

## Modern Fizika Labor

Fizika BSc

A mérés dátuma: <b>2011. okt. 25.</b>	A mérés száma és címe:  <b>5. ESR (Elektronspin rezonancia)</b>	Értékelés:
A beadás dátuma: <b>2011. nov. 16.</b>	A mérést végezte:  <b>Szőke Kálmán Benjamin</b>  <b>Domokos Zoltán</b>	

# 1. Bevezetés

## 1.1. A mérés célja

A mérés során megmértük a  $Mn^{2+}$  és a  $Cr^{3+}$  elektronspin spektrumát. A kalibrációs anyagként használt  $Cr$  g-faktorának segítségével meghatároztuk a  $Mn$  g-faktorát, majd mindkét anyag hiperfinom kölcsönhatási állandóját, valamint a mintában lévő  $Mn$  atomok számát.

## 1.2. A mérés leírása

Az elektronspin-rezonancia spektroszkópiánál kétféle mágneses teret alkalmazunk. A  $B_0$  sztatikus tér hatására a Zeeman-alnívók figyelhetőek meg, a  $B_1 \sin(2\pi ft)$  oszcilláló tér pedig a már fölhasított energiaszintek között hoz létre átmeneteket. Ilyenkor teljesülnie kell a  $\Delta m_s = \pm 1$  kiválasztási szabálynak, és a  $hf = \Delta E = g\mu_B (B_0 + A \cdot m_I)$  rezonanciafeltételnek is, ahol  $g$  a g-faktor,  $\mu_B$  a Bohr-magneton,  $A$  a hiperfinom kölcsönhatási állandó,  $m_I$  pedig a mag mágneses kvantumszáma.

A mérés során a  $B_0$  sztatikus tér függvényében az elnyelt energiát mértük állandó  $f$  mikrohullámú frekvencia mellett. A kvarcüvegben tárolt mintát egy sztatikus mágneses térben lévő üregrezonátorba helyeztük. Ez csak egy adott  $f_0$  karakterisztikus frekvencián engedi át a mikrohullámokat. A pontosság miatt a mikrohullámokat egy klisztron szolgáltatja, aminek frekvenciaja  $10\text{ GHz}$ .

A mérés során jellemzően  $10\text{ GHz}$ -es frekvenciával,  $B_0 = 0.1\text{ T}$  sztatikus térrel mérünk. Azért mert a magasabb frekvenciájú jeleket nehezebb előállítani elektronikusan. Mivel hogy az energiaszintek véges élettartamúak, a kapott spektrumvonalak véges szélességű és amplitúdójú Lorentz-görbe alakú függvények.

$$f(x) = \frac{a}{1 + s \cdot (x - x_0)^2}$$

Itt  $x$  a  $B$  mágneses térerősség Gauss egységekben,  $x_0$  pedig az a térerősség, ahol az csúcs található. A mérőberendezésben a lock in letapogatás miatt az ESR-jel derivált alakú lesz.

$$\frac{df(x)}{dx} = \frac{-2a \cdot s \cdot (x - x_0)}{(1 + s \cdot (x - x_0)^2)^2}$$

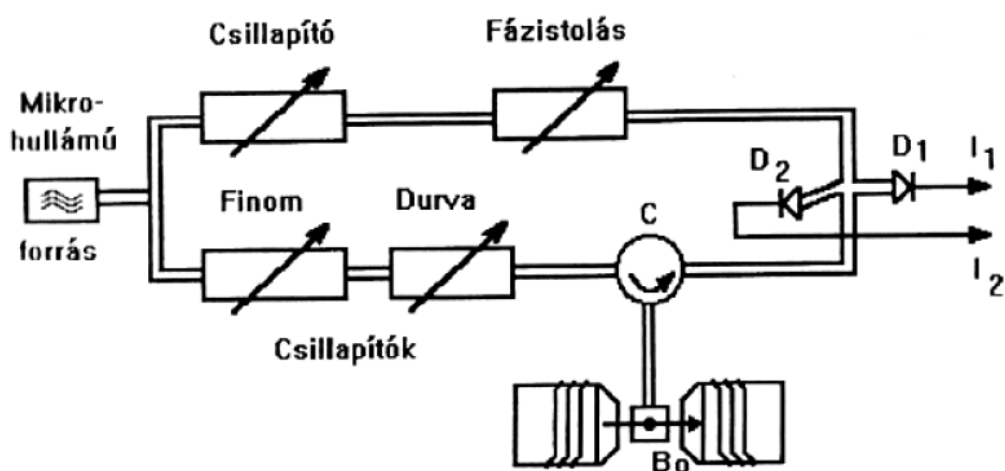
Ahol a  $c$  a null szinttől való eltérés.

