

Atommagok mágneses momentumának mérése

Tóth Bence
fizikus, 3. évfolyam

2006.02.23. csütörtök

beadva: 2005.03.16.

1 A mérés célja a proton g-faktorának meghatározása, majd a fluor és a proton g-faktori arányának kimérése volt. Ehhez egy több ezer menetes vasmagos tekercset használtunk a • homogén mágneses tér létrehozására. A moduláló mágneses térhez pedig egy erre merőleges, sokkal kisebb tekercset tettünk a két mágnespólya közé, és ebbe a kisebb tekercsbe helyeztük a mérendő mintát. Az mérés első részében vizet tartalmazó mintát használtunk a proton g-faktorának meghatározásához, ami ezért jó, mert az oxigén magmágneses momentuma nulla, ezért ez nem zavar a mérésben.

A mágneses tér erősség meghatározásához a galvanométerről leolvasott osztásközök számát be kellett szorozni az eszközön feltüntetett konstanssal: 3,025mT/div-el, hogy megkapjuk a tér nagyságát. A leolvasás hibája ±0,5div, ami ±0,002T-nak felel meg. Ennél pontatlanabb maga az eszköz: 5% a hibája, ez 1-3 osztást jelent, ebből a mágneses tér hibája ≈0,007T.

Az antenna hibája ±0,5kHz, vagyis elhíhetjük az értéket, amit kiír, és ezt a lebegésre való pontos ráállás sem befolyásolja, mert annak hibája ±100-200Hz, azaz ez a legpontosabb része az egész mérésnek, hiszen ez kb. 3ezred százalékos hibát jelent. Az igazán nagy hibaforrás a gyárilag „beépített” 5%-os hiba: a valóságos és a mért frekvencia közötti eltérés.

B(div)	B(T)	v(MHz)	g
29	0,088	4,065	6,080
30	0,091	4,275	6,181
32	0,097	4,650	6,303
34	0,103	4,963	6,331
36	0,109	5,235	6,307
38	0,115	5,399	6,162
40	0,121	5,843	6,336
43	0,130	6,200	6,254
46	0,139	6,677	6,296
49	0,148	7,071	6,259
53	0,160	7,559	6,186
60	0,182	8,463	6,118

