

KORSZERŰ VIZSGÁLATI MÓDSZEREK  
LABORATÓRIUM

## Az atommag mágneses momentumának mérése

*Katona Dávid*

*Mérőtársak: Máthé Marcell, Olar Alex*

MÉRÉS DÁTUMA: 2018. 03. 22.

2018. 03. 23.

# Tartalomjegyzék

<b>1. A mérés célja</b>	<b>2</b>
<b>2. Bevezetés</b>	<b>2</b>
2.1. Elméleti háttér . . . . .	2
2.2. A mérési összeállítás . . . . .	2
<b>3. Mérési eredmények</b>	<b>3</b>
3.1. A proton g-faktorának meghatározása . . . . .	3
3.1.1. Hibaforrások . . . . .	3
3.1.2. A proton g-faktorának értéke . . . . .	5
3.2. Fluor és proton g-faktor-arányának mérése . . . . .	6
3.2.1. Hibaforrások . . . . .	6
3.2.2. A fluor g-faktora . . . . .	7

# 1. A mérés célja

A mérés célja a proton giromágneses faktorának meghatározása, valamint a  $^{19}\text{F}$  mag és a proton g-faktor-arányának mérése.

## 2. Bevezetés

### 2.1. Elméleti háttér

Az protonok, neutronok spinjük révén mágneses momentummal rendelkeznek, melynek következtében egyes atommagok is eredő mágneses momentummal bírnak. A Zeeman-effektus révén külső mágneses térben a spin  $z$  ( $\vec{B}_0$  irányú) komponense szerint felhasad, a felhasadás utáni energiaszinteket írja le az 1. egyenlet. A  $\gamma$  a giromágneses arányossági tényező,  $\mu_N$  a magmagneton,  $m_N$  a nukleon tömege,  $e$  az elemi töltés,  $g$  pedig az ún. g-faktor.

$$E = -\hat{\mu}\vec{B}_0 = -\gamma\hat{J}\vec{B}_0 = -\gamma\hat{J}_z B_0 =: g\frac{\hbar e}{2m_N}m_j B_0 =: g\mu_N m_j B_0 \quad (1)$$

A felhasadás miatt az átmenet megfelelő frekvenciájú fotonnal gerjeszthető, kihasználva, hogy a foton energiája  $E = h\nu$ . Ez  $B_0 \simeq 1\text{T}$  környékén rádiófrekvenciás tartományba esik. A mérés során ezt a frekvenciát határozzuk meg a minták esetében több különböző  $B_0$  érték mellett, melyből számolható a g-faktor értéke.

### 2.2. A mérési összeállítás

A mérés során a mintát külső mágneses térbe helyezzük, melyet elektromágnessel hozunk létre. Az elektromágnes két tekercset tartalmaz: az elsőt áramgenerátorral<sup>1</sup> állandó áramerősséget folytatunk át, a másikkal ezt a konstans  $B_0$  teret moduláljuk  $25\text{Hz}$  frekvenciával  $1-2\%$  mértékben. Erre azért van szükség, hogy egy  $B$  tartományon mérve, az abszorpció mértékét oszcilloszkópon megjelenítve a moduláló jel ( $\sim (B - B_0)$ ) függvényében a rezonancia csúcsként fog megjelenni egy adott ponton az oszcilloszkóp kijelzőjén.

A gerjesztést egy tekercssel végezzük. Ugyanezt a tekercset használjuk az abszorpció mérésére is, mivel a tekercs oszcillátor-kapcsolásba van kötve, így az abszorpciót az oszcillátor amplitúdó-csökkenése mutatja. Ezt az oszcilloszkóp függőleges tengelyén megjelenítve detektáljuk az abszorpciót.

A kívánt paraméterek meghatározásához szükség van a frekvencia és a mágneses térerősség pontos mérésére. A frekvenciamérést egy jelgenerátorra kötött antennával végezzük. A jelgenerátor kijelzőéről nagyobb pontossággal leolvasható az általa generált jel frekvenciája. Amikor az antennára kötött jel frekvenciája és a gerjesztőfrekvencia igen közel esik egymáshoz lebegés jön létre, melyet az oszcilloszkópon látunk. Ezzel meghatározható a gerjesztési frekvencia.