Szükség van még az abszorpció görbe alatti területre.

$$T = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = \left[ \frac{a \cdot \arctg(\sqrt{s}(x_0 - x))}{\sqrt{s}} \right]_{-\infty}^{+\infty} = \frac{a\pi}{\sqrt{s}}$$

A paraméterek hibái a illesztésből számlhatók numerikusan. A terület hibáját pedig az alábbi módon adható meg.

$$\frac{\Delta T}{T} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta s}{s} + \frac{\Delta a}{a}$$



1. ábra. A mérési elrendezés

## 2. Kiértékelés

### 2.1. Cr ESR-spektruma

A spektrumban csak egy kiemelkedő csúcsot találunk. Feltehetőleg a csúcs mellett a zajban még vannak csúcsok, de ezek nem észlelhetőek sajnos. A középső csúcsnál a mérési tartomány változtatásával jobb felbontásban is megmértük a csúcsot.

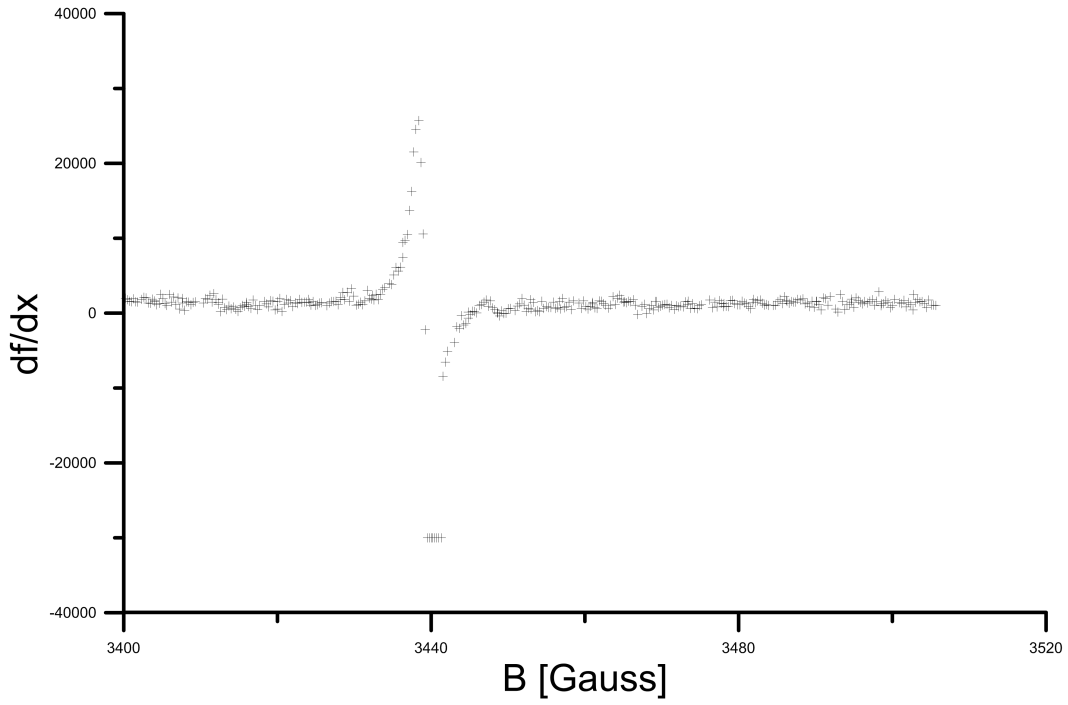
# Erősítés: 0 dB

# Érzékenység : 1 mV

# Időállandó : 100 ms

# Meredekség : 24 dB/D

# Moduláló frekvencia : 99000 Hz  
 # Moduláció amplitudója : 0.198 Gauss  
 # A mérés kezdőpontja : 3420 Gauss  
 # A mérés végpontja : 3470 Gauss



2. ábra. A *Cr* teljes ESR-spektruma

A *Cr* fő csúcsára illesztett Lorentz-görbe eredményei.