ahol a g-faktort a

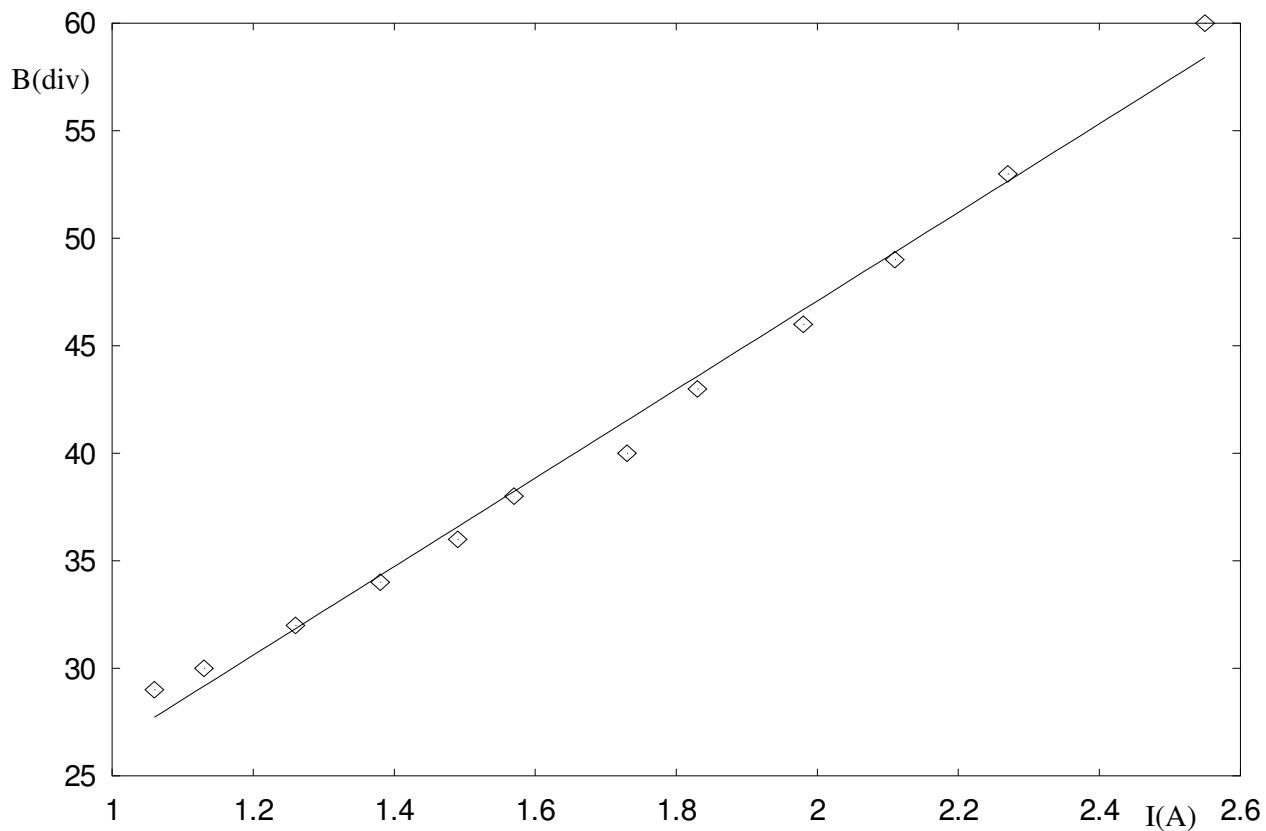
$$g = \frac{h\nu}{\mu_{\text{mag}} B}$$

képletből számoltam. Ezek átlagából a proton g-faktora:

$$\overline{g_{\text{proton}}} = 6,2 \pm 0,6$$

Ez az érték éppen nem esik egybe (ha csak egy századdal is) az irodalmi 5,59-es g-faktoral.

A mért mágneses tér értékek az áramerősség függvényében ábrázolva és a mérési pontokra az $ax+b$ egyenest illesztve:



Az illesztett egyenes paramétereit:

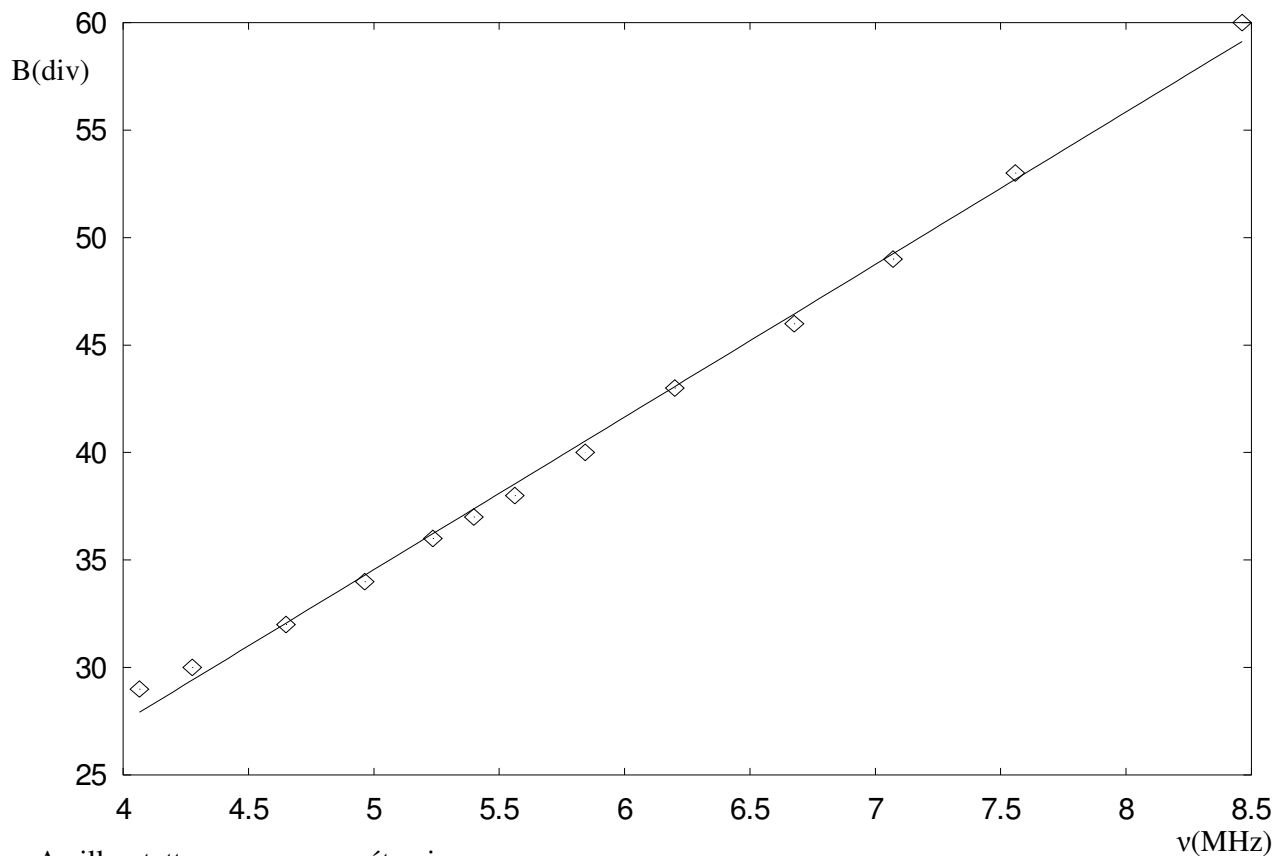
$$a=(20,6\pm 0,6)\text{div/A}$$

$$b=(6\pm 1)\text{div}$$

Ebből pedig megadható a tekercs menetszáma és hossza ismeretének hiányában a két érték közötti összefüggés:

$$B=(20,6\text{div/A})*I+6\text{div}$$

A mágneses tér a frekvencia függvényében ábrázolva és a mérési pontokra az $ax+b$ egyenest illesztve:



Az illesztett egyenes paraméterei:

$$a=(7,1\pm 0,1)\text{div/MHz}$$

$$b=(-0,9\pm 0,7)\text{div}$$

Ugyanezekre az értékekre az ax egyenest illesztve az a értéke:

$$a=(6,94\pm 0,03)\text{div/MHz}$$

Vagyis feltételezve, hogy az egyenes nullában metszi az y tengelyt (ahogy azt fizikai megfontolásokból várjuk), a meredekségre sokkal pontosabb értéket kapunk.

