



KORSZERŰ VIZSGÁLATI MÓDSZEREK
LABORATÓRIUM

Magspektroszkópiai gyakorlatok

Katona Dávid

Mérőtársak: Máthé Marcell, Olar Alex

MÉRÉS DÁTUMA: 2018. 04. 05.

2018. 04. 08.

Tartalomjegyzék

1. A mérés célja	2
2. Elméleti háttér	2
2.1. Gamma-spektroszkópia	2
2.2. Béta-spektroszkópia	2
3. Mérőberendezések	3
3.1. Gamma-spektroszkópia	3
3.2. Béta-spektroszkópia	4
4. Mérési eredmények	4
4.1. Gamma-spektroszkópia	4
4.1.1. Kalibráció ^{137}Cs és ^{60}Co spektrum felvételével	4
4.1.2. ^{40}K aktivitása NaCl és KCl mintában	7
4.2. Béta-spektroszkópia	9
4.2.1. Kezdeti kalibráció	9
4.2.2. ^{137}Cs béta-spektruma	9
4.2.3. ^{90}Sr béta-spektruma	11
4.2.4. Háttér	13

1. A mérés célja

A mérés célja ^{137}Cs és ^{60}Co γ -spektrumának felvétele szcintillációs és félvezető detektorral, a γ -fotonok energiáinak ismeretében a csatornaszám-energia összefüggés megadása (kalibráció), valamint NaCl és KCl mintákban lévő ^{40}K relatív aktivitásának meghatározása.

A mérés további célja ^{137}Cs és ^{90}Sr β -spektrumának felvétele szcintillációs detektorral. Itt a kalibrációt a ^{137}Cs spektrumában detektálható konverziós elektron mérésével végezzük.

2. Elméleti háttér

2.1. Gamma-spektroszkópia

A γ -bomlás során az atommag energiáját egy foton formájában sugározza ki, melynek energiája megfelel az atommag két állapota közti energiakülönbségnek. A kisugárzott foton detektálásában három folyamat játszik szerepet, amellyel a γ -foton kölcsönhat a detektor anyagával. Ezek: i.) fotoeffektus ii.) Compton szórás és iii.) párkeltés.

A fotoeffektus során a foton teljes energiáját átadja egy erősen kötött elektronnak. Ennek valószínűsége Z^5 -nel arányos. A kilökést követő Röntgen-sugárzás nagy valószínűséggel elnyelődik a szcintillációs kristályban, további elektronkilökődést eredményezve, így a γ -foton teljes energiája a kristályban elnyelődik.

A Compton-szórás során rugalmatlan szórást szenved a foton, az energiaátadás szögfüggő, így folytonos spektrumot (Compton-hát) eredményez, melynek határozott maximuma van (Compton-él, 180deg-os visszaszórás). Valószínűsége Z -vel egyenesen arányos. A spektrumban megjelenhet a detektoron kívüli anyagról visszaszórt, majd a detektorba belépő fotonok energiája is.

Egy 1022keV feletti energiájú foton pozitron-elektron párt kelthet, azonban 1.4MeV feletti energiákon válik dominánsá. Calószínűsége Z^2 -tel arányos. Az elektron és a pozitron kinetikus energiáját leadja, majd a pozitron annihilálódik, így két γ -foton keletkezik. Összességében $E - 511\text{keV}$ vagy $E - 1022\text{keV}$ energiát ad át a detektornak.

2.2. Béta-spektroszkópia

Háromféle gyenge kölcsönhatással járó átmenet létezik: i.) β^+ ii.) β^- és iii.) elektronbefogás (1. egyenlet).

$$p^+ = n + e^+ + \nu \quad (1a)$$

$$n = p^+ + e^- + \bar{\nu} \quad (1b)$$

$$p^+ + e^- = n + \nu \quad (1c)$$

Az egyenletekből látható, hogy β -bomlás során az elektron/positron mellett anti-neutrínó/neutrínó is keletkezik, amely energiát és impulzust visz el. Ezáltal az elektron/positron energiaspektruma folytonos. Ennek eloszlását írja le a 2. egyenlet, ahol p

az impulzus, E az elektron energiája, m_e a nyugalmi tömege, E_m az átmenet energiája, $F(Z, E)$ a Fermi-függvény, $S_n(E)$ a tiltottságot figyelembe vevő korrekció.

$$N^\pm(E) = Kp(E + m_e c^2)(E_m - E)^2 F^\pm(Z, E) S_n(E) \quad (2)$$

Bevezetve $W := E/(m_e c^2) + 1$, $W_m := E_m/(m_e c^2) + 1$ mennyiségeket, valamint $G = pF/W$ módosított Fermi-függvényt, feltételezve $S_n(E)$ állandóságát, a kifejezés átalakítható úgy, hogy a W függvényében egyenest kapjunk (Fermi-Curie-egyenes, 3. egyenlet), melyről leolvasható az energiaszintek közti különbség.

$$\sqrt{\frac{N}{GW^2}} = K'(W_m - W) \quad (3)$$

3. MÉRŐBERENDEZÉSEK

3.1. Gamma-spektroszkópia

A γ -spektroszkópai méréseket kétféle detektorral végezzük. Először szcintillációs detektorral vizsgáljuk a γ -spektrumot. Ebben egy $NaI(Tl)$ kristály van, amely a Tl magas rendszáma miatt nagy valószínűséggel nyeli el a γ -fotonokat, valamint a NaI kristály jó szcintillációs tulajdonságokkal bír. A sugárzás hatására kék felvillanások keletkeznek, melyek a fotokatódba csapódva fotoeffektussal elektronokat löknek ki. Ezt a fotoelektron-sokszorozó detektálható jellé erősíti. A méréshez használt detektor¹:

Gamma gyártmányú, ND-305/g típusú, 80049 gyári számú mérőfej, gamma szcintillátorral, nagyfeszültség: NB 215.2 1000 V.

