

9. MŰZŰRDŰS

# Elektronspin-rezonancia

JEGYZŰKŰNYV

Katona DŰzŰvid

Nagy DŰzŰniel

Szigeti BalŰzŰzs

Fizika BSc 4. fŰzŰldŰzŰv

Szerda dŰzŰleldŰzŰtti csoport

MŰzŰrdŰs ideje:

2017. mŰzŰrcius 23.



MODERN FIZIKA LABORATŰRIUM

# 1. A mđžřrdžřs cdžřlja

A mđžřrdžřsdžřnk a cdžřlja, hogy  $\text{Cr}^{3+}$ , valamint  $\text{Mn}^{2+}$  ionokat tartalmazdžř minta elektronspin-rezonancia (ESR) spektrumdžřnak mđžřrdžřsdžřvel meghatdžřrozzuk a  $\text{Mn}^{2+}$  ion giromdžřgneses-faktordžřt, illetve a mintdžřban ldžřvdžř atomok szdžřmdžřt, valamint  $\text{Mn}^{2+}$  džřs  $\text{Cr}^{3+}$  hiperfinom-kdžřlcsdžřnhatdžřsi egydžřtthatdžřjdžřt.

## 2. Mdžřřrdžřřsldžřřrdžřřs

### 2.1. Elmdžřřleti hdžřřtdžřř

Az ESR mđžřřrdžřřs alapja, hogy Zeeman-felhaddžřřst hozunk ldžřřtre sztaticus mđžřřgneses tdžřř segdžřřtsdžřřgdžřřvel. Ekkor a ldžřřtrejdžřřtt Zeeman-alndžřřvdžřřk kdžřřzdžřřtt elektromdžřřgneses gerjesztdžřřs segdžřřtsdžřřgdžřřvel džřřtmeneteket hozunk ldžřřtre. Az rezonancia feltdžřřtele:

$$h\nu = g\mu_B B_0 + Am_I \quad (1)$$

Ahol  $h$  a Planck-džřřllanddžřř,  $g$  az džřřn.  $g$ -faktor,  $\mu_B$  a Bohr-magneton,  $\nu$  a gerjesztdžřřsi elektromdžřřgneses hulldžřřm frekvencidžřřja,  $A$  az džřřn. finomszerkezeti džřřllanddžřř, džřřs  $m_I$  a magspin  $B_0$  irdžřřnydžřř vetdžřřlete. Ez utdžřřbbi  $\pm I$  kdžřřzt vdžřřltozhat, tehdžřřt  $2I + 1$  džřřrtdžřřket vehet fel. A hiperfinom kdžřřlcsdžřřnhatdžřřs eredmdžřřnyekdžřřpp az elektronok energiaszintje is ennyi ndžřřvdžřřra hasad. Mivel a kivdžřřlasztdžřřsi szabdžřřly szerint csak a  $\Delta m_S = \pm 1$  džřřtmenetek engeddžřřlyezettek, ezdžřřrt az ESR spektrumban is ennyi csdžřřcsot mđžřřrdžřřnk adott mag esetdžřřn. A kdžřřpet džřřnyalja, hogy az adott mintdžřřban egy elem tdžřřbbfdžřřle izotdžřřpja is szerepelhet, džřřgy ezek džřřsszegdžřřt mđžřřrdžřřk, ahol a gdžřřrbe alatti terdžřřlet az adott  $I$ -jdžřř atomok szdžřřmdžřřval ardžřřnyos. A mđžřřrdžřřs sordžřřn  $B_0$  džřřrtdžřřkdžřřt vdžřřltoztattuk džřřs annak a fdžřřggvdžřřnydžřřben mđžřřrtdžřřk az abszorpcidžřřt.

A mđžřřrdžřřs sordžřřn a  $B_0$  sztaticus mđžřřgneses tdžřřř mellett alkalmazunk egy džřřllanddžřř frekvencidžřřjdžřř gerjesztdžřřst, amellyel az džřřtmeneteket hozunk ldžřřtre. A mđžřřrdžřřsrdžřřl a jobb jel/zaj ardžřřny džřřrdek džřřben, lock in technikdžřřt alkalmaztunk, amelynek a ldžřřnyege, hogy a mđžřřrdžřřsi alatti mđžřřgneses tdžřřřret moduldžřřljuk 100kHz-ces peridžřřdkus jellel džřřs ennek segdžřřřtsdžřřgdžřřvel kiszdžřřřrdžřřk a pontosan ugyandžřřgy vdžřřltozdžřř komponenst. A lock in technika kdžřřvetkeztdžřřben az ESR-jel derivdžřřřtdžřřt kapjuk, azaz idedžřřlis esetben

Lorentz-gd'z'rd'z'k derivd'z'ljait regisztrd'z'ljuk.

## 2.2. Md'z'rd'z'si eszkd'z'zd'z'k

- Elektronspinrezonancia-spektroszkd'z'p
- Szd'z'md'z'td'z'gd'z'p
- $\text{Mn}^{2+}$  d'z's  $\text{Cr}^{3+}$  mintd'z'k

## 3. Adatok d'z's kid'z'rt d'z'keld'z's

### 3.1. Krd'z'm(III) ESR-spektruma

A termd'z'szetben krd'z'mnak hd'z'rom stabil  $I = 0$  magspind'z' izotd'z'pja fordul eld'z' ( $^{50}\text{Cr}$ ,  $^{52}\text{Cr}$ , illetve  $^{54}\text{Cr}$ ), amelyek az atomok 90.50%-t adjd'z'k. Ezen feld'z'l az  $I = 3/2$  magspind'z'  $^{53}\text{Cr}$  adja az atomok 9.50%-d'z't. A mintd'z'rd'z'l kis ld'z'ptetd'z'ssel felvettd'z'k az ESR-spektrumot. Az elmd'z'letnek megfeleld'z'en egy fd'z'csd'z'cs jelent meg, mellette 4 gyengd'z'n ld'z'thatd'z' kisebb csd'z'csal (1. d'z'bra). A fd'z'csd'z'csra Lorentz-gd'z'rbe derivd'z'ltjd'z't illesztettd'z'k. A Lorentz-gd'z'rbe a kd'z'vetkezd'z' alakd'z':