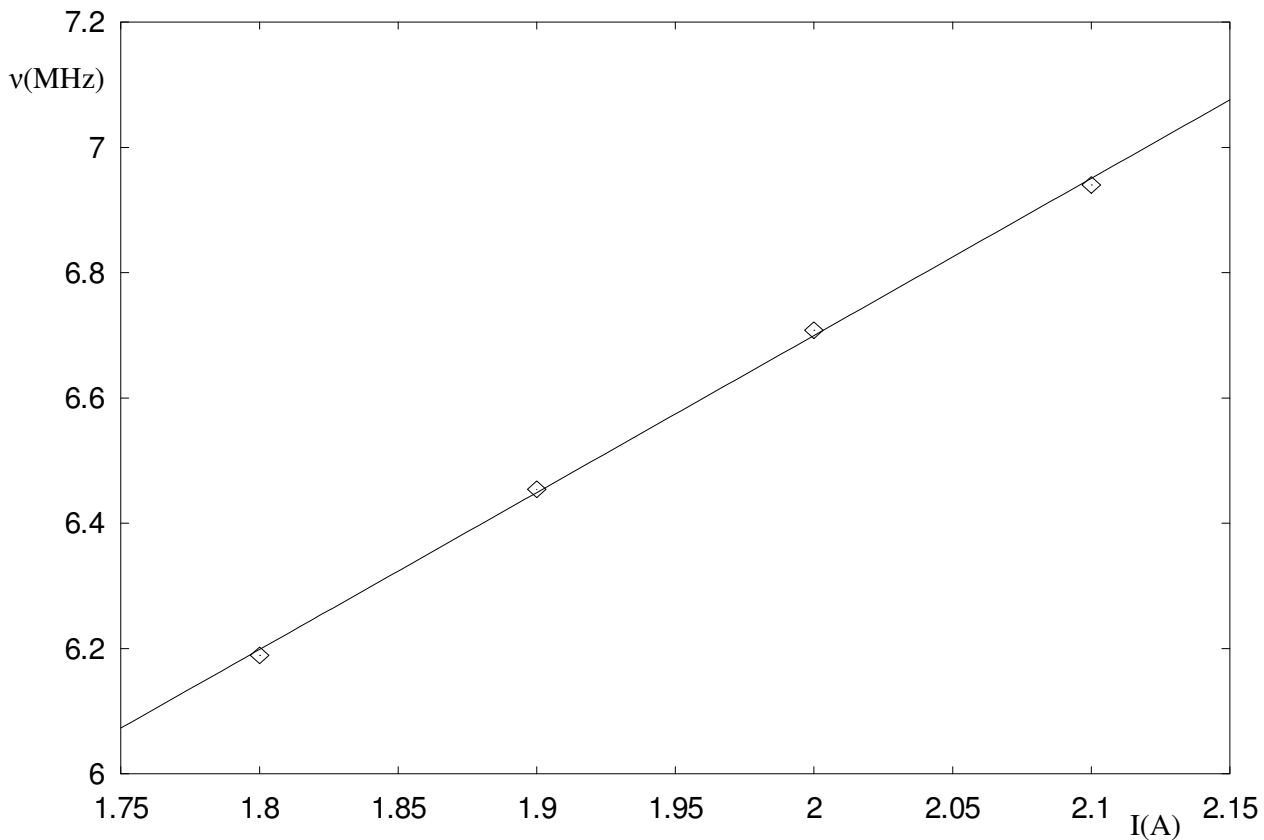
2. A mérés második részében meghatároztuk a fluor és a proton g-faktorainak arányát azonos mágneses tereknél, így ugyanis a mágneses tér hibája kiesik. A B értékét a korábban meghatározott képletből számoltam.

I(A)	B(div)	B(T)	ν_F (MHz)	ν_p (MHz)	ν_F/ν_p
2,1	49,3	0,149012	6,94	7,373	0,941272
2	47,2	0,14278	6,704	7,13	0,940252
1,9	45,1	0,136549	6,454	6,86	0,940816
1,8	43,1	0,130317	6,189	6,578	0,940863

$$\frac{\nu_F}{\nu_p} = \frac{g_{\text{fluor}}}{g_{\text{proton}}}$$

$$\left(\frac{g_{\text{fluor}}}{g_{\text{proton}}} \right) = 0,941 \pm 0,001$$

A frekvencia az áramerősség függvényében a fluor esetén és azokra az ax+b egyenest illesztve:

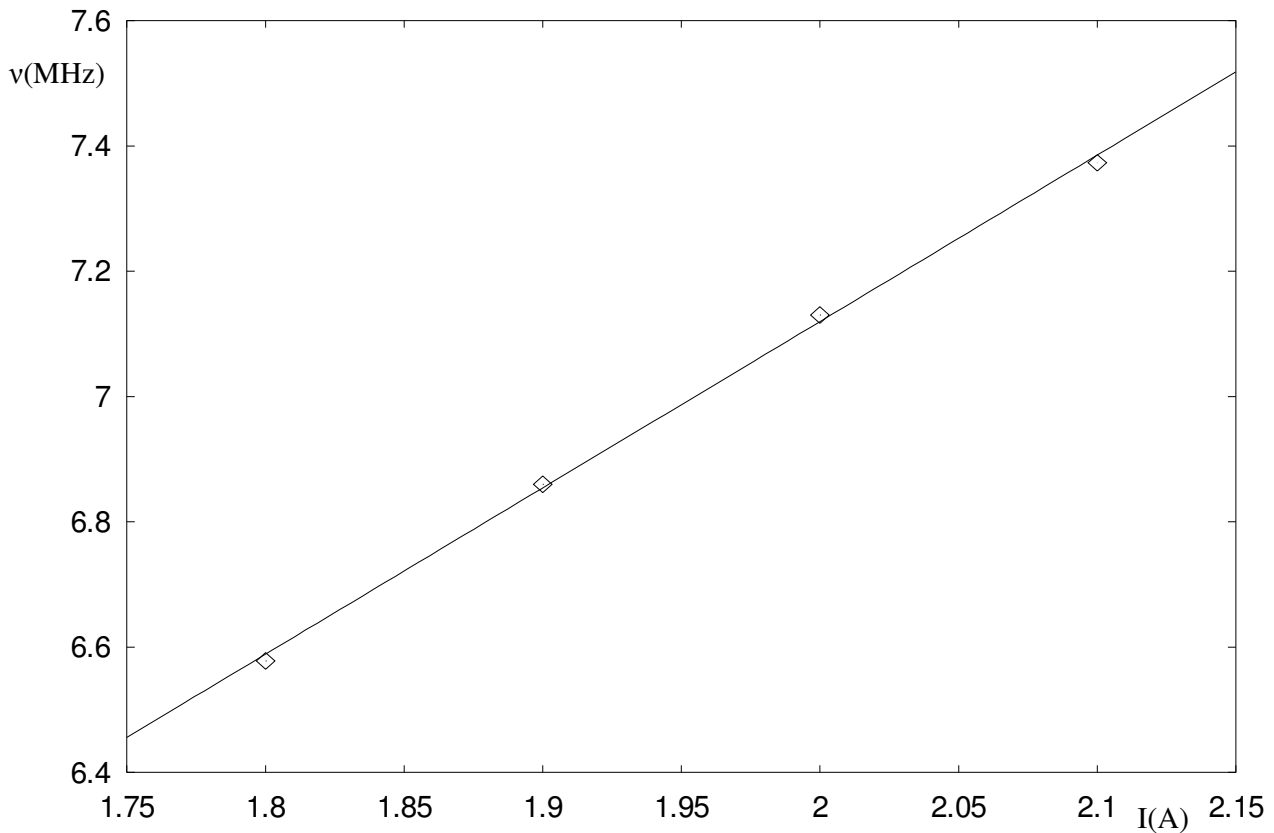


Ahol az egyenes paraméterei:

$$a = (0,399 \pm 0,008) \text{ MHz/A}$$

$$b = (-0,67 \pm 0,06) \text{ MHz}$$

A frekvencia az áramerősség függvényében a víz esetén és azokra az $ax+b$ egyenest illesztve:



Ahol az egyenes paraméterei:

$$a=(0,376\pm 0,009)\text{MHz/A}$$

$$b=(-0,68\pm 0,06)\text{MHz}$$

3 A mérésben sok hibaforrás van, de az egyes adatok meghatározásakor ezek közül általában csak egy jelentős.

• A frekvencia meghatározásakor az antenna által kiírt értéket annyi jegyre elhiszhetjük, amennyit kiír – konkrétan annyit mér. Viszont van egy gyári kalibrációs hibája, vagyis a mért érték eltérése a valóságtól, ez pedig 5%.

