MSc. Fizika Laboratóriumi Gyakorlatok
I. éves fizikus mesterszakosok számára

E S R*	a mérés időpontja: 2012-11-15
	a mérést vezette: Kürti Jenő

A jegyzőkönyv szerzője:

csoport	név	szak	zh-jegy	jegyzőkönyv jegy:
	Nagy Dávid			
		a mérésvezető aláírása:		

A mérést vele együtt végző hallgatók:

csoport:	név: Mayer Petra	csoport:	név:
csoport:	név: KHRPAAT.ELTE		

belépő zárthelyi pontozására egy javaslat (mindenki a sajátját használja):
3,0–3,4p → 2; 3,5 p →2/3; 3,6–4,4 p → 3; 4,5 p →3/4; 4,6–5,4 p → 4; 5,5=4/5; 5,6–6,0p → 5

a mérési feladatok:
1.

2.

3.

4.

A mérésvezető aláírása:	

Jegyzőkönyv készítési szempontok:

mértékegység, összefüggések indoklása minden számoláshoz szükséges
ami a mérésleírásban van, azt nem kell leírni
a mérés során keletkezett eredeti adatokat (pl. printek) a jegyzőkönyvhöz kell csatolni
a mérési jegyzőkönyv alapján a mérés megismételhető legyen!

A jegyzőkönyv beadásának dátuma:	átvette:

* *A mérés hárombetűs kódja kerül ide. Lehetőségek: FSS, GAM, XRD, RVA, AFM, IRS, ESR, TEM, SEM*

1 Bevezetés

Az elektronspin rezonancia módszerrel az elektronok energiaszintjeinek mágneses mezőben való felhasadása vizsgálható. Sztatikus tér hatására kialakuló Zeeman alnívók között hozunk létre átmeneteket, megfelelő frekvenciájú elektromágneses hullámok segítségével. Ehhez szükséges az, hogy a sztatikus tér nagysága és az időben oszcilláló mágneses tér frekvenciájára teljesüljön a rezonanciafeltétel:

$$h\nu = g\mu_B B_0$$

Az ESR gépekben tipikusan tized Tesla nagyságú statikus tereket használnak, ami már determinálja hogy a frekvenciának a mikrohullámok tartományába kell esnie. A Zeeman szintek a hiperfinom kölcsönhatás hatására továbbhasadnak, ebben az esetben a rezonanciafeltétel is módosul

$$h\nu = g\mu_B B_0 + Am_I$$

ahol A a hiperfinom kölcsönhatást jellemző állandó. A mérések során a gerjesztő tér frekvenciáját állandó értéken tartjuk, és a sztatikus mágneses indukció függvényében felvesszük az abszorpciós spektrumot. A mérés során a detektáló diódák termikus zaja összemérhető a mérendő jellel, ezért lock-in erősítőt alkalmazunk, ami miatt az abszorpciós spektrum helyett ennek a deriváltját kapjuk.

2 Cr53 hiperfinom kölcsönhatási együtthatója

A gerjesztés frekvenciáját a nagy intenzitású csúcs helyéből lehet meghatározni, ha a Cr g faktorát ismertnek tekintjük

$$\nu = \frac{g_{Cr}\mu_B B_0}{h} = (9.53 \pm 0.05)\, GHz$$

ahol $g_{Cr} = 1.98 \pm 0.0001$, $\mu_B = 9.274 \cdot 10^{-24} Am^2$, $h = 6.626 \cdot 10^{-34} Js$ és a csúcs helye a 3.1-ben található illesztésből $B0_{Cr\,nagy} = 3438.9\, Gauss$, amit 10000-el kell osztani hogy SI-be kerüljünk.

