

A Mössbauer-effektus vizsgálata

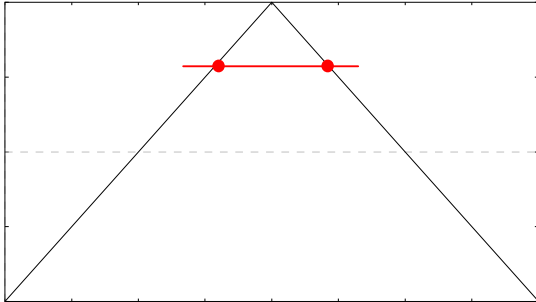
Tóth Bence

fizikus, 3. évfolyam

2006.03.30. csütörtök

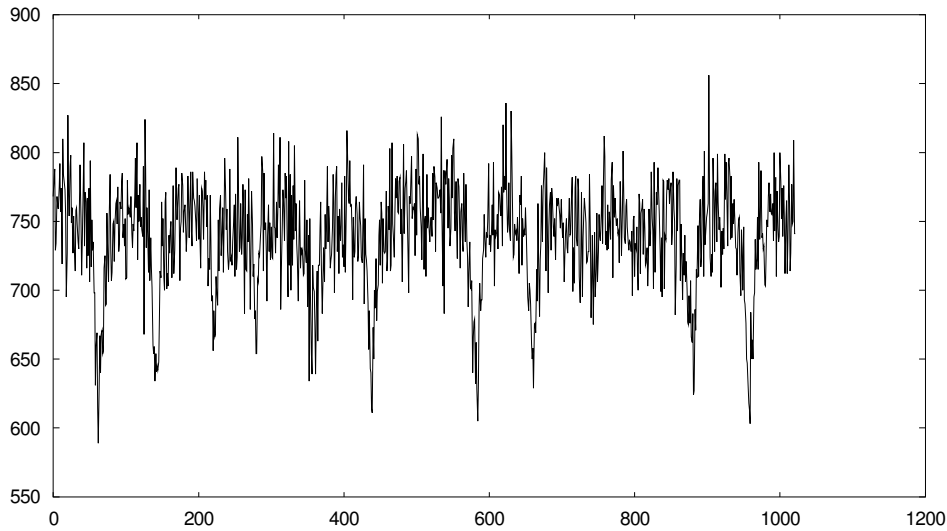
beadva: 2005.04.20.

1 A mérés célja három minta: lágymas, nátrium-nitroprusszid és rozsdamentes acél Mössbauer-effektusának kimérése. A mintákat 1024 csatornás sokcsatornás analizátorral mértük. Először ● hitelesíteni kellett a sebességspektrumot a lágymas minta alapján. Mivel a sebesség az idő függvényében a következő lefutású, ezért megtehetjük, hogy a mért spektrumot az 512. csatornánál „félbehajtsuk”, hiszen a két piros ponttal jelölt időpontban ugyanaz a detektált energia:

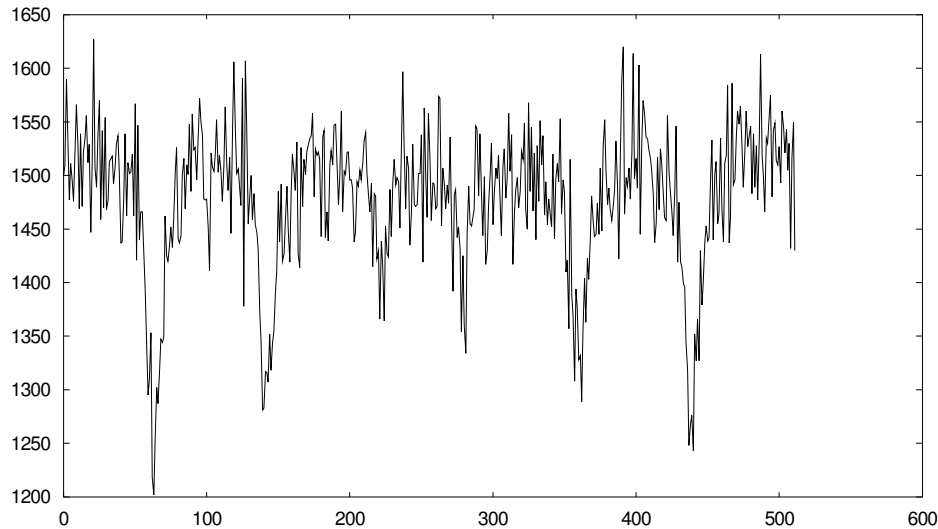


A félbehajtás a zajok csökkentésére nagyon hasznos eljárás.