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

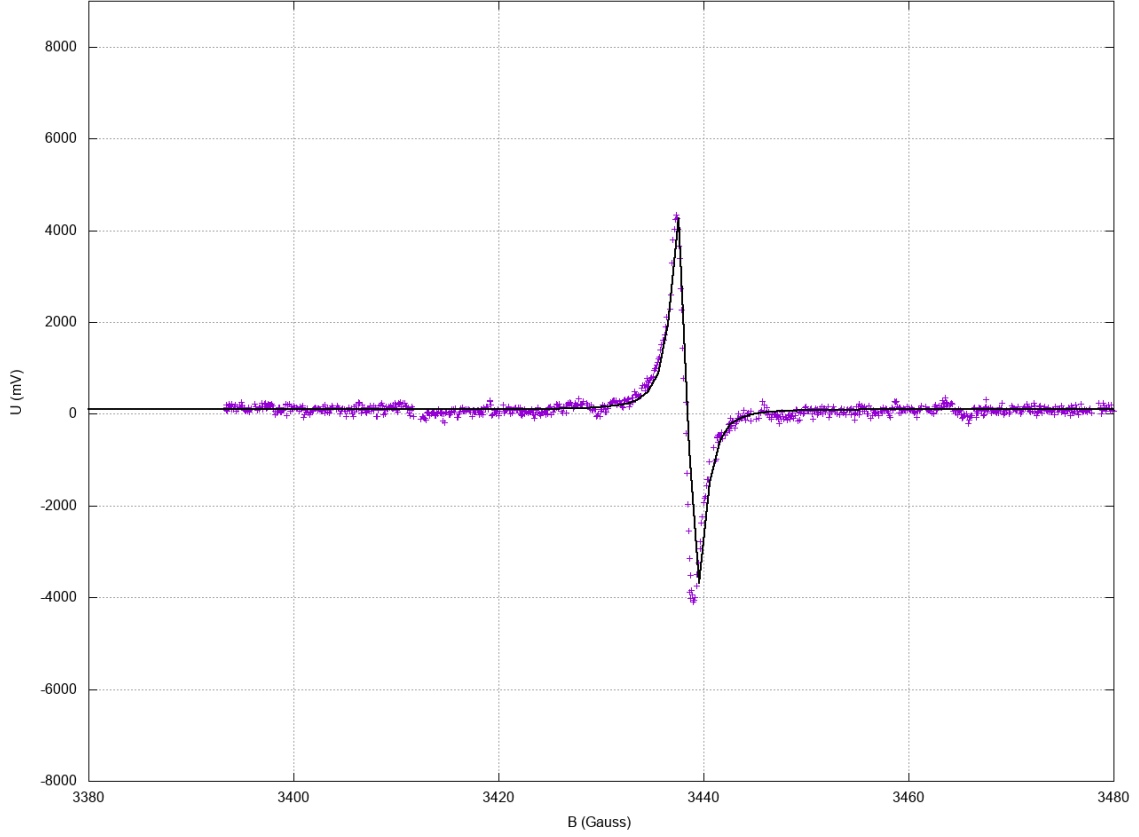
tehd'z't a derivd'z'ltja:

$$\frac{df}{dx} = \frac{-2as(x - x_0)}{(1 + s(x - x_0)^2)^2} \quad (3)$$

Az illesztett gd'z'rbe adatait az 1. td'z'bld'z'zat tartalmazza (egy c offsetet is beledefinid'z'lva a fenti kd'z'pletbe).

$a$ (0.5mV)	$s$ (Gauss <sup>-2</sup> )	$x_0$ (Gauss)	$c$ (0.5mV)
$17524 \pm 455.7$	$0.610 \pm 0.024$	$3438.50 \pm 0.0497$	$100 \pm 22.55$

1. táblázat. A Cr<sup>3+</sup>-minta esetében mért ESR jelre illesztett görbe paramétereit



1. ábra. A mért adatok, és az illesztett derivált Lorentz-görbe Cr<sup>3+</sup> minta esetében

A Cr<sup>3+</sup> g-faktornak ismeretében (4) kiszámolható a gerjesztési frekvencia (5. egyenlet).

$$g_{Cr} = 1.98 \pm 0.0001 \quad (4)$$

$$\nu = \frac{g_{Cr}\mu_B B_0}{h} = 9.529 \text{ GHz}, \delta\nu = 6 \times 10^{-4} \quad (5)$$

A Cr-mintd  ban ld  vd   atomok szd  md  t ismerjd  k:  $N_{Cr} = 8,3 \times 10^{13}$ . Ezt, valamint a  $Cr^{3+}$ -minta csd  csok alatti terd  letd  t felhaszn  ljuk a  $Mn^{2+}$  mennyisd  gd  nek meghat  rozd  sd  hoz. A Lorentz-gd  rbe alatti terd  letet a 6. egyenlet adja meg.

$$T = \int_{-\infty}^{\infty} dx \frac{a}{(1 + s(x - x_0)^2)} = \frac{\pi a}{\sqrt{s}} \quad (6)$$

Ezek alapjd  n a fd  csd  cs alatti terd  let (7):

$$T_{Cr,I=0} = (35244 \pm 1610)mV \times Gauss \quad (7)$$

Ez alapjd  n a teljes mintd  ra (8):