$$a = 27830 \pm 60$$

$$s = 0.419 \pm 0.002 [Gauss^{-2}]$$

$$c = -46 \pm 5$$

$$x_0 = 3439.04 \pm 0.01 [Gauss]$$

$$T = 135050 \pm 460 [Gauss]$$

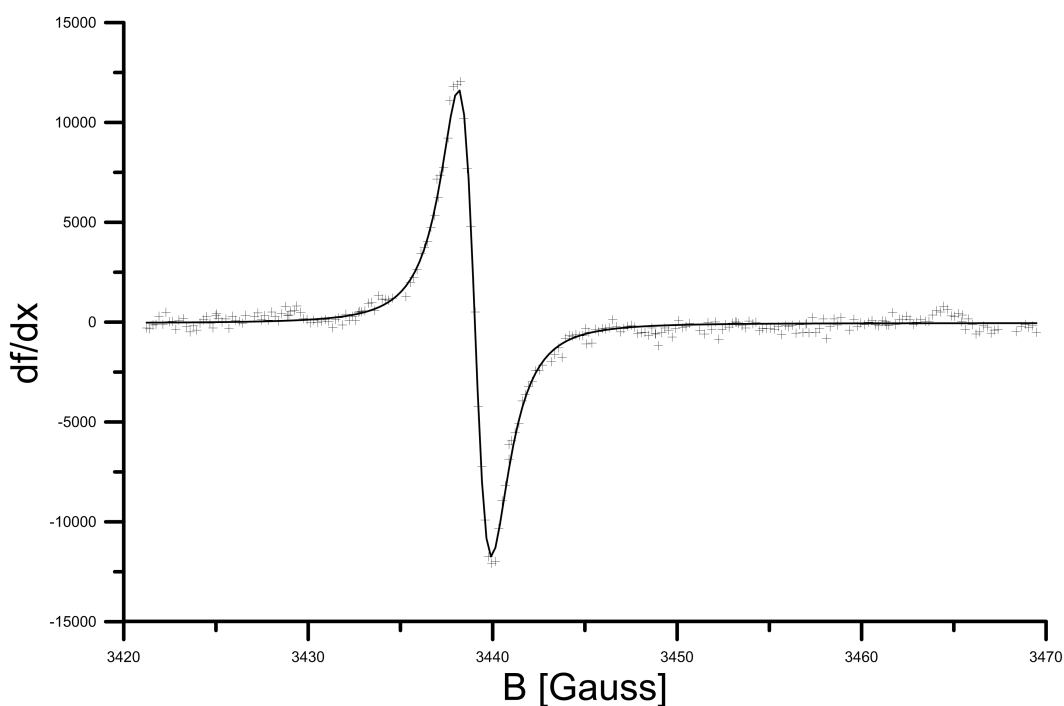
A teljes terület nagyságának kiszámításához felhasználjuk azt az összefüggést, hogy a kisebb csúcsok a fő csúcs 1/36-od részével egyeznek meg. Így megkapjuk a *Cr* atomok

által elnyelt energiát.

$$T_{Cr} = T + 4 \cdot \frac{1}{36}T = 150100 \pm 600 [Gauss]$$

A mérési leírásban megtalálható a *Cr* g-faktora ( $1.9800 \pm 0.0001$ ), valamint az atomok száma ( $\approx 8.3 \cdot 10^{13}$ ). Előbbiből megadható a mikrohullámú frekvencia.

$$f = \frac{g_{Cr}\mu_B x_0}{10^4 \cdot h} = 9.53055 \pm 0.0005 [GHz]$$



3. ábra. A *Cr* csúcsa (pontosabban)

## 2.2. Mn ESR-spektruma

A megmért spektrumban az egyes csúcsokra Lorentz-görbéket illesztettünk külön-külön.