---

<sup>1</sup>Az állandó áramerősség miatt nem kell számolni a tekercs melegedéséből eredő ellenállásváltozással.

A mágneses tér mérésére ballisztikus galvanométert használunk. Ezt a mágneses térbe helyezve, majd onnan határozott mozdulattal kirántva a fluxusváltozásból határozza meg a mágneses tér erősségét. A fluxusváltozás feszültséget generál, amely áramot hoz létre, ezt pedig időben kiintegrálva (töltésmennyiség) a mágneses tér erősségével arányos jelet kapunk. A kalibrációt felhasználva így meghatározható  $B_0$  nagysága.

### 3. Mérési eredmények

#### 3.1. A proton g-faktorának meghatározása

Víz minta ( $\text{CuSO}_4$ -oldat) esetén megmértük több különböző mágneses térben a frekvenciát. Az adatokat az 1. táblázat tartalmazza.

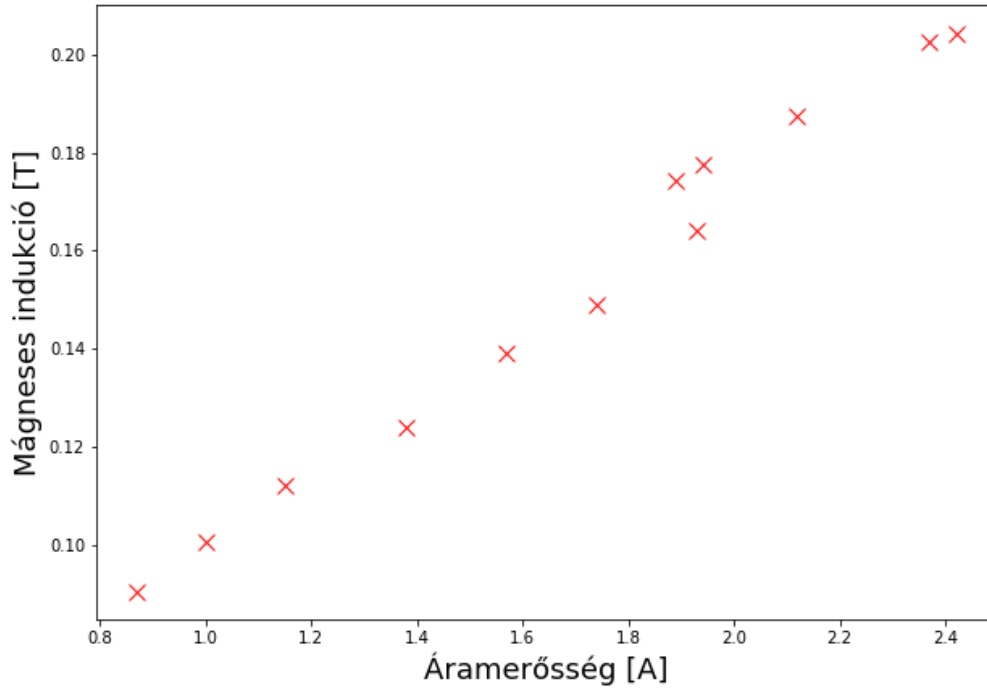
Frekvencia [MHz]	Áramgenerátor állása	Áramerősség [A]	Galvanométer értéke
8.496	782	2.42	60.5
8.325	766	2.37	60
7.705	685	2.12	55.5
7.285	626.5	1.94	52.5
7.155	610	1.89	51.5
6.754	623.5	1.93	48.5
6.167	566.0	1.74	44
5.641	514.0	1.57	41
5.087	445.5	1.38	36.5
4.515	373.0	1.15	33
4.064	324.0	1.00	29.5
3.675	284.5	0.87	28.5

1. táblázat. Mérési adatok a víz esetében. A kiértékeléshez általam használt adatok dőlttel vannak jelölve.