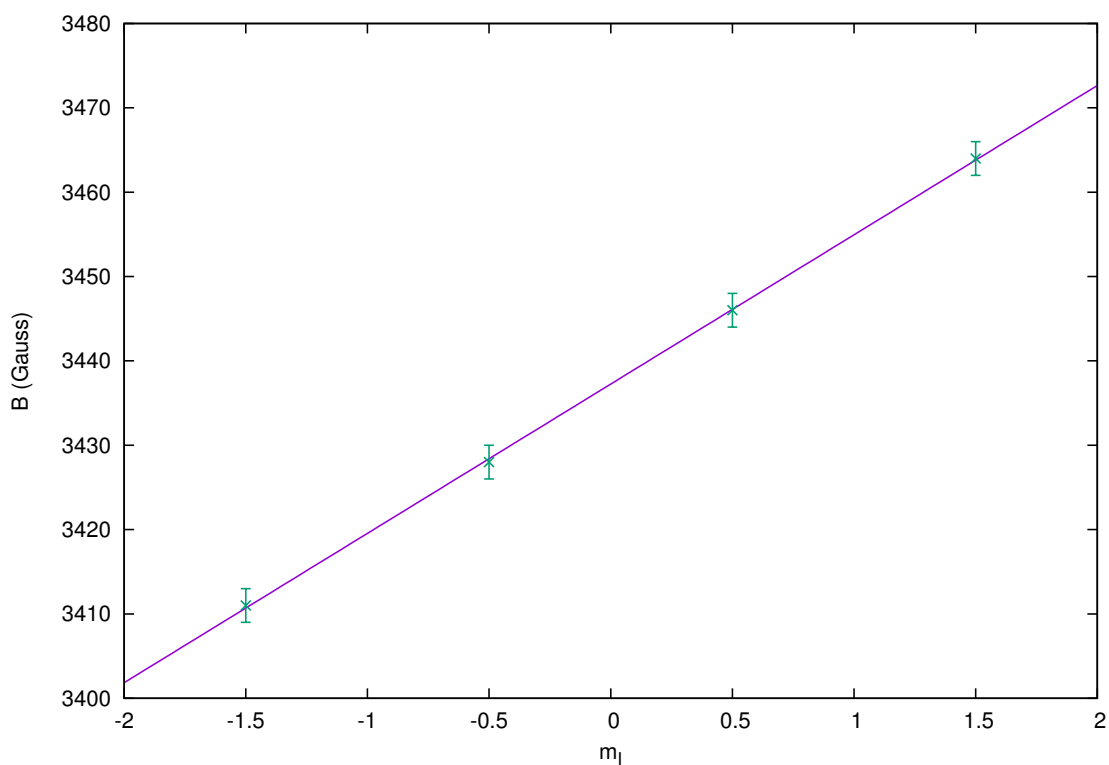
$$T_{Cr} = T_{Cr,I=0}/0.9050 = (38943 \pm 1780)mV \times Gauss \quad (8)$$

d  gy az iononkd  nti terd  let (9):

$$Z := T_{Cr}/N_{Cr} = (4.692 \pm 0.215) \times 10^{-10}mV \times Gauss \quad (9)$$

A kis jel/zaj ard  ny miatt a 4 kisebb csd  cs helye csak hozzd  vetd  legesen hat  rozhat  k meg, gd  rbe nem illeszthet   rd  juk. A nd  gy csd  cs helye:  $B_1 = 3411$  Gauss,  $B_2 = 3428$  Gauss,  $B_3 = 3446$  Gauss,  $B_4 = 3464$  Gauss, a hib  juket 2 Gaussnak becs  ltem (2. d  bra) . A pontokra egyenest illesztve  $\Delta B = 17.7 \pm 0.17$  Gauss. Ezek alapjd  n a hiperfinom felhasad  si d  lland  :

$$A_{Cr} = g_{Cr}\mu_B\Delta B = (3.25 \pm 0.03) \times 10^{-26}J \quad (10)$$



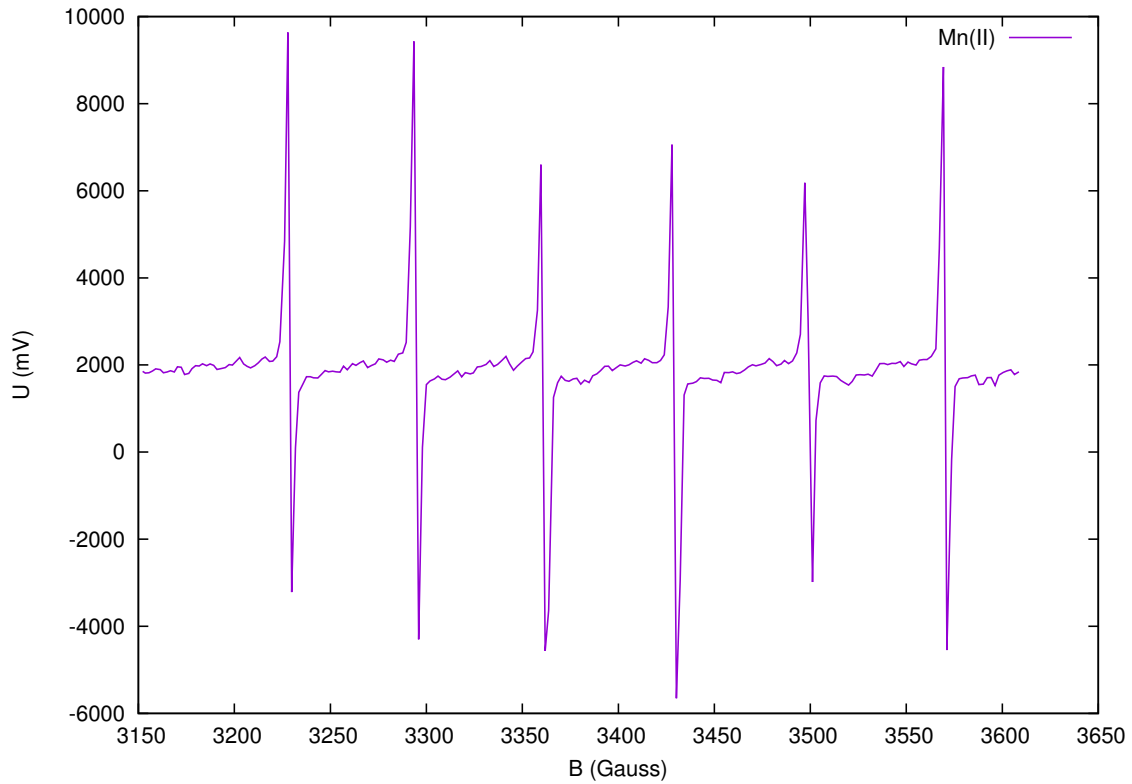
2. ábra. Cr minta  $I = 3/2$  magspindű csúcsai dűs az illesztett egyenes

