js}{5,051 J/T \times 22,1 Ts} \times 10^{27+3+6-34} = 5,9 \pm 0,9.$$

Ha összevetjük a g-faktor irodalmi értékével, ami egész pontosan meghatározott  $g_p = 5,585694713(46)$ , észrevehetjük, hogy az általunk mért érték közel áll ehhez. Ugyan a precizitást valószínűleg körültekintéssel növelni lehetne, úgy gondolom a mérési módszer nem alkalmas sokkal pontosabb érték meghatározására.

## B) A FLUOR G-FAKTORA

Ahogy a proton g-faktorát a vízben található protonok abszorpciós maximumából állapítottuk meg, úgy a fluor magok g-faktorát pedig a teflonban található fluorok abszorpciós maximumából állapíthatjuk meg. A labormérés során ezt nem direkt módszerrel, hanem a már meghatározott proton g-faktorból relatív méréssel végezzük el. Ehhez vettünk két áramerősséget, ahol a proton esetében a legnagyobb amplitúdójú jeleket kaptuk ( $1,85$  A és  $1,95$  A), majd itt megmértük mind a víz minta, mind a teflon minta rezonanciafrekvenciáit a korábban már ismertetett módon. A mérési eredmények:

$I$ [A]	$\nu$ [MHz]	Minta
1,85	6,515	proton
1,85	6,130	Fluor
1,95	6,409	Fluor
1,95	6,816	proton

A bevezetőben leírt összefüggés alapján könnyen belátható, hogy a rezonanciafrekvenciák és a g-faktorok között fennáll az alábbi arányosság:

$$g_F = \frac{v_{\text{teflon}}}{v_{\text{proton}}} g_p.$$

Innen meghatározható a fluor g-faktora:

$$g_F = 5,6 \pm 0,9.$$

### C) A MÉRÉS SORÁN FELLÉPŐ HIBÁK

Érdemes megfontolnunk a hibák lehetséges forrásait. A meghatározott hibákat figyelembe véve a hibaterjedésnek megfelelően a fenti táblázat értékeit már ezek nyomán számoltuk. Típusuk szerint érdemes megkülönböztetni objektíveket (nem a mérést végzőtől függenek) és szubjektív forrásokat. Előbbibe tartozik például a mágneses tér homogenitása, amelyre külön mérést is végzünk (lásd később).

#### 1. Áramerősség mérés hibája

Szubjektív hiba: az utolsó jegy pontatlansága miatti leolvasási hiba. Értéke:  $\sim 0,5\%$ . A hálózati feszültség ingadozása  $\sim 1\%$ , de ezt nem kell  $\square$  gyelembe venni, mert a keltett jel független ettől, a tekercsek pedig nem tudják követni ezt a gyors változást.

Gyári hiba: a műszer kalibrálva van ugyan, de hitelesítve nem, ezért fellép egy nagy gyári hiba. Értéke:  $\sim 0,5\%$ . a laborvezető elmondása alapján.

Fellép még egy szisztematikus hiba a mérés során: transzformátorjelenség miatt  $H_0$ -t lekapcsolva  $H_1$  miatt megjelenik egy  $0,11 \text{ mA}$ -es áram. Ez a beállított és a mért áram között vezet eltérésre, a mérési adatainkat azonban nem érinti, mert a mért áramerősséggel dolgoztunk. Ezek a hibák függetlenek egymástól, de a gyári hiba konstans értékű eltérést eredményez (szisztematikus hiba), ezért egyenes illesztésnél a meredekségből kiesik, így nem befolyásolja sem a proton g-faktorát (illesztéssel), sem a fluorét (relatív meghatározás – a protonból, amihez hibát az áram nagysága nem adott).