# Erősítés: 0 dB

# Érzékenység : 5 mV

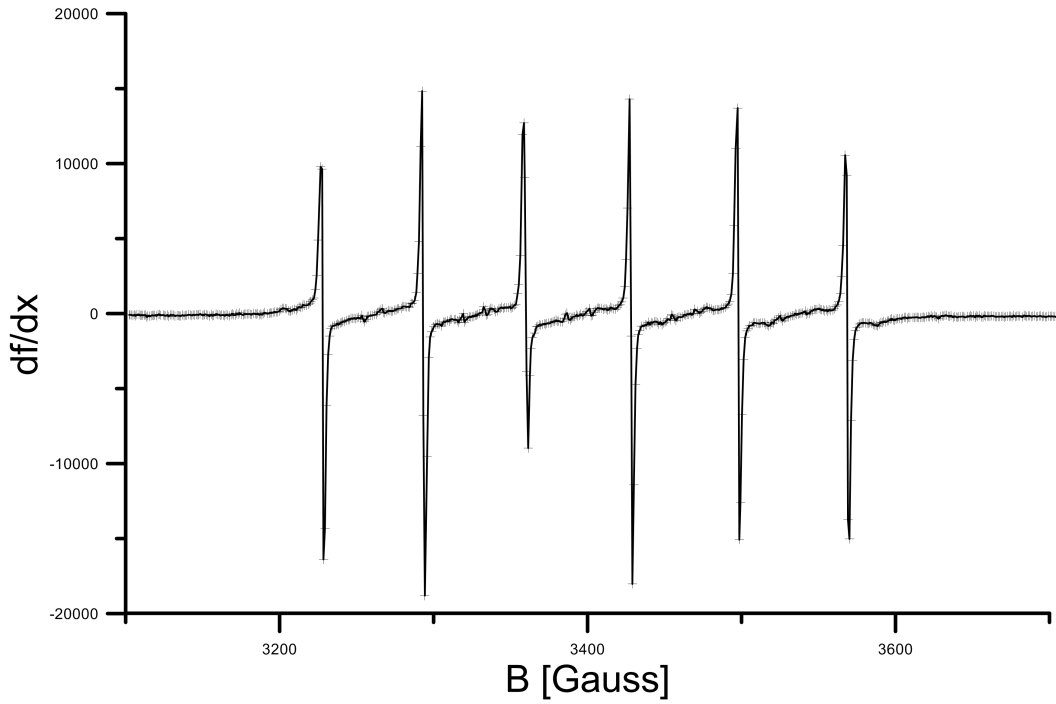
# Időállandó : 100 ms

# Meredekség : 24 dB/D

# Moduláló frekvencia : 99000 Hz  
# Moduláció amplitudója : 0.198 Gauss  
# A mérés kezdőpontja : 3100 Gauss  
# A mérés végpontja : 3700 Gauss

$Mn_i$	$a$	$s [Gauss^{-2}]$	$c$	$x_0 [Gauss]$	$T_i [Gauss]$
$Mn_1$	$36930 \pm 240$	$0.512 \pm 0.004$	$-27 \pm 9$	$3227.95 \pm 0.01$	$162100 \pm 1900$
$Mn_2$	$43090 \pm 220$	$0.402 \pm 0.003$	$-304 \pm 21$	$3293.17 \pm 0.01$	$2131100 \pm 1800$
$Mn_3$	$34920 \pm 320$	$0.222 \pm 0.005$	$41 \pm 16$	$3359.91 \pm 0.02$	$232400 \pm 2600$
$Mn_4$	$39190 \pm 270$	$0.421 \pm 0.004$	$-181 \pm 33$	$3428.29 \pm 0.02$	$189700 \pm 2100$
$Mn_5$	$38200 \pm 300$	$0.445 \pm 0.005$	$-93 \pm 20$	$3497.92 \pm 0.02$	$179700 \pm 2400$
$Mn_6$	$37170 \pm 240$	$0.448 \pm 0.003$	$-415 \pm 21$	$3568.67 \pm 0.01$	$174400 \pm 1900$

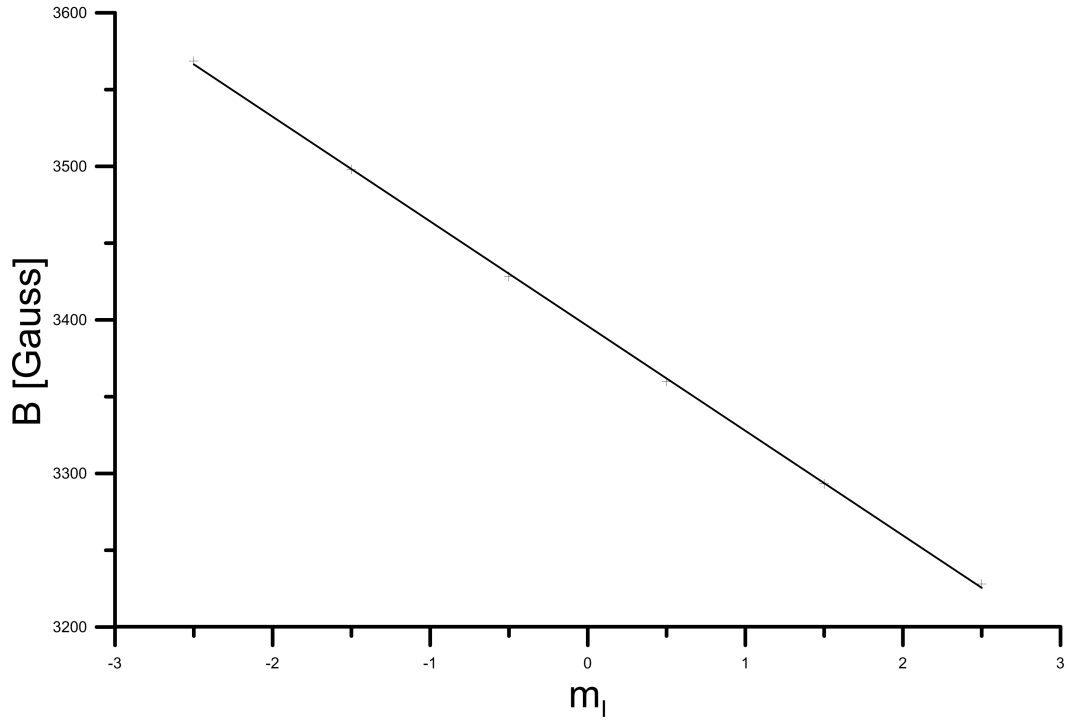
1. táblázat. Illesztett Lorentz görbék eredményei