### 3.2. Mangdűn(II) ESR-spektruma

A mintdűban egydűle ion, a  $^{55}\text{Mn}^{+2}$  spektrumdűt regisztrdűltuk (3. dűbra). A spektrum az  $I = 5/2$  magspinnek megfeleldűen 6 csdűcsot mutat. Az egye csdűcsokdűl nagyobb felbontdűssel kdűszdűtetdűnk regisztrdűtumokat, melyekre Lorentz-gdűrbdűket illesztetdűnk (1. fdűggeldűk 5-10. dűbra). Ezek adatait a 2. tdűbldűzat tartalmazza.

$m_I$	$a$ (2mV)	$s$ (Gauss) $^{-2}$	$x_0$ (Gauss)	$c$ (2mV)
-2.5	$12930 \pm 432.3$	$0.812 \pm 0.023$	$3225.00 \pm 0.0634$	$-50 \pm 16.25$
-1.5	$12930 \pm 443.4$	$0.889 \pm 0.025$	$3290.40 \pm 0.0578$	$-154 \pm 31.28$
-0.5	$11930 \pm 426.2$	$0.989 \pm 0.027$	$3357.20 \pm 0.0582$	$-284 \pm 45.12$
0.5	$13050 \pm 456.1$	$0.783 \pm 0.024$	$3425.36 \pm 0.0332$	$-284 \pm 45.7$
1.5	$11924 \pm 439.1$	$1.005 \pm 0.022$	$3495.02 \pm 0.0435$	$-104 \pm 25.67$
2.5	$11524 \pm 447.2$	$0.910 \pm 0.027$	$3565.82 \pm 0.0523$	$-554 \pm 132.85$

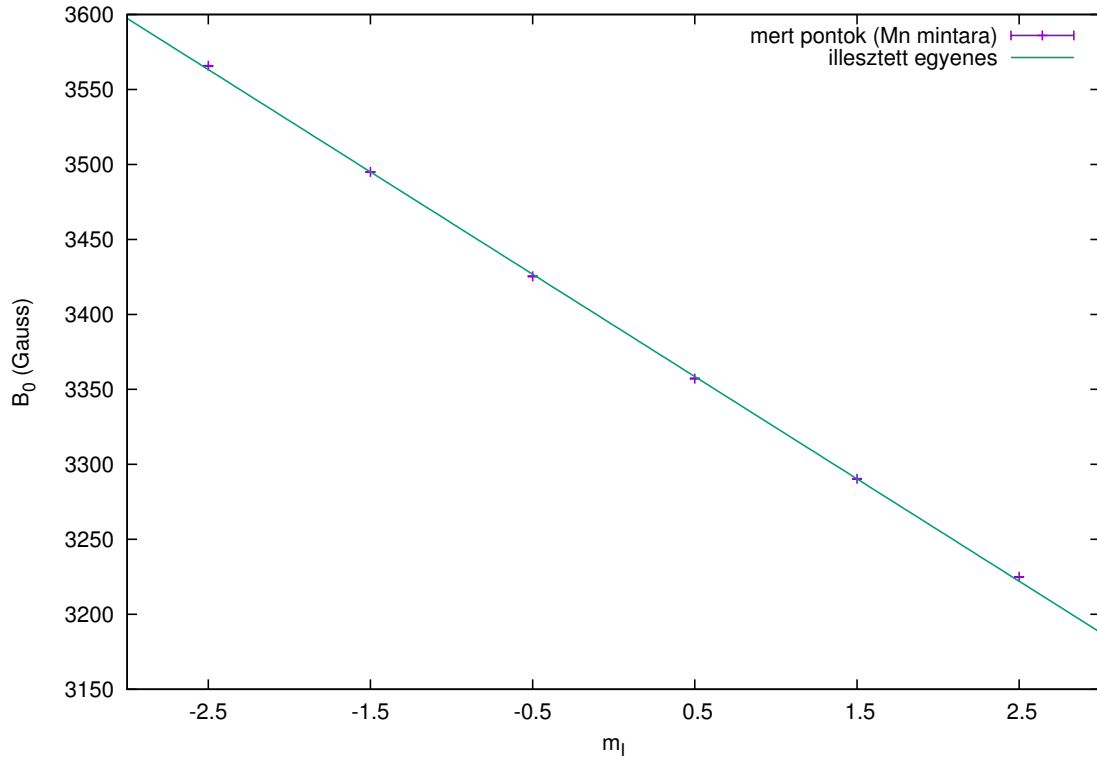
2. táblázat. A  $Mn^{2+}$ -minta esetében az ESR jelre illesztett görbe paraméterei



3. ábra.  $Mn^{2+}$  minta teljes spektruma nagy léptékkel

A  $m_I$  függvényében ábrázolva a  $Mn^{2+}$  spektrumában megjelölendő csúcsok helyeit, akkor egy egyenest kapunk (11. egyenlet).

$$B_0 = -\frac{A}{g_{Mn}\mu_B}m_I + \frac{h\nu}{g_{Mn}\mu_B} \quad (11)$$



4. ábra.  $B(m_I)$  pontokra illesztett egyenes ( $y = mx + b$ ). Paraméterei:  $m_{egyes} = -68.24 \pm 0.55$ ,  $b = 3392.7 \pm 0.8$

Az illesztett egyenes paramétereiből meghatározható a  $g_{Mn}$  és az  $A$  hiperfinom kölcsönhatási tényező (12, 13).