A nagy csúcson kívül a többi az ESR spektrumon sajnos egyáltalán nem látszik, megpróbáltam a három mérést együtt nézni, remélve hogy a zaj kiátlagolódik, és ahol mindhárom görbében hasonló jelalak taláható az talán a valódi, de sajnos nem voltak ehhez a módszerhez teljesen ideálisak az adatsorok, így nem biztos hogy tényleg ott van a csúcs ahol úgy tűnik. Mindenesetre d=27 G-al valamennyire konzisztens eredményt kaptam, ha tényleg ennyi akkor ebből

$$A_{Cr} = g\mu_B d = 4.96 \cdot 10^{-26} J$$

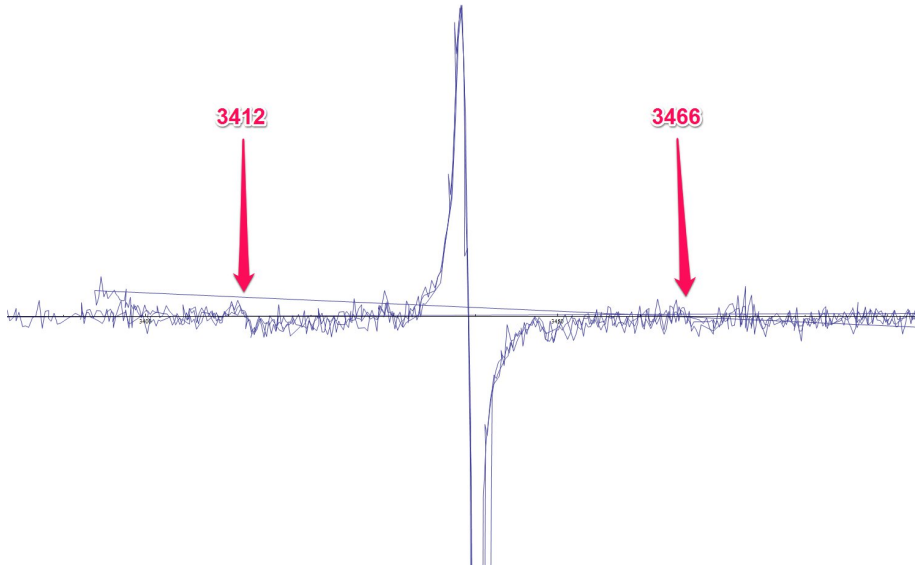

Figure 1: d=27G-ra kb szimmetrikusan van csúcs mindhárom mérési adatsorban.

3 Mangán

3.1 atomok száma

A jelben a lock-in erősítés alkalmazása miatt a várt abszorpció Lorentz görbe helyett ennek a deriváltja jelenik meg

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(i\frac{\gamma^2}{(x-\mathrm{x0})^2+\gamma^2}\right) = -\frac{2i(x-\mathrm{x0})\gamma^2}{\left((x-\mathrm{x0})^2+\gamma^2\right)^2}$$

Az illesztendő függvényhez egy alapvonalat is hozzáadtam paraméterként

$$-\frac{2i(x-\mathrm{x0})\gamma^2}{\left((x-\mathrm{x0})^2+\gamma^2\right)^2} + y0$$

Erõsítés: 0 dB
Érzékenység : 2 mV
Idõállandó : 100 ms
Meredekség : 24 dB/D
Moduláló frekvencia : 99000 Hz
Moduláció amplitudója : 0.198 Gauss
A mérés kezdõpontja : 3360 Gauss
A mérés végpontja : 3385 Gauss