#### 2. A proton g-faktorának hibája

A proton g-faktoránál vegyük figyelembe a mágneses térerősség és a rezonanciafrekvencia mérés hibáit. A teret létrehozó áramgenerátor is lehet, hogy nem pont a kijelzett értéket adja rá a tekercsekre, de mivel ettől független módon (nem ebből számolt, hanem galvanométerrel mért) határozzuk meg az értékét, ezért ettől eltekinthetünk. A galvanométer leolvasás legnagyobb hibája, hogy a mutató csak kilendül a maximális értékig, amit rövid idő alatt kell pontosan leolvasnunk, hisz a mutató nem marad ott. Ezért minden mérést ketten egyszerre végeztek, s minden térerősség értéket kétszer mértünk, így sikerült a méréseink hibáját 1 beosztásra csökkentenünk (ez  $3,35 \text{ mT}$ -nak felel meg). A műszer ettől független gyári kalibrálási megengedett hibája  $5\%$ , ez ehhez adódik hozzá, még hozzá négyzetesen.

A frekvencia leolvasási pontatlansága igen kicsi (megbecsültük a mérés során,  $1$  ezreléknyi, elhanyagolható), a vezető tagot tehát a lebegés megkeresési pontossága, és a készülék szintén gyári (kalibrációs) hibája adja. Ezt a becslést úgy végeztük el, hogy megnéztük mennyit változik a frekvencia, míg az oszcilloszkópon a  $\sim$ egységnyi széles abszorpciós maximumot végigmozgattuk a képernyő egyik szélétől a másikig. Innen  $\sim 5 \text{ kHz}$ -et kapunk, ami a műszer kalibrációs hibája (jobb híján újfent  $5\%$ ) miatt elhagyható.

A fenti hibákon túl, mivel a proton g-faktorát egyenes illesztéséből kapjuk, ezért az illesztésből kapott meredekség hibája is meghatározó. A fenti hibák, a hibaterjedés szabályai értelmében összeadódnak, ezért a g-faktor relatív hibájára  $\sim 15,1\%$ -ot kapunk.

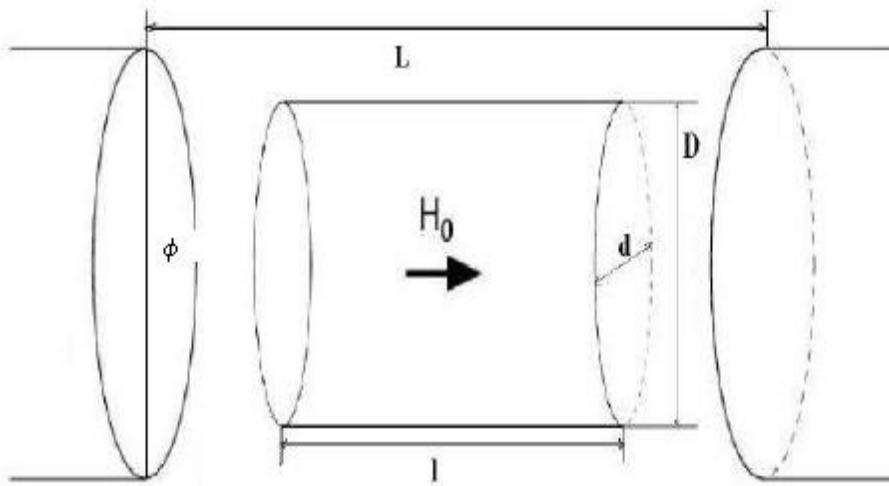
## 3. A fluor g-faktorának hibája

Mivel itt relatív mérésről van szó, a mágneses térerősség hibája közvetlenül nem számít. Egy szorzat relatív hibája:

$$\delta g_F = \sqrt{\delta g_p^2 + \delta v_{teflon}^2 + \delta v_{proton}^2} \approx 16,7\%.$$