$$g_{Mn} = \frac{h\nu}{\mu_B b} = 2.007 \pm 0.002 \quad (12)$$

$$A_{Mn} = -m_{egyes} g_{Mn} \mu_B = (1.27 \pm 0.01) \times 10^{-25} J \quad (13)$$



### 3.2.1. Mn(II)-ionok szd'z'~md'z'~nak meghatd'z'~rozd'z'~sa

md'z'~rd'z'~s	$T$ (2mV $\times$ Gauss)
1	$(4.5079 \pm 0.02) \cdot 10^4$
2	$(4.3082 \pm 0.02) \cdot 10^4$
3	$(3.7687 \pm 0.02) \cdot 10^4$
4	$(4.6332 \pm 0.02) \cdot 10^4$
5	$(3.7367 \pm 0.02) \cdot 10^4$
6	$(3.7941 \pm 0.02) \cdot 10^4$

3. táblázat. A  $Mn^{2+}$ -minta esetd'z'~ben a Lorentz-gd'z'~rbe alatti terd'z'~letek

A csd'z'~csok alatti terd'z'~leteket mutatja a 3. td'z'~bld'z'~zat. Ezek d'z'~sszege (14):

$$T_{Mn} = (4.950 \pm 0.24) \times 10^5 mV \times Gauss \quad (14)$$

Ebbd'z'~l becsd'z'~lhetd'z'~ a  $Mn^{2+}$  ionok szd'z'~ma, felhasznd'z'~lva a  $Cr^{3+}$ nd'z'~l md'z'~rteket (15):

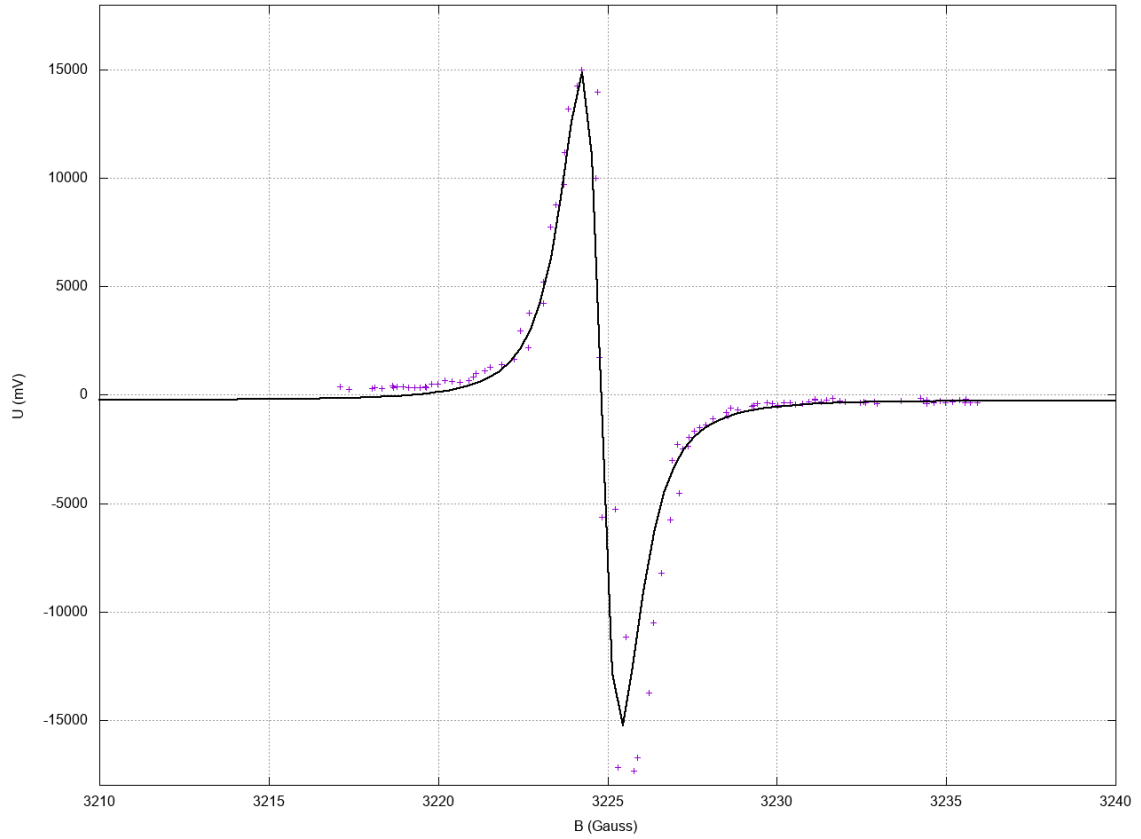
$$N_{Mn} = T_{Mn}/Z = (1.05 \pm 0.10) \times 10^{15} \quad (15)$$