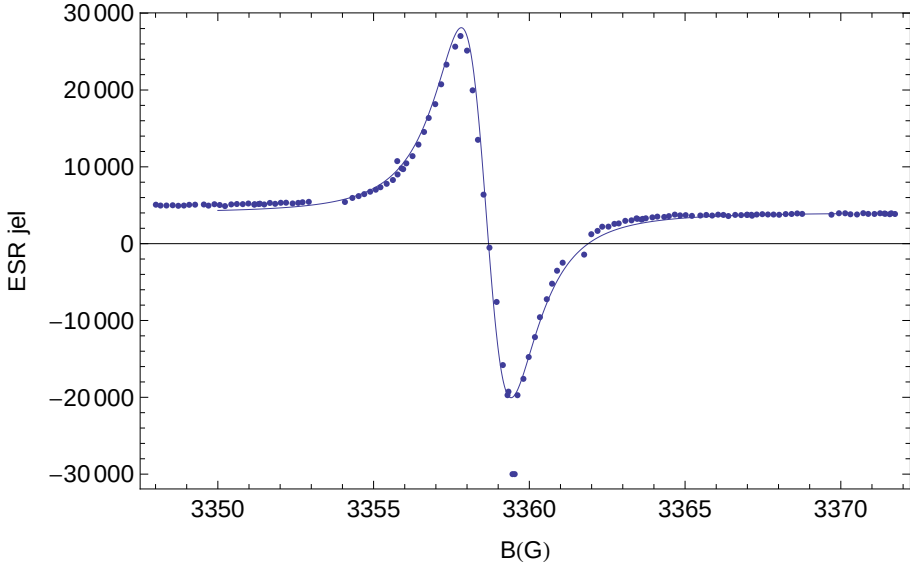

Figure 2:

Az illesztésből:

$$x0 \to 3358.615 \qquad i \to 51331 \qquad \gamma = 1.39 \qquad y0 \to 4031$$

Ennek integrálásával visszakapható a megfelelő Lorentz görbe, amely alatti területet keressük (az alapvonalat itt már levontam)

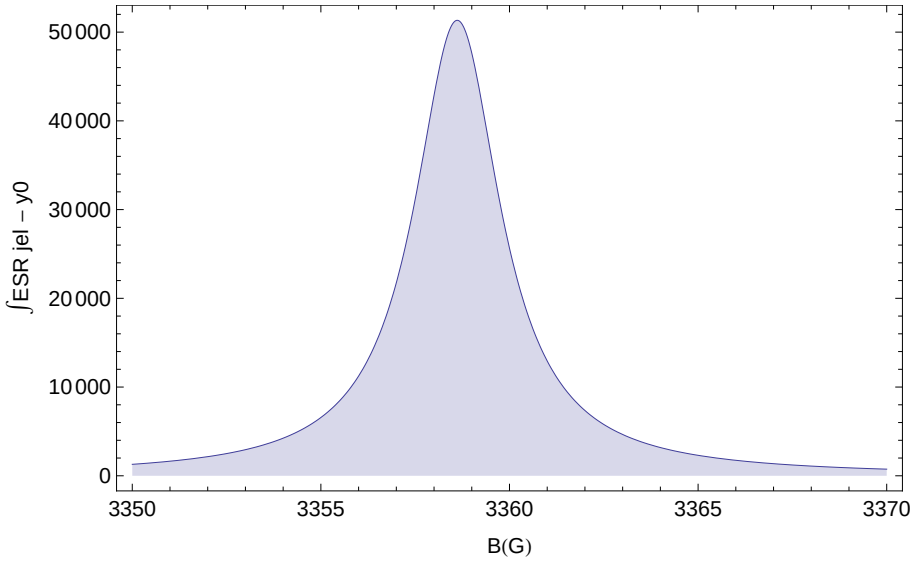

Figure 3:

A területhez a Lorentz görbe primitív függvénye könnyen megkapható, mivel a Lorentz-görbe a háromparaméteres Cauchy-eloszlástól csak abban különbözik, hogy nem 1-re van normálva, annak pedig ismerjük a kumulatív eloszlásfüggvényét.

$$\int \frac{i\gamma^2}{(x - \mathrm{x0})^2 + \gamma^2}\, dx = i\gamma \mathrm{ArcTan}\left[\frac{x - \mathrm{x0}}{\gamma}\right]$$

Innen

$$\frac{1}{6}T_{Mr} = 223276\,G$$

A területből meghatározható a mangán atomok száma, ha tudjuk a króm atomok számát, és a króm és mangán ESR jel alatti területek arányát

$$N_{Mn} = N_{Cr}\frac{T_{Mn}}{T_{Cr}}$$

ahol a mérési leírás szerint $N_{Cr} = 8.3 \cdot 10^{13} db$. Ehhez még szükség van a króm ESR spektrumának nagy csúcsa alatti területre. Ezt az eddigiekhez hasonlóan lehet meghatározni.