4. ábra. A  $Mn$  teljes spektruma

A kapott hat csúcs egyenlő távolságra van egymástól, így a mágneses kvantumszámok ( $m_I$ ) és az elnyelési csúcsok maximumhelyei ( $x_0$ ) között lineáris kapcsolat van. Az ezekre illesztett egyenes tengelymetszete ( $b$ ) megadja a  $Mn$  g-faktorát ( $g_{Mn}$ ), meredekségből ( $m$ ) pedig a hiperfinom kölcsönhatási együttható ( $A_{Mn}$ ) meghatározható.

$$x_0 = -\frac{A}{g\mu_B}m_I + \frac{hf}{g\mu_B}$$



5. ábra. Az  $Mn$  abszorpciós csúcsainak helye a mágneses kvantumszám függvényében

$$m = -68.1 \pm 0.5 [Gauss]$$

$$b = 3396 \pm 0.8 [Gauss]$$

$$g_{Mn} = \frac{hf}{b\mu_B} = 2.0051 \pm 0.0006$$

$$A_{Mn} = -mg_{Mn}\mu_B = (1.27 \pm 0.01) \cdot 10^{-25} J$$

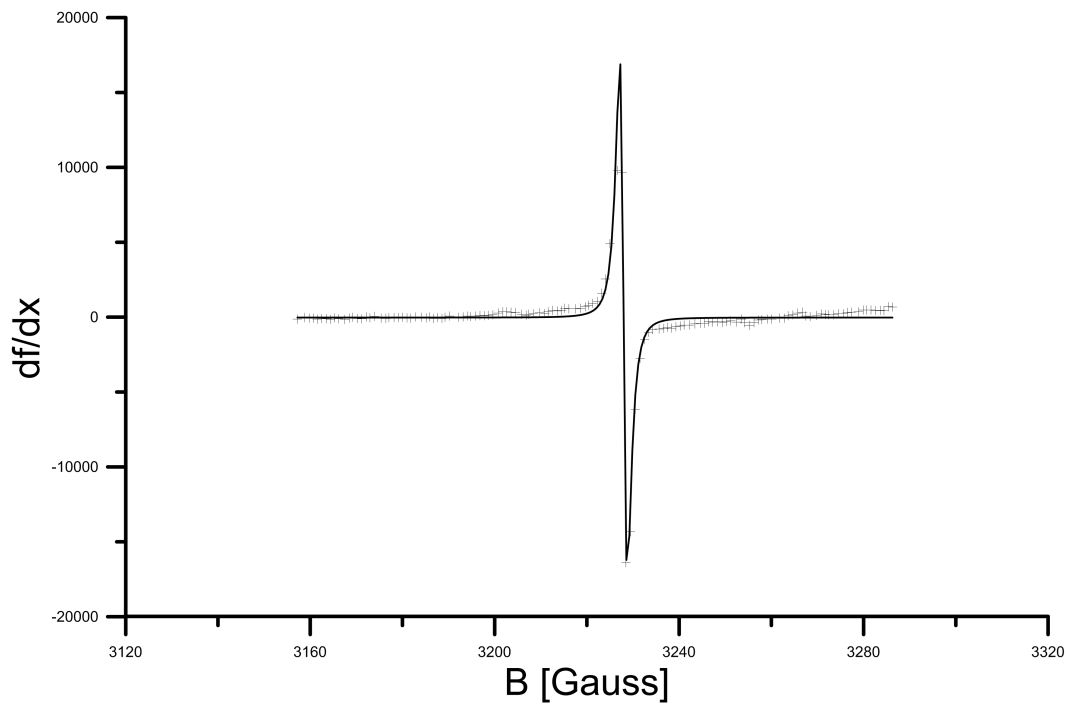
A  $Mn$  atomok száma meghatározható a függvények alatti területek és a  $Cr$  atomok számának ismeretében.