## 4. Diszkussid'z'~

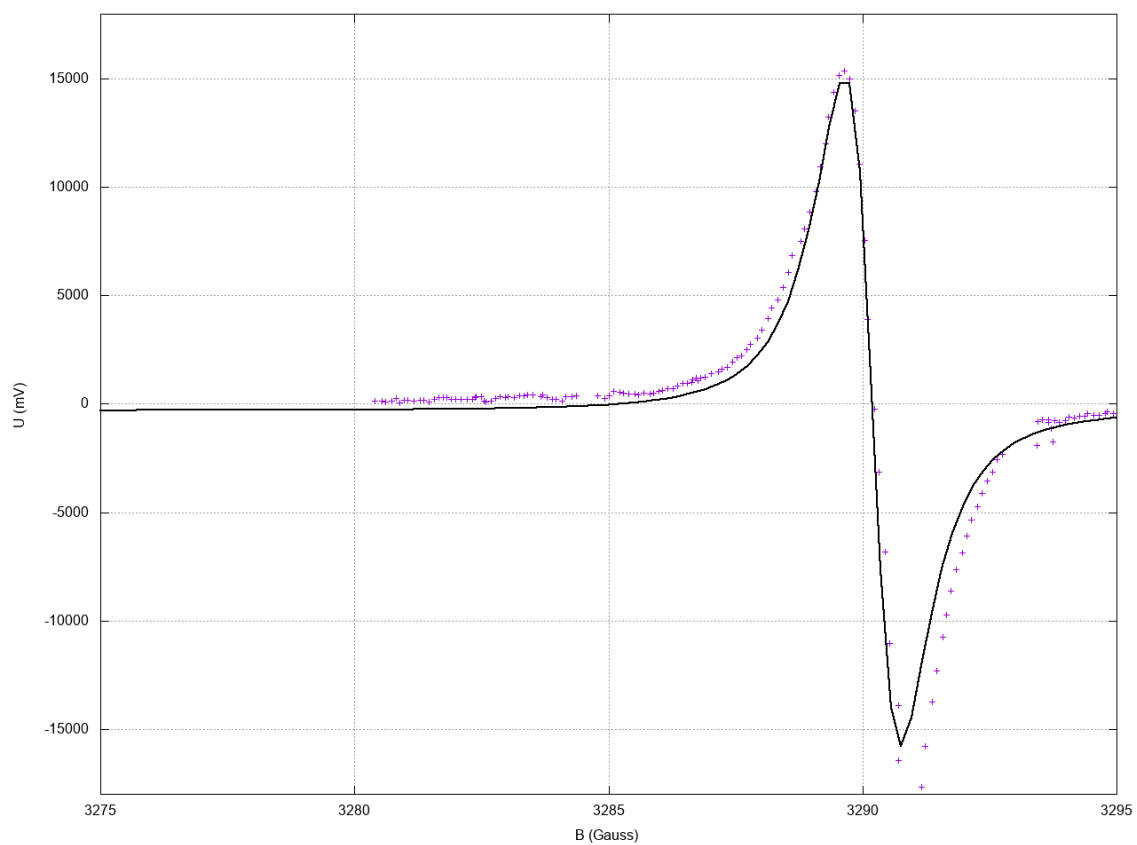
A gyakorlat sord'z'~n megmd'z'~rt d'z'~k  $Cr^{3+}$  illetve  $Mn^{2+}$  ionok ESR-spektrumd'z'~t. A  $Cr^{3+}$ -minta 90.50%  $I = 0$  spind'z'~ magot ( $^{50}Cr$ ,  $^{52}Cr$ ,  $^{54}Cr$ ), md'z'~g 9.50%-ban  $I = 3/2$  spind'z'~ magot ( $^{53}Cr$ ) tartalmaz. Ennek megfeleld'z'~en a spektrumban egy jd'z'~l ld'z'~thatd'z'~ csd'z'~cs jelent meg. Az  $I = 3/2$  magspin hatd'z'~sd'z'~ra a hiperfinom-felhasadd'z'~s kd'z'~vetkezt d'z'~ben megjelend'z'~ 4 kisebb csd'z'~cs d'z'~pphogy ld'z'~thatd'z'~an jelenik csak meg (a magok jd'z'~val kisebb szd'z'~ma d'z'~s a nd'z'~gyfeld'z'~ hasadd'z'~s kd'z'~vetkezt d'z'~ben), amely alapjd'z'~n becsd'z'~lhetd'z'~ volt a  $Cr^{3+}$ -ra jellemzd'z'~ hiperfinom kd'z'~lcsd'z'~nhatd'z'~si d'z'~llandd'z'~  $A_{Cr} = (3.3 \pm 0.2) \times 10^{-26} J$ . A  $Mn^{2+}$ -minta ESR spektrumd'z'~m 6, egymd'z'~std'z'~l azonos td'z'~volsd'z'~gd'z'~ csd'z'~csot figyelt d'z'~nk meg, amely megfelel annak, hogy a minta csupd'z'~n  $^{55}Mn$  magot tartalmaz, amelyre  $I = 5/2$ . A  $Cr^{3+}$ -minta md'z'~rd'z'~sd'z'~bd'z'~l meghatd'z'~rozott frekvencia birtokd'z'~ban a

$\text{Mn}^{2+}$ -ra a giromdőlőgneses faktor  $g = 2.007 \pm 0.002$ -nak addólódott. A hat csdőlőcs helydőlőre egyenest illsztove pedig a finom kdőlőlcsdőlőnhadőlősi dőlőllanddőlőt kaptuk meg, melyre  $A_{Mn} = (1.27 \pm 0.01) \times 10^{-25} J$  addólódott.