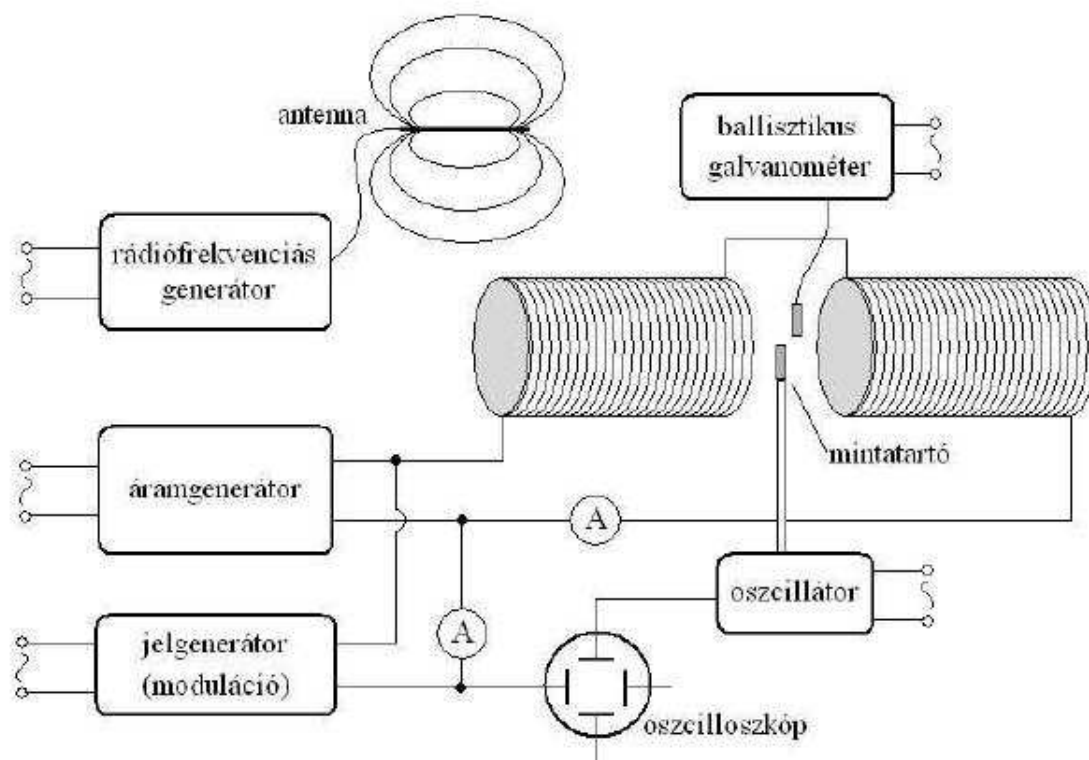
## 4. A mágneses tér homogenitásának vizsgálata

A labor végén megvizsgáltuk, hogy amit mi homogén térnek tekintettünk, az mennyire az. Azaz a tekercsek között az elektromágneses tér mennyire tekinthető egyenletesnek (tökéletes homogén térrel számoltuk végig a feladatokat). Önkényes definíciónk alapján akkor tekintettük homogénnek a teret, ha az abszorpciós csúcs amplitúdója az oszcillátoron nem változott többet 1 osztásnál (bármelyik irányba is mozgattuk). Ezt a minta felle, előre-hátra, és jobbra-balra (egyszerre csak egy tengelyen történő) eltolásával állapítottuk meg, úgy hogy egyikünk vigyázott a minta elmozdulására, a másik csúsztatta a tengelyen, a harmadik pedig figyelte az oszcillátor kijelzőjét. Egy sematikus ábra mutatja a homogén mágneses tér egyes részeit milyen betűkkel jelöltük:



Ezekből a még homogén tér nagyságára a kimért értékek:

$$\Phi = 10 \text{ cm}, \quad D = 4,5 \text{ cm}, \quad d = 3,2 \text{ cm}, \quad L = 2,5 \text{ cm}, \quad l = 0,8 \text{ cm}.$$



2. ábra  
A mérési összeállítás vázlata