$$T_{Mn} = \sum_{i=1}^6 T_i = 3070000 \pm 13000 [Gauss]$$

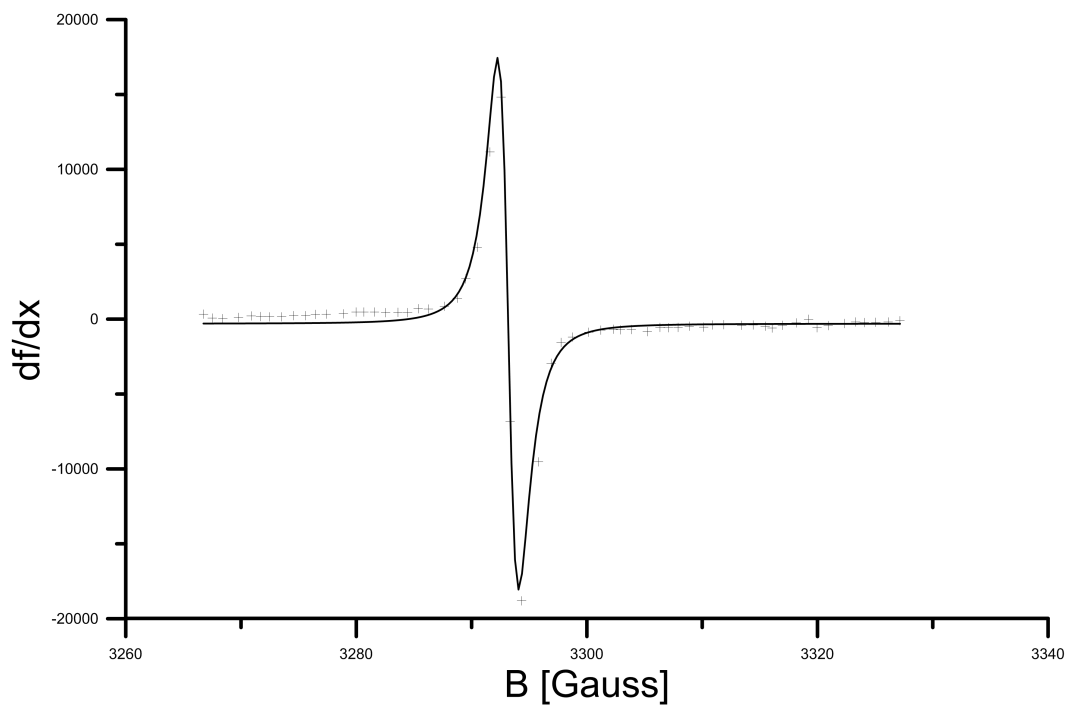
Mivel a két anyag vizsgálatánál a méréshatár-beállítás eltérő volt , így a számolt arányban ezt az eltérést figyelembe kell venni. Ez egy 5-szörös szorzót jelent itt.

$$N_{Mn} = 5 \cdot N_{Cr} \cdot \frac{T_{Mn}}{T_{Cr}} = (8.49 \pm 0.6) \cdot 10^{15}$$

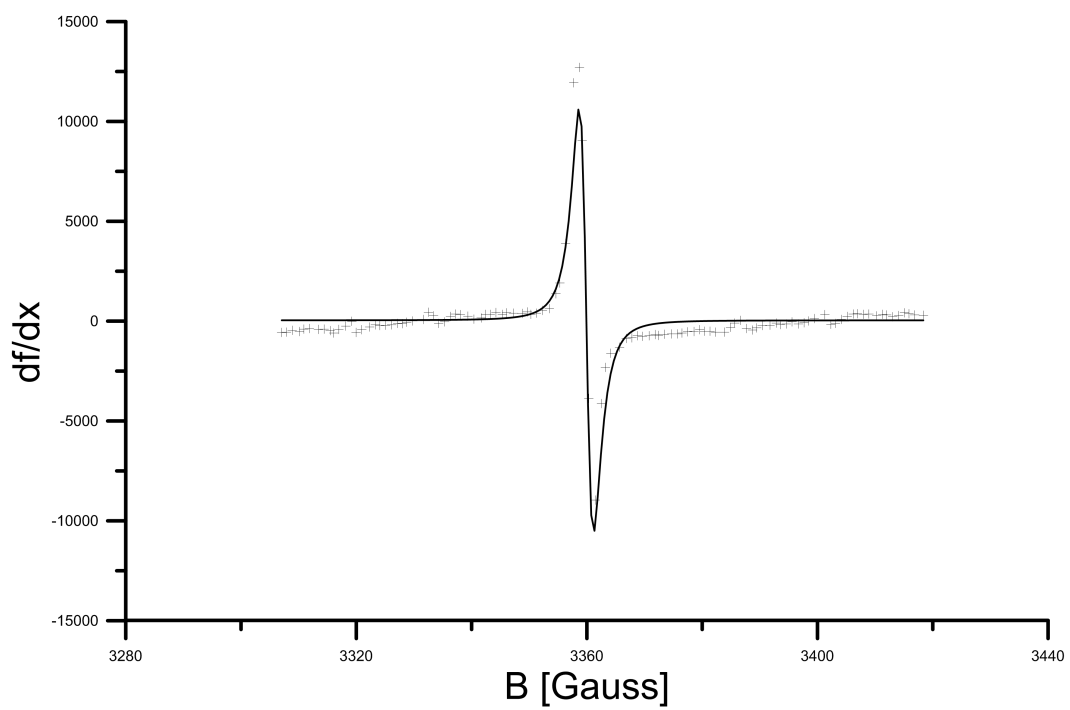
### 2.3. A többi mágneses kvantumszámhoz tartozó csúcsok