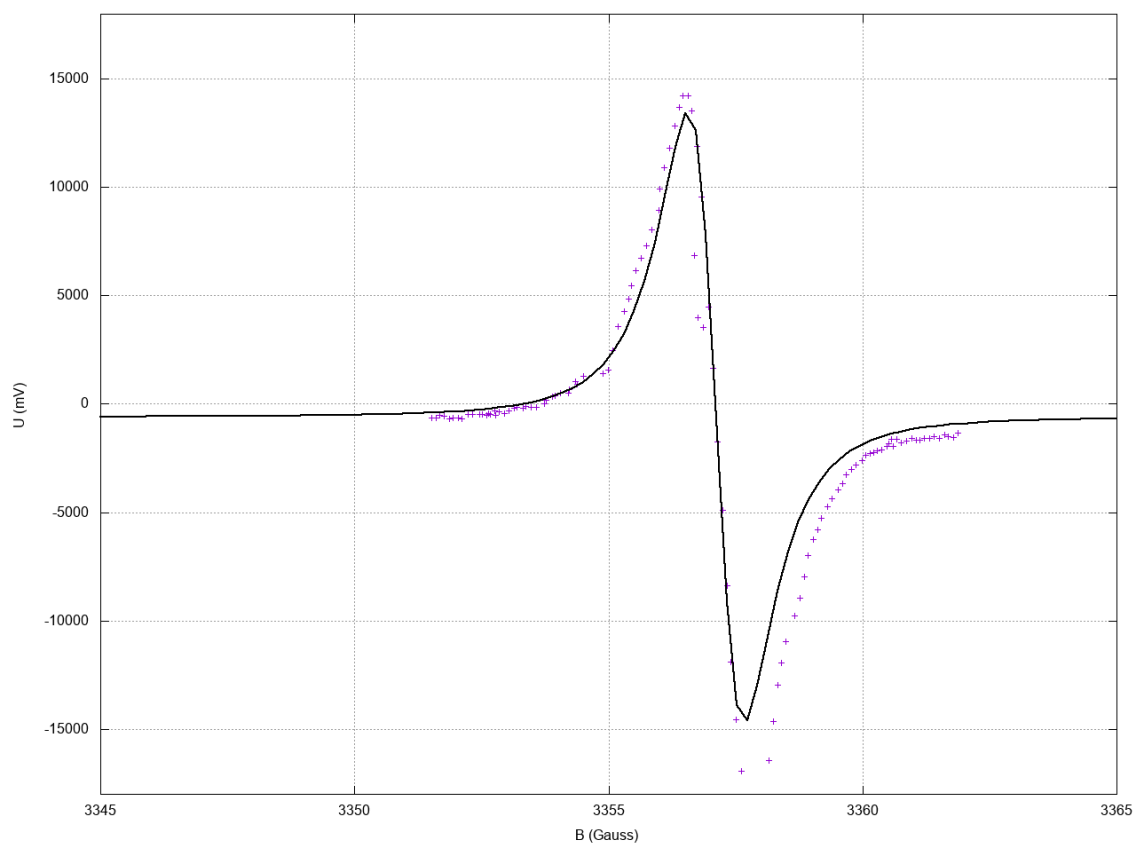
## 5. Fdőlőggeldőlők



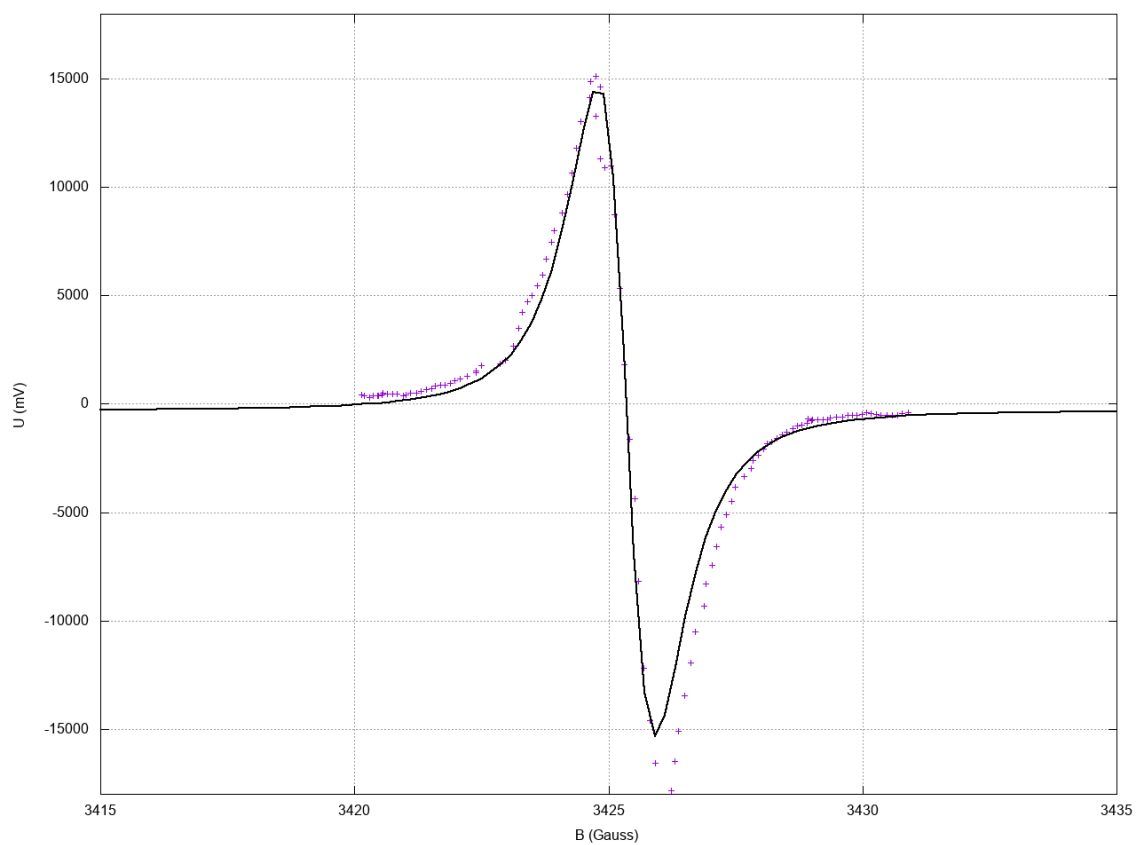
5. ábra. A mdőlőrdőlősi adatok, dőlősz az illesztett derivdőlőlt Lorentz-gdőlőrbe Mn minta esetdőlőn,  $m_I = 5/2$