##### 3.1.1. Hibaforrások

A galvanométer állásából számolható a mágneses indukció nagysága a kalibrációt adatot felhasználva, miszerint a galvanométer egy osztása  $3.35 \pm 0.1 \text{ mT}$ -nak felel meg. Elviekben lehetséges lenne az áramerősségből, illetve a még pontosabban meghatározható áramgenerátor állásából kalibrációs egyenest használva  $B$  értékének kisebb hibájú meghatározása, de mivel a mérési pontok felvétele során az áramerősség nem monoton változott időben, emiatt a vasmag felmágneseződése miatt hiszterézis lépett fel, mely az 1. ábra alapján egyértelműen látható.

A  $B_0$  mérése során szisztematikus hibaforrás a galvanométer kalibrálási bizonytalansága. Statisztikus hibaként jelenik meg a leolvasás pontossága, amely ismételt leolvasási kísérletek alapján  $\pm 0.5$  egység. Ezen túl hibaforrás a galvanométer-mérőfej, valamint a minta eltérő pozíciója a tér inhomogenitása miatt. Ennek becsléséhez hosszirányban



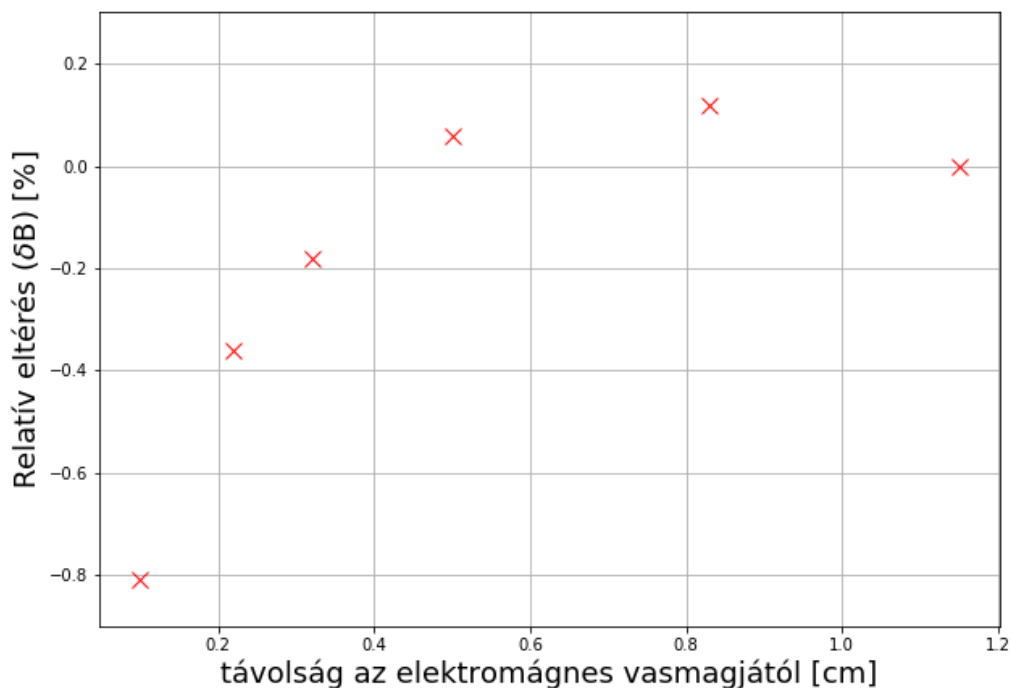
1. ábra. Mért mágneses tér az áramerősség függvényében. Az ábrán megfigyelhető a hiszterézis jelensége.