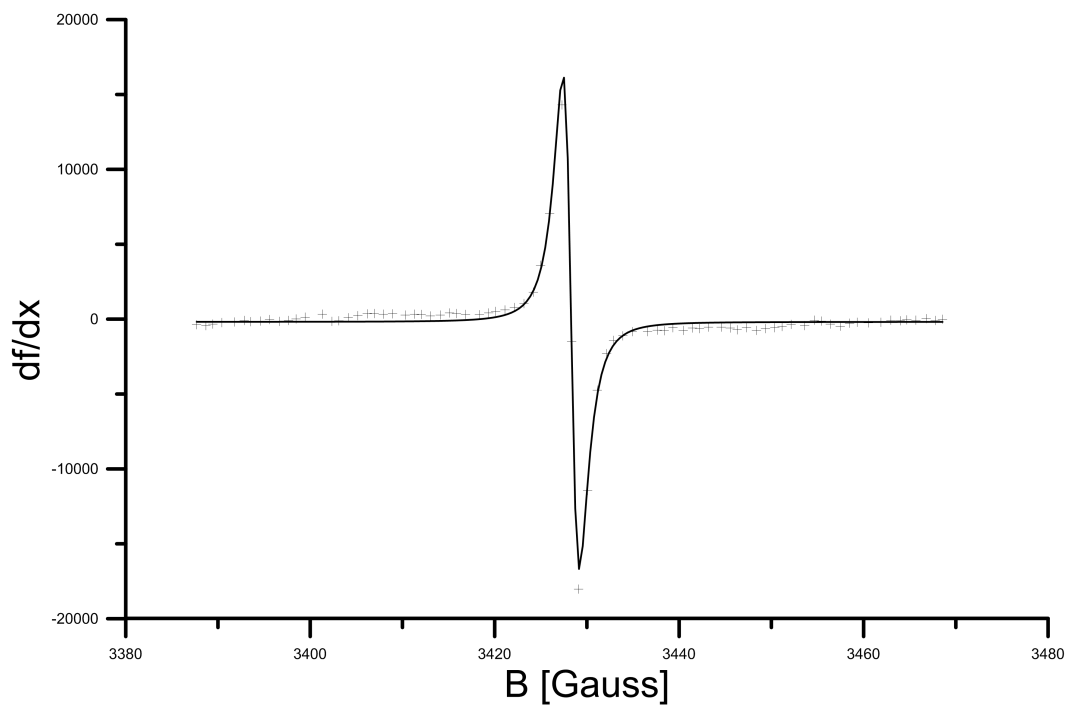
6. ábra. Első csúcs, ( $m = 5/2$ )



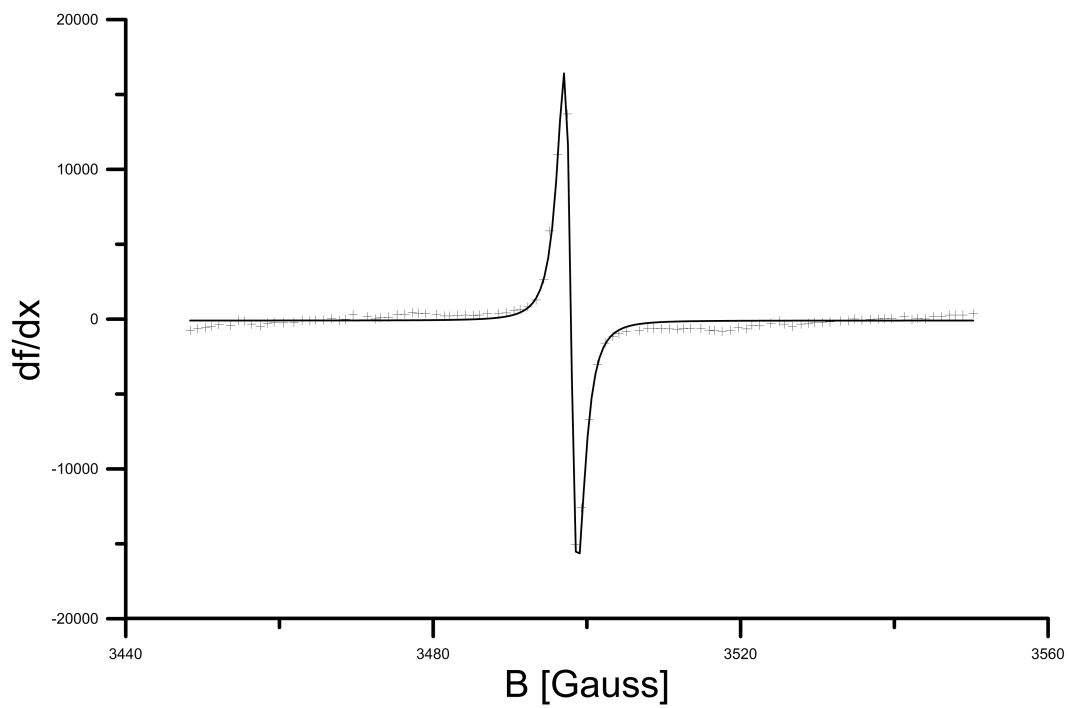
7. ábra. Második csúcs, ( $m = 3/2$ )