A lebegésre való beállítás a már említett legkevésbé hibás mérés, itt mindössze 0,003% a hiba.

A mágneses tér hibája először a leolvasás hibájából fakad: $\pm 0,5$ osztás= $\pm 0,002\text{T}$, de ennél nagyobb hibát okoz a műszer gyári (ismeretlen nagyságú) hibája, amit 5%-nak, azaz ≈ 2 osztás= $0,007\text{T}$ -nak vettünk. A kirántás eltérő sebességeiből/helyzeteiből fakadó hibát jól ki lehet kompenzálni többszöri méréssel, vagyis itt megint csak a leolvasási hiba marad. Az árammérő hibája is kb. 5%.

A mágneses tér homogenitásának meghatározását a következő pontban részletezem.

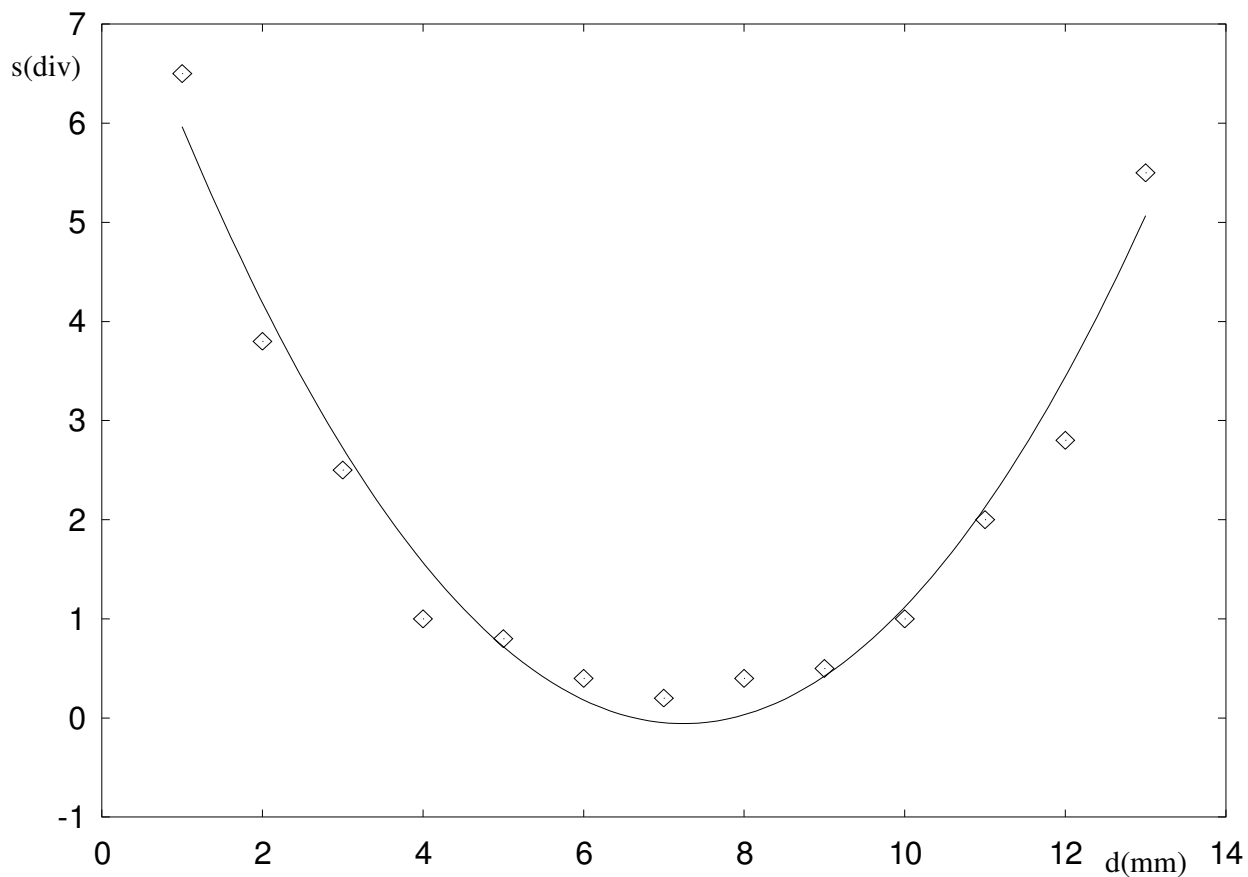
4 A tér inhomogenitásának meghatározásához a kis tekercset először betettük középre, a mágnes tengelyére, majd a jelet beállítottuk az oszcilloszkópon balról az első osztáshoz. Ezután a nagy