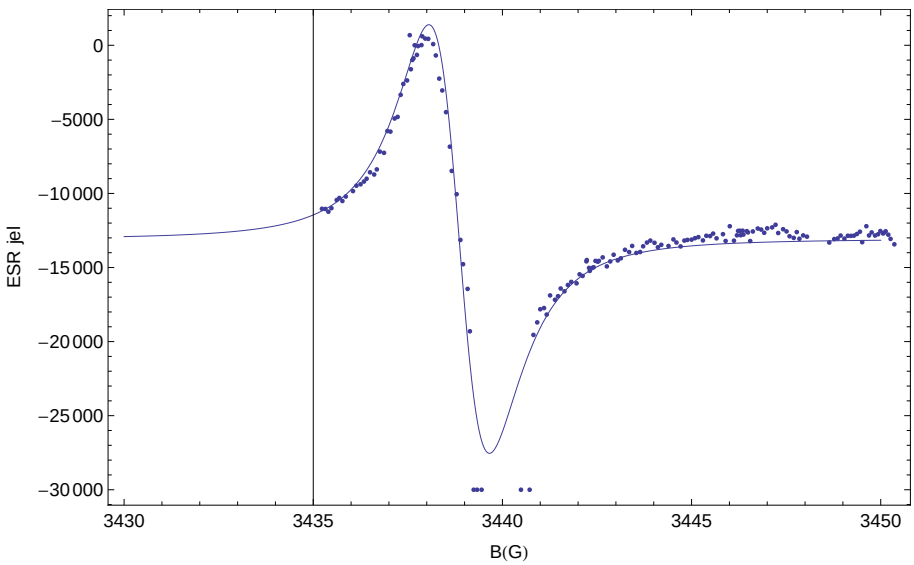

Figure 4:

Az ilesztési paraméterek értékei

$$x0 \to 3438.86 \qquad i \to 30885.1 \qquad \gamma \to 1.387 \qquad y0 \to -13076.6$$

Az integrált Lorentz görbe

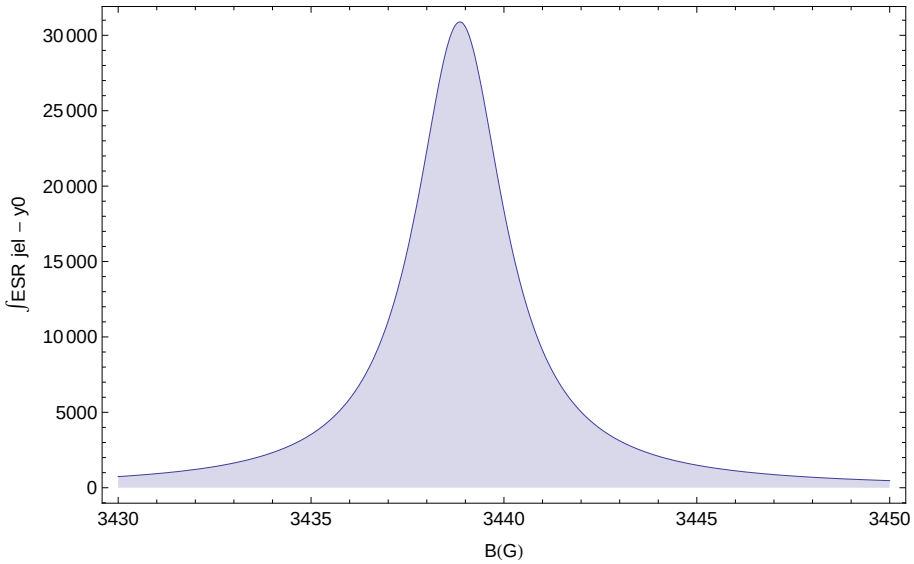

Figure 5:

Innen a terület

$$T = 134572\,G$$

Mivel 5 csúcs van, és a másik négy csúcs magassága a legnagyobbnak $\frac{1}{36}$-a, így a teljes területet így közelítem

$$T_{Cr} = T + 4 \cdot \frac{T}{36} =$$

Így a mangán atomok száma kb

$$N_{Mn} = N_{Cr}\frac{T_{Mn}}{T_{Cr}} = 7.4 \cdot 10^{14}$$

3.2 g-faktor és hiperfinom kölcsönhatási állandó

A mangán atomok g-faktorának meghatározásához egyenest illesztünk $B_0(m_I)$-re, és a mérési leírás (13) képlete alapján az illesztett egyenes egyenlete a következő lesz

$$B_0 = \frac{1}{\mu_B g}\left(h \cdot \nu - A \cdot m_I\right)$$

ahol $\nu = 9.5306$Hz a moduláló frekvencia és A a hiperfinom kcsh. áll.. A csúcsok helyeit úgy határoztam meg, hogy egyesével minden csúcsra illesztettem a Lorentz-görbe deriváltját, és az x0 paraméterekkel azonosítottam a B0 értékeket

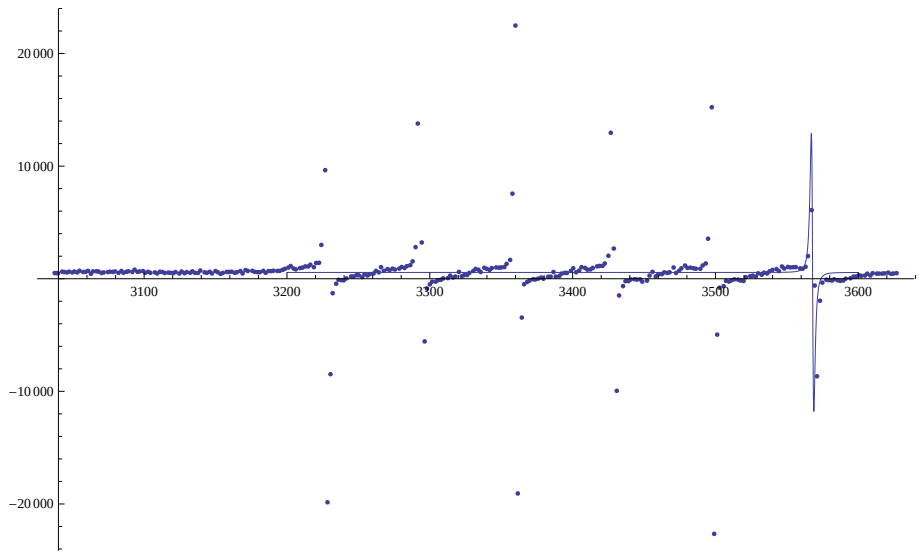

Figure 6:

Az így kapott B_0-m_i párok

m_I	B_0
$\frac{5}{2}$	3227.6
$\frac{3}{2}$	3294.1
$\frac{1}{2}$	3360.2
$-\frac{1}{2}$	3428.1
$-\frac{3}{2}$	3498.8
$-\frac{5}{2}$	3568.3