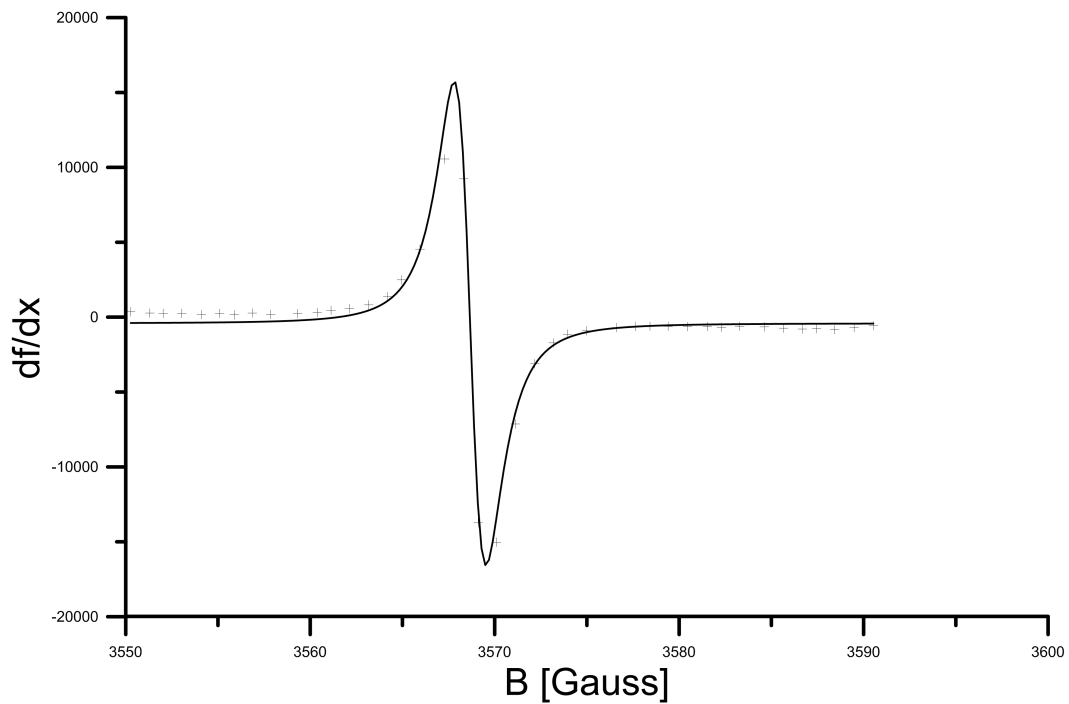
8. ábra. Harmadik csúcs, ( $m = 1/2$ )



9. ábra. Negyedik csúcs, ( $m = -1/2$ )



10. ábra. Ötödik csúcs, ( $m = -3/2$ )



11. ábra. Hatodik csúcs, ( $m = -5/2$ )

## Tartalomjegyzék

<b>1. Bevezetés</b>	<b>1</b>
1.1. A mérés célja . . . . .	1
1.2. A mérés leírása . . . . .	1
<b>2. Kiértékelés</b>	<b>2</b>
2.1. Cr ESR-spektruma . . . . .	2
2.2. Mn ESR-spektruma . . . . .	4
2.3. A többi mágneses kvantumszámhoz tartozó csúcsok . . . . .	7

## Hivatkozások

- [1] Modern fizikai laboratórium, ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 1995