- tekercs jobb oldalától milliméterenként kezdtük távolítani és mértük a jel eltolódását.

d(mm)	s(div)
1	6,5
2	3,8
3	2,5
4	1,0
5	0,8
6	0,4
7	0,2
8	0,4
9	0,5
10	1,0
11	2,0
12	2,8
13	5,5

ahol d a távolság a mágnes jobb oldali pofájától, s pedig a jel eltolódása az oszcilloszkópon.

A mért eltolódások és a rájuk illesztett ax^2+bx+c parabola:



A parabola paraméterei:

$$a=(0,155\pm 0,009)\text{div/mm}^2$$

$$b=(-2,2\pm 0,1)\text{div/mm}$$

$$c=(8,0\pm 0,4)\text{div}$$

szemből



Az adatok alapján 4 és 10mm között elég jól homogénnek tekinthető a tér, a kis tekercs pedig 11,5mm széles, vagyis kb. 3,5-4mm-re a mágnestől már homogén a tér.

Függőlegesen és befelé úgy határoztuk meg a homogenitást, hogy a kis tekercset mozgattuk a 100mm hosszú átmérő mentén és mérőszalaggal lemértük a pozícióját, amikor a jel észrevehetően elkezdett torzulni. Ebből a függőleges értékre 47 ± 1 mm, befelé 18 ± 1 mm jött ki a homogén térre. Tehát függőlegesen és vízszintesen elég nagy a homogén térfogat, csak befelé kell vigyázni, hiszen a mintatartó 15mm hosszú (7mm átmérőjű, kb. 1mm falvastagságú), tehát befér, csak mindkét oldalon 1,5mm-t mehet arrébb, hogy az a mérést ne befolyásolja. Éppen ezt a paramétert volt viszont nehéz meghatározni, mert a másik kettő helyzetre oldalról ráláttunk, de itt fölötte volt az asztal, ezért csak körülbelül tudtuk középre tenni.

felülről



A kis tekercs és a nagy vasmag kondenzátorként képes viselkedni, azaz a kettő távolságától függ a kapacitív csatolás nagysága, és ez befolyásolja a mért frekvencia (és B) értékeket.

Az áramerősséget 1,78A-tól 1,82A-ig változtatva az oszcilloszkópon a csúcs 10div-et megy arrébb. Ez két szélső helyzet 6,616 és 6,536MHz-nek felel meg. Azaz $10\text{div}=80\text{kHz}$, $4,5\text{div}=36\text{kHz}$.

Az előző táblázatban az 1osztásnál (4mm) mért frekvencia 6,576MHz, az 5,5osztásnál (13mm) mért pedig 6,620MHz. A kettő különbsége 4,5div és 44kHz. Vagyis a „kondenzátortól” ugyanannyi osztásköz 8kHz-el többnek felel meg. Ez az utolsó leolvasott jegyben jelent hibát, de ezt elnyomja az 5%-os kalibrációs hiba, vagyis a kalibrációs hiba szisztematikus volta miatt ki tudjuk mérni a kapacitív csatolást, de az egzakt eredményt nem befolyásolja; ez látszik is a proton g-faktorának óriási hibáján.