A rájuk illesztett egyenes egyenlete

$$(3396.183 \pm 0.7) - (68.16 \pm 0.6)x$$

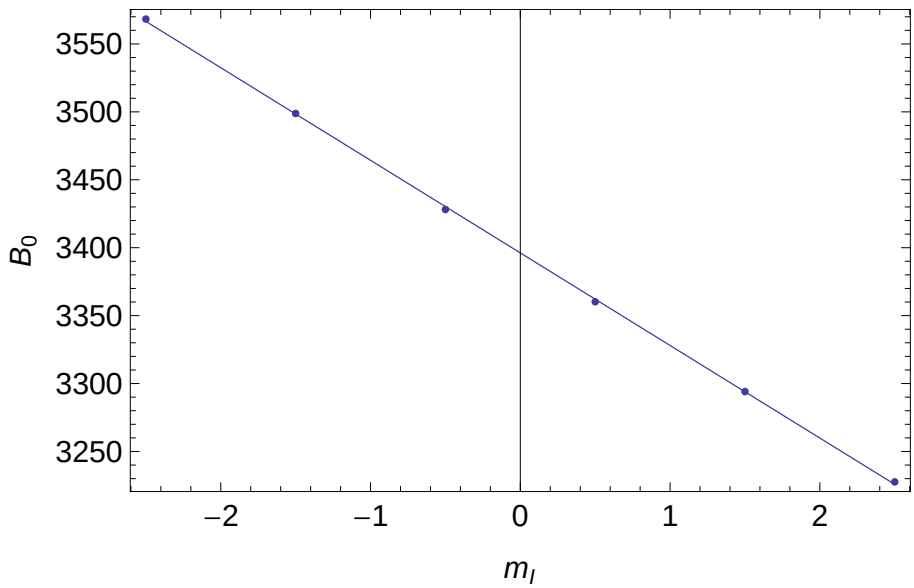

Figure 7:

Innen a g-faktor

$$g_{Mn} = \frac{h \cdot \nu}{(3396.183/10000) \cdot \mu} = 2.0049 \pm 0.0006$$

és a hiperfinom kölcsönhatási állandó

$$A_{Mn} = -(68.114/10000) \cdot 2.0049 \cdot 9.274 \cdot 10^{-24} J = -(1.267 \pm 0.01) \cdot 10^{-25} J$$

4 Extra kérdések

4.1 Milyen lenne a hidrogén ESR spektruma?

A hidrogén ESR spektrumában két csúcs lenne, mivel két átmenetet tudunk gerjeszteni a spinek között. A hiperfinom kölcsönhatási állandó az ESR spektrum abszorpciós csúcsainak távolságával arányos, ami egy tiszta s állapotú hidrogénre kb 500 G.

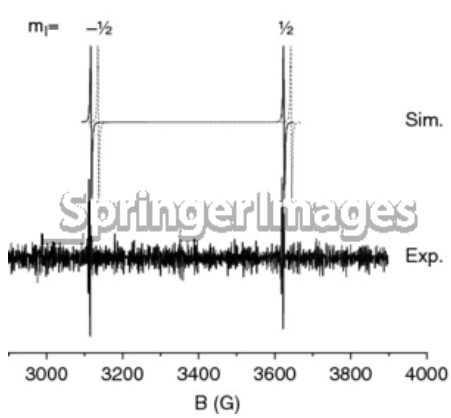

Figure 8: Hidrogén ESR spektruma nu = 9.5000 GHz mellett.

4.2 Miért mindig néhány tized Tesla a gerjesztő mágneses indukció? Mi történne 10x nagyobb mellett?

Nagyobb B_0 terekhez nagyobb ν-k tartoznának a

$$h\nu = g\mu_B B_0$$

képletnek megfelelően. Az elektromágnesek kb 1 T-ig tudnak megbízható mágneses teret kelteni, és az ehhez tartozó frekvenciákhoz szükséges mikrohullámú berendezés lakatrészei könnyen elérhetőek, mert radarokhoz is ezeket használják. 10x magasabb frekvenciákon

- Egyszerűb a spektrum a magasabb indukció esetén gyengébb másodrendű effektusok miatt
- Érzékenyebb lenne a minta orientációjára
- Nagyobb spektrális felbontás lenne elérhető
- A paramágneses centrumok relaxációja jelentős felgyorsulna

4.3 Miért 100khz a lock-in frekvenciája?

Nagyságrendekkel kisebb frekvencia esetén a pontos méréshez az átlagolás időállandóját kellene növelni, amitől nagyon megnőne a mérés időtartama, ami már így is problémás. Nagyobb frekvenciák esetén megközelítenénk a Zeeman-effektushoz tartozó frekvenciákat, ami összezavarná a mérést.