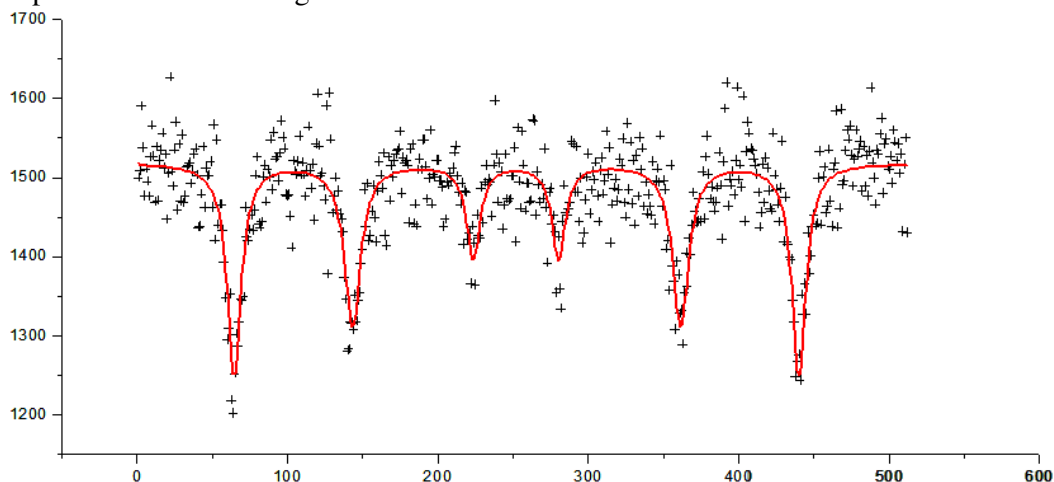
Az eredeti mérési eredmények (a jobb átláthatóságért összeköttem az egyébként természetesen diszkrét pontokat):



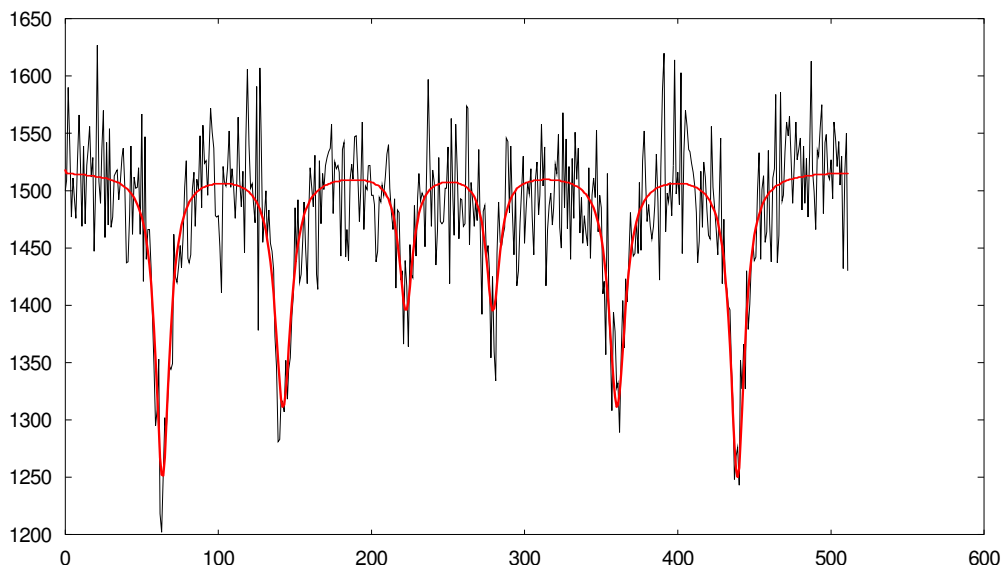
A félbehajtott ábra:



A pontokra hat Lorentz-görbét illesztettünk:



A pontokat összekötve megint jobban kirajzolódik az illeszkedés:



A két legszélső Lorentz-görbével elvégezhető a kalibráció. Csatornaszámuk különbsége a kiértékelőprogram alapján $(375,4 \pm 0,3)CH$, ami az irodalmi $10,6162 \frac{mm}{s}$ sebességkülönbségnek felel meg. Ebből egy osztással kapható az egy csatornához tartozó sebességkülönbség:

$$\Delta v = \frac{10,6162}{375,4} = 28,31 \pm 0,02 \frac{\mu m}{s}$$

A Doppler-eltolódás formulája linearizálva:

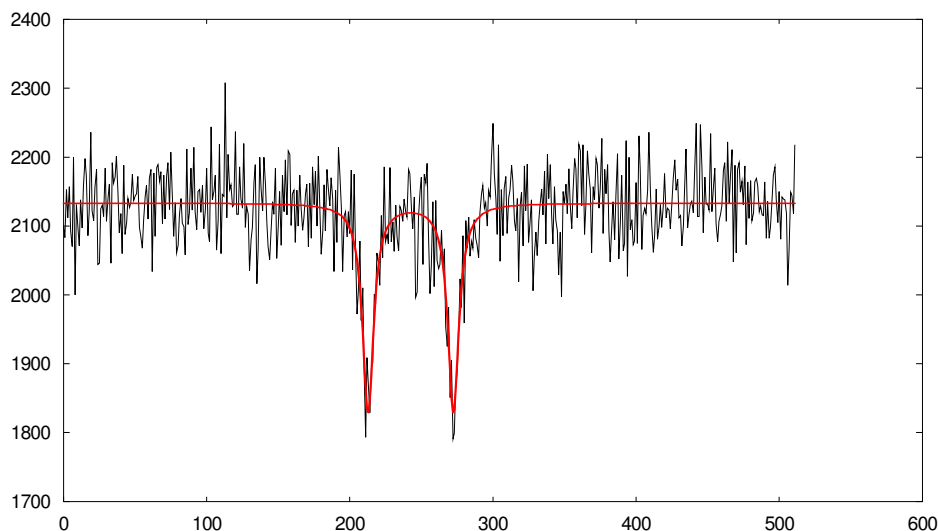
$$\Delta E = E_{\gamma} \frac{\Delta v}{c} = 14400 \frac{28,31 * 10^{-6}}{299792458} = (1,360 \pm 0,001) * 10^{-9} eV$$

Ahol E_{γ} a vas mért vonalának energiája (ez itt $14,4 keV$), ΔE pedig az egy csatornára jutó energiakülönbség.

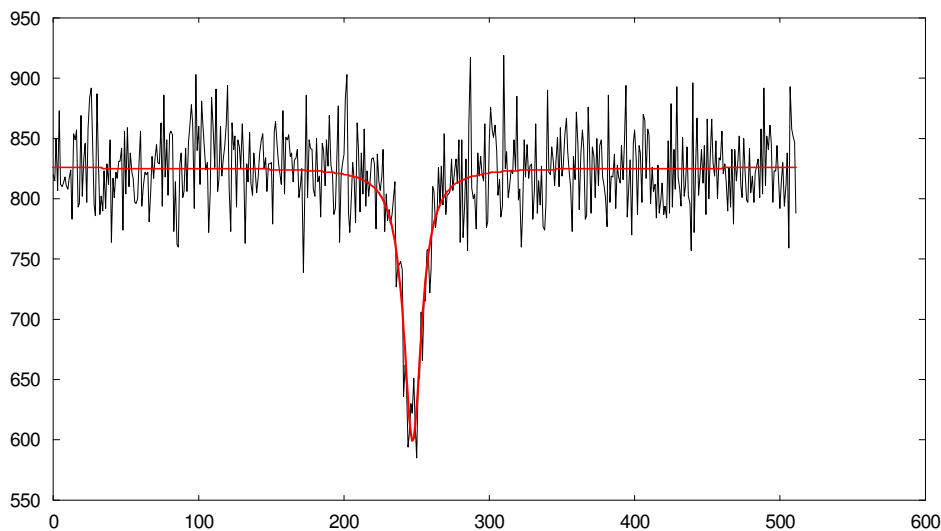
2. Ezután meghatároztam a másik két mintának, a nátrium-nitroprusszidnak és a rozsdamentes acélnek az izomér eltolódását a lágyvashoz képest. A mért pontokra illesztett Lorentz-görbék, szimmetriatengelye az izomér shift értéke, ebből a csatornaszám-értékből pedig számolható a hozzá tartozó energia:

minta	abszolút	relatív	E(neV)
lágvas	252,2±0,2	0	0
nátrium-nitroprusszid	243,5±0,2	8,7	11,8±0,2
rozsdamentes acél	248,2±0,3	4,0	5,4±0,2

A nátrium-nitroprusszid mért értékei és az illesztett görbe:



A rozsdamentes acél mért értékei és az illesztett görbe:



A vonalak félértékszélességei meghatározhatók az illesztésből, ebből az átmenet energiája, ebből pedig a $\hbar = \Delta E \Delta t$ összefüggésből az állapot élettartama:

minta	félértékszélesség(CH)	energia(*10 ⁻²⁷ J)	élettartam(ns)
lágvas	11,3±0,6	2,5±0,1	43±2
nátrium-nitroprusszid	9,3±0,5	2,0±0,1	52±3
rozsdamentes acél	14,8±0,8	3,2±0,2	33±2

3. Az elektromos térgradiens értékének meghatározása nátrium-nitroprusszid mintában volt a következő feladat. Ehhez ismeri kell a kvadrupól-momentumot (ez itt adott, $Q_{3/2}=0,21\text{barn}=0,21*10^{-28}\text{m}^2$); az aszimmetria-faktort (itt az axiális szimmetria miatt $\eta=0$); a magspint ($I=3/2$); a mágneses kvantumszámot ($m_I=\pm 3/2$ ill. $\pm 1/2$); valamint a vonal eltolódását. Ez utóbbi pont megegyezik a két vonal közötti távolság felével, hiszen a két csúcspont éppen megfelel a két (pozitív illetve negatív) mágneses kvantumszám okozta felhasadásnak. Mivel $Q_{3/2}$ -et ismerjük, ezért $m_I=3/2$ -et használom (itt a négyzetre emelés miatt mindegy az előjel).

$$\Delta E = \frac{eQ}{4I(2I-1)} \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} [3m_I^2 - I(I+1)] \left(1 + \frac{\eta^2}{3}\right)^{-\frac{1}{2}}$$

Ebből:

$$\frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = \frac{\Delta E}{3m_I^2 - I(I+1)} \frac{4I(2I-1)}{eQ}$$

A két csúcshoz tartozó energiaérték különbségének fele: $\Delta E = (40,5 \pm 0,5)\text{neV} = (6,48 \pm 0,08) * 10^{-27}\text{J}$

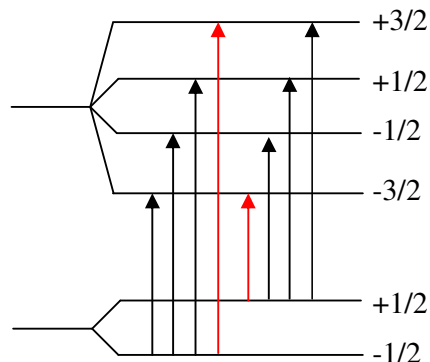
A számértékeket beírva megkapjuk a térgradiens értékét:

$$\frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = \frac{6,48 * 10^{-27}}{3 * \left(\frac{3}{2}\right)^2 - \frac{3 * 5}{2 * 2}} \frac{4 * \frac{3}{2} * \left(2 * \frac{3}{2} - 1\right)}{1,6 * 10^{-19} * 0,21 * 10^{-28}} = (7,7 \pm 0,1) * 10^{21} \frac{\text{V}}{\text{m}^2}$$

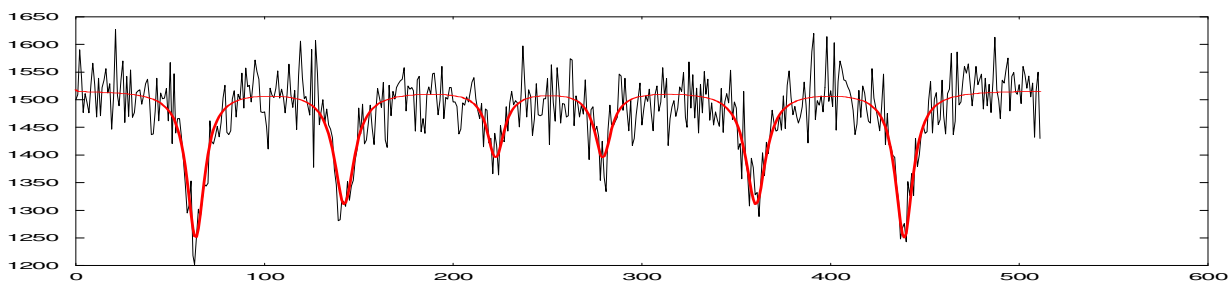
4. A vas-57 mágneses momentumának meghatározása az első gerjesztett állapotban a Zeeman-effektussal történt. A Zeeman-felhasadás mértékét a $\Delta E = -\frac{m}{I} \mu_B B$ képlet adja meg. A ^{57}Fe -ra

$\mu_{1/2} = 0,090604 \mu_N = 4,57621182 \cdot 10^{-28} \frac{\text{J}}{\text{T}}$. Az $I=1/2$ szint két, az