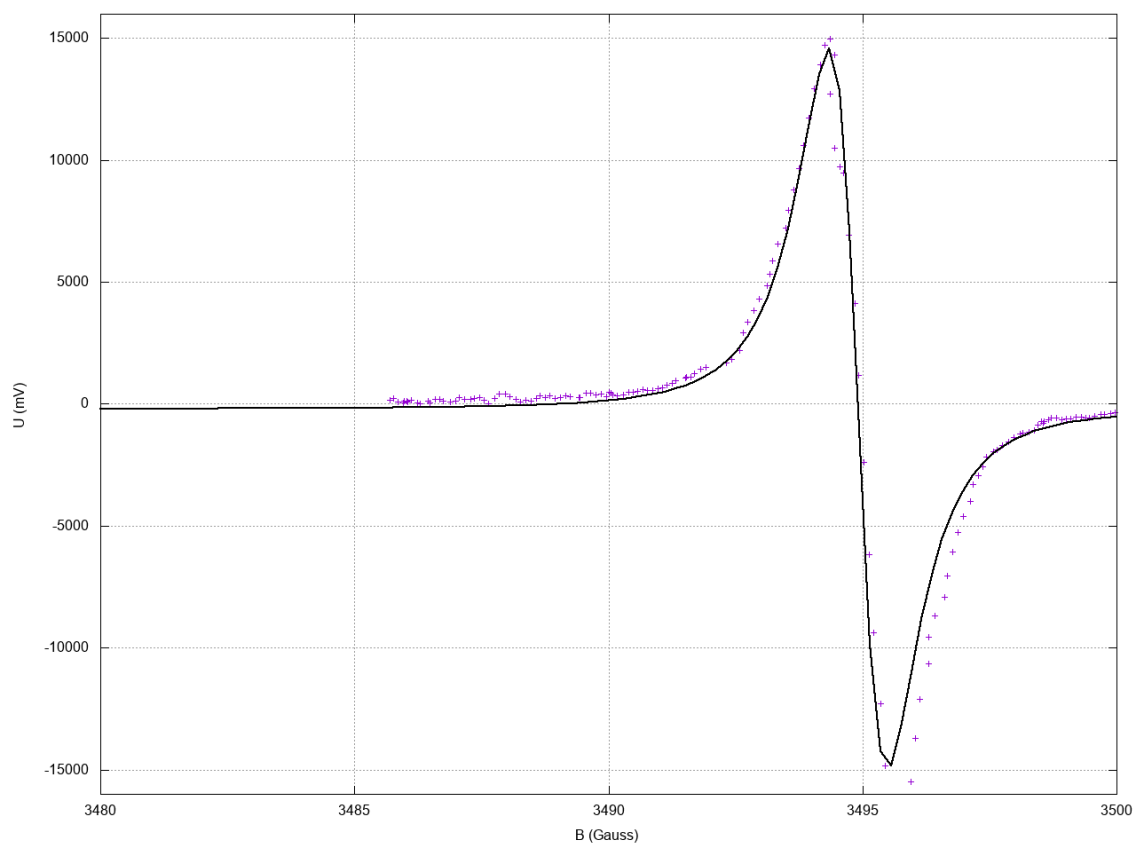
6. ábra. A mérési adatok, és az illesztett derivált Lorentz-görbe Mn minta esetében,  $m_I = 3/2$



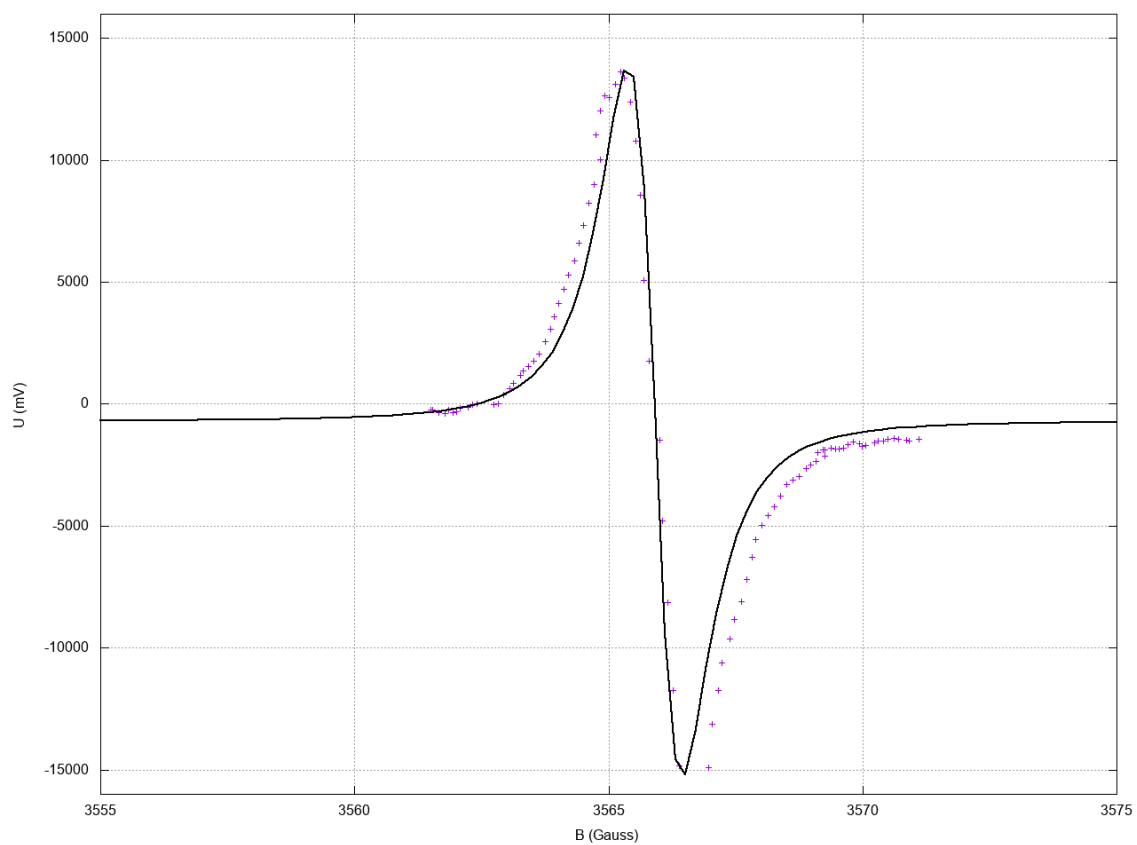
7. ábra. A mérési adatok, és az illesztett derivált Lorentz-görbe Mn minta esetében,  $m_I = 1/2$



8. ábra. A mérési adatok, és az illesztett derivált Lorentz-görbe Mn minta esetében  $m_I = -1/2$



9. ábra. A mérési adatok, és az illesztett derivált Lorentz-görbe Mn minta esetében,  $m_I = -3/2$



10. ábra. A mérési adatok, és az illesztett derivált Lorentz-görbe Mn minta esetén,  $m_I = -5/2$