megnéztem a tér inhomogenitását, azaz, a minta jelének eltolódását<sup>2</sup>  $z$  tengely szerint (2. ábra). A másik két irányban a mérőtársaim határozták meg az inhomogenitás mértékét, azonban azon irányokban inkább kisebbnek mondható. Ez alapján az inhomogenitásból eredő hibát  $\delta B_{\text{inhom}} \simeq 0.15\%$ -ra becsülöm, mivel kb.  $0.8\text{cm}$ -es  $z$  irányú tartományon ennél kisebb az ingadozása  $B$ -nek. Adott nagyságú mágneses térben az összes paraméter ( $B$ ,  $\nu$ , beállítások értékei) lemérése 1-2 percet vett igénybe, ez alatt a mágneses tér nem teljesen állandó. Az ebből eredő hiba  $0.18\%$  volt 2 perc alatt<sup>3</sup>. Az abszorpciós jel közepre állításának hibája  $< 0.03\%$ .

A frekvenciamérés hibája három faktorból tevődik össze: i.) a leolvasás hibája ii.) a jelgenerátor frekvenciamérésének hibája iii.) a lebegés reprodukálhatóságának bizonytalansága. Az első mértéke  $\pm 0.0005\text{MHz}$ , a másodikat csupán becsülni tudjuk, de a kvarcórák hibájából kiindulva  $< 10^{-5}$ , a reprodukálhatósági próbánál pedig a hiba kisebb a kijelzési pontosságnál. A frekvenciamérés hibája tehát jó közelítéssel  $\pm 0.0005\text{MHz}$ .

<sup>2</sup>Az oszcilloszkóp kijelzőjén való eltolódás alapján határoztuk meg. Ehhez előzőleg frekvenciaméréssel meghatároztuk, hogy 1 beosztás az oszcilloszkóp kijelzőjén  $\nu = 5.5\text{MHz}$ -nél  $0.30\%$  eltérésnek felel meg. Mivel  $B \sim \nu$ , ezért ez  $B$ -nek is ekkora hibáját jelenti.

<sup>3</sup>Meghatározását ugyanúgy frekvenciamérésre vezettük vissza, mint az inhomogenitását.



2. ábra. A mágneses tér ihomogenitása z irányban.