$I=3/2$ szint négy alnívóra hasad. De mivel a $+3/2 \leftarrow -1/2$ és a $-3/2 \leftarrow 1/2$ átmenet tiltott a $|\Delta m_I|=2$ miatt, ezért nem kilenc, hanem hat átmenet van, ahogy a rajzon látszik; az a hat átmenet felel meg a hat csúcsnak. Tudjuk, hogy a csúcsok nagyságai az alnívók közötti átmenetek intenzitásarányainak megfelelően $I_{\pm 3/2 \leftarrow \pm 1/2} : I_{\pm 1/2 \leftarrow \pm 1/2} : I_{\pm 1/2 \leftarrow \mp 1/2} = 3 : 2 : 1$. Ez alapján (ha nem is tökéletesen pontosan teljesül ez a feltétel) be tudjuk azonosítani az átmeneteknek megfelelő csúcsokat.



Az alábbi ábra alapján balról jobbra haladva a $\pm 3/2 \leftarrow \pm 1/2$; $\pm 1/2 \leftarrow \pm 1/2$; $\pm 1/2 \leftarrow \mp 1/2$ átmeneteket látjuk.



A két legszélső csúcs távolsága $\Delta E_A := (375,4 \pm 0,4) \text{CH} = (8,169 \pm 0,009) \cdot 10^{-26} \text{J}$;

a középső két csúcs távolsága $\Delta E_B := (218,1 \pm 0,5) \text{CH} = (4,75 \pm 0,01) \cdot 10^{-26} \text{J}$;

a belső két csúcs távolsága $\Delta E_C := (56,7 \pm 0,8) \text{CH} = (1,23 \pm 0,02) \cdot 10^{-26} \text{J}$.

Bevezetve a $\Delta E_1 := -2 * \mu_{1/2} * B$ és a $\Delta E_2 := -\mu_{3/2} * B$ jelölést a csúcspárokhoz tartozó energiakülönbségek:

$$\Delta E_A = 2 \left(\frac{3}{2} \Delta E_2 - \frac{1}{2} \Delta E_1 \right) = 3 * \Delta E_2 - \Delta E_1$$

$$\Delta E_B = 2 \left(\frac{1}{2} \Delta E_2 + \frac{1}{2} \Delta E_1 \right) = \Delta E_2 + \Delta E_1$$

$$\Delta E_C = 2 \left(-\frac{1}{2} \Delta E_2 - \frac{1}{2} \Delta E_1 \right) = -\Delta E_2 - \Delta E_1$$

Ezek felhasználásával pedig már meghatározható a mágneses tér abszolútértéke:

$$|B| = \left| \frac{\Delta E_1}{2 * \mu_{1/2}} \right| = \frac{\Delta E_C + \Delta E_B}{2} \frac{1}{2 * \mu_{1/2}} = (32,7 \pm 0,5) \text{T}$$

Valamint az első gerjesztett állapot mágneses momentuma:

$$\mu_{3/2} = \frac{3 * \Delta E_2}{2 * |B|} = -\frac{3}{4} \frac{\Delta E_A - \Delta E_B}{\Delta E_C + \Delta E_B} = -\frac{3}{2} \frac{\Delta E_A - \Delta E_B}{\Delta E_C + \Delta E_B} * \mu_{1/2} = (-3,92 \pm 0,07) * 10^{-28} \frac{\text{J}}{\text{T}}$$

5. A gravitációs vöröseltolódás sztatikus téridőben (lásd Landau2 88.§):

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{g_{00}^{(1)}}{g_{00}^{(2)}}}$$

Gyenge-tér közelítésben (határesetben visszkapjuk a Newton-elméletet) és gömbszimmetrikus téridő esetén (van olyan megfigyelő, aki gömbszimmetrikusnak látja):

$$\frac{\Delta\omega}{\omega} = \frac{\Delta E}{E} \approx \frac{\gamma M}{c^2} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \approx \frac{\gamma M}{c^2} \frac{\Delta h}{r^2} = \frac{g}{c^2} \Delta h$$

ahol ω a foton körfrekvenciája, $\Delta\omega$ a körfrekvencia megváltozása a gravitáció hatására, γ a gravitációs állandó, Δh a sugárforrás távolsága a Föld felszínétől, r a Föld sugara, g a gravitációs gyorsulás. Mivel az energia mérésében a Mössbauer-spektroszkópiával 10^{-12} -es pontosságot lehet elérni, ezt az egyenletet átrendezve:

$$\Delta h = \frac{c^2}{g} \frac{\Delta E}{E} \approx \mathbf{9000m}$$