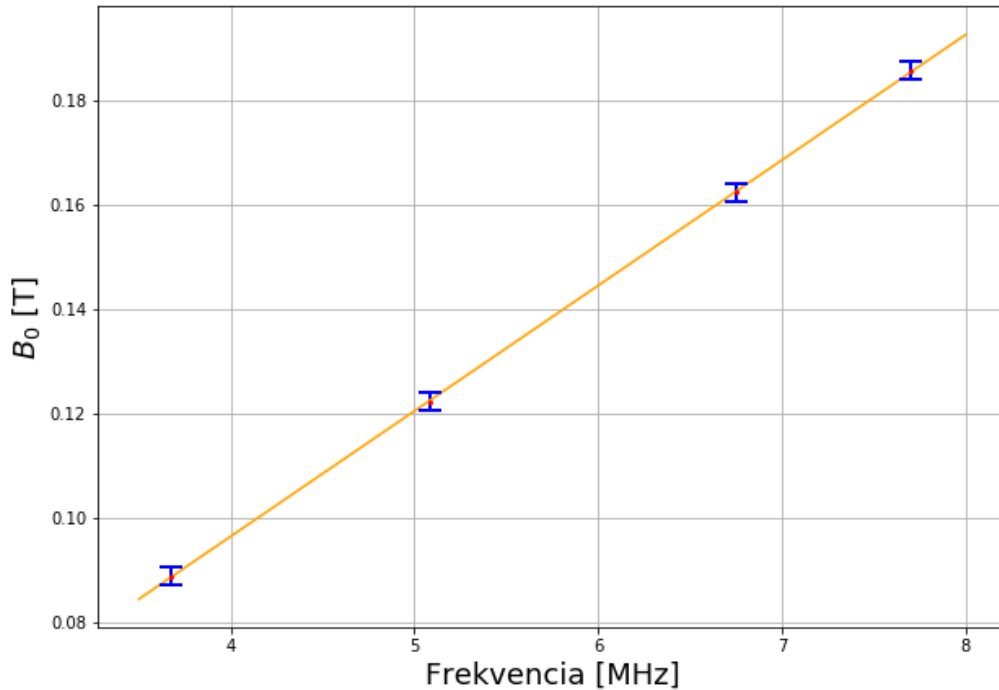
### 3.1.2. A proton g-faktorának értéke

A mért adatok alapján számolt frekvenciákat és  $B_0$  értékeket mutatja a 2. táblázat. Mivel az időmérés hibája jóval kisebb, ezért a frekvencia függvényében ábrázolva a  $B_0$  értékeket origón átmenő egyenest<sup>4</sup> illesztettem (3. ábra), melynek meredeksége:  $m = (2.409 \pm 0.0025) \cdot 10^{-8} T s$ . Ebből számolható  $g_p = 5.45 \pm 0.17$ , ahol az egyenesillesztés hibájához négyzetesen hozzáadtam a galvanométer kalibrációs hibáját is. Ez az érték hibahatáron belül közelíti az irodalmi értéket ( $g = 5.585$ ).

Frekvencia [MHz]	B [mT]
$7.705 \pm 0.0005$	$185.9 \pm 1.7$
$6.754 \pm 0.0005$	$162.5 \pm 1.7$
$5.087 \pm 0.0005$	$122.3 \pm 1.7$
$3.675 \pm 0.0005$	$88.8 \pm 1.7$

2. táblázat. Számolt frekvencia és  $B_0$  értékek

<sup>4</sup>Ellenőrzésképp konstans taggal rendelkező egyenest illesztve a konstans paraméter értéke  $(-0.16 \pm 7.2) \cdot 10^{-4} T$ , tehát valóban nullán átmenő egyenest kapunk így is.



3. ábra.  $B_0$  a gerjesztőfrekvencia függvényében vízmintánál

## 3.2. Fluor és proton g-faktor-arányának mérése

### 3.2.1. Hibaforrások

A fluor g-faktorának (relatív) meghatározásához adott  $B_0$  térerősség mellett egymás után meghatároztuk a proton és a fluor abszorpciósúcsához tartozó frekvenciát. A mérés előnye, hogy a mágneses tér mérésének hibája kiesik. Itt csak az 1-2 perces mérési időből származó 0.18%-os eltéréssel kell számolnunk, ami a mágneses tér időbeli ingadozása. Mivel csak a mintát cseréltem ki, nem pedig az egész mérőtekerccset távolítottuk el mérésről mérésre, ezért a hely hibája igen kicsi,  $< 2mm$ , ami alapján a  $B_0$  inhomogenitásból eredő hibája  $< 0.06\%$ . Összességében tehát  $\delta B_0 \simeq 0.19\%$ .

A frekvenciamérés hibája adódik a leolvasás pontatlanságából ( $\pm 0.0005 MHz$ ), valamint a szélesebb és laposabb fluor-csúcs beállításának bizonytalanságából. Ez utóbbi az oszcilloszkópon  $\pm 0.2$  osztásnak becsülöm, ami  $\pm 0.0034 MHz$ -nek felel meg. Proton esetében ugyanez az érték  $\pm 0.001 MHz$ , mivel annak jóval élesebb a csúcsa.

Az aránymeghatározást tehát itt a mágneses tér időbeli inhomogenitásból eredő hibája dominálja, azonban itt a mérés teljes bizonytalansága csupán 0.20%, mivel közvetlen nem kell mérni a  $B_0$  értékét.

### 3.2.2. A fluor g-faktora

A mért eredményeket tartalmazza a 3. táblázat. Mivel a hibák közel azonosak, az arányok átlagát véve meghatározható  $\frac{g_F}{g_p} = 0.9404 \pm 0.0019$ . Az irodalmi érték  $0.9409(3)$ , tehát hibahatáron belül megkaptuk.

proton [MHz]	fluor [MHz]
$4.996 \pm 0.001$	$4.697 \pm 0.003$
$7.150 \pm 0.001$	$6.726 \pm 0.003$

3. táblázat. A fluor és a proton adott  $B_0$  melletti rezonanciafrekvenciája.