A mérőlánc: a rack jobb szélén lévő, Canberra gyártmányú, 2012 típusú spektroszkópiaia erősítő; negatív bemeneti polaritás, (4 · 6.0) erősítés, unip. kimenet.

Az analizátor: Atomki gyártmányú, PalmtopMCA típusú 512 csatornás analizátor.

A spektrumot ezután félvezető detektorral is megmértük, ehhez nagy tisztaságú germánium detektort (HPGe) használtunk. A nagy tisztaságú félvezetőben alacsony nagyon kevés szabad töltéshordozó van. Ionizáló sugárzás hatására az energiával arányos mennyiségű szabad töltéshordozó keletkezik, amely mérhető jelet eredményez az elektródákon.

Ennek beállításai²:

A Debrecenből - javításként kapott - PalmtopMCA mérésbe állítása:

Tc 241:

10·7,0 erősítés, + bemenet, P/z állás, unipol. kimenet. Így a teteje 3,78 MeV

935 ADC:

10 V, inp. bemenet;

- néha vannak 6 V-os, "levágott fejű" impulzusok

- threshold: 40 ch

- peaking time: 13 us (20->13); pocsék p/z-vel

¹http://atomfizika.elte.hu/muszerek/MSP/MSP_beall_01.html

²<http://atomfizika.elte.hu/muszerek/hpge/beall20150916.txt>

3.2. Béta-spektroszkópia

β -spektroszkópia során szintén szcintillációs detektort alkalmazunk. A szcintilláló anyag kis rendszámú, amely a kis áthatolóképességű β -sugárzáshoz előnyösebb, a γ -sugárzás nem zavar jelentős mértékben a magas kitevőjű Z -függés miatt. Ennek beállításai³:

Detektor: Gamma gyártmányú, ND-319/g típusú, 92020 gyári számú mérőfej, béta szcintillátorral.

Mérőlánc: 1/10-es frekvenciakompensált feszültségosztó; Canberra gyártmányú, 2012 típusú spektroszkópia erősítő; negatív bemeneti polaritás, $(8 \cdot 6.0)$ erősítés, unip. kimenet.

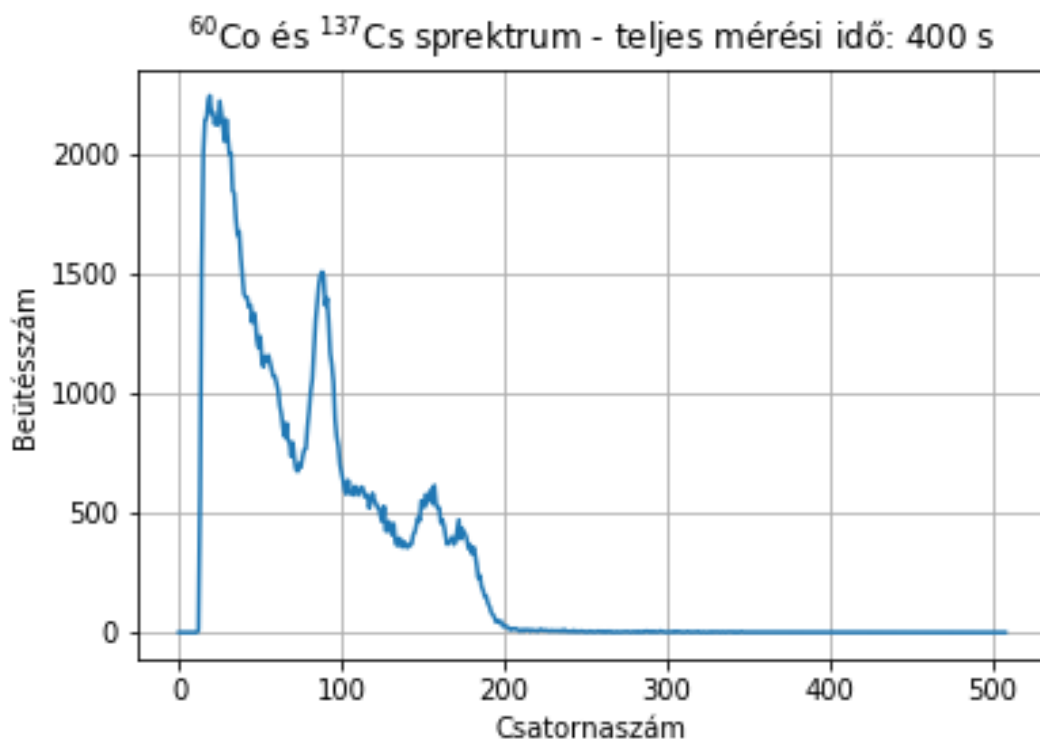
Analizátor: Atomki gyártmányú, PalmtopMCA analizátor; 10 V-os bemenet, 512 csatorna.

4. Mérési eredmények

4.1. Gamma-spektroszkópia

4.1.1. Kalibráció ^{137}Cs és ^{60}Co spektrum felvételével

^{137}Cs és ^{60}Co szcintillációs detektorral regisztrált γ -spektrumát mutatja az 1. ábra. A mérési idő 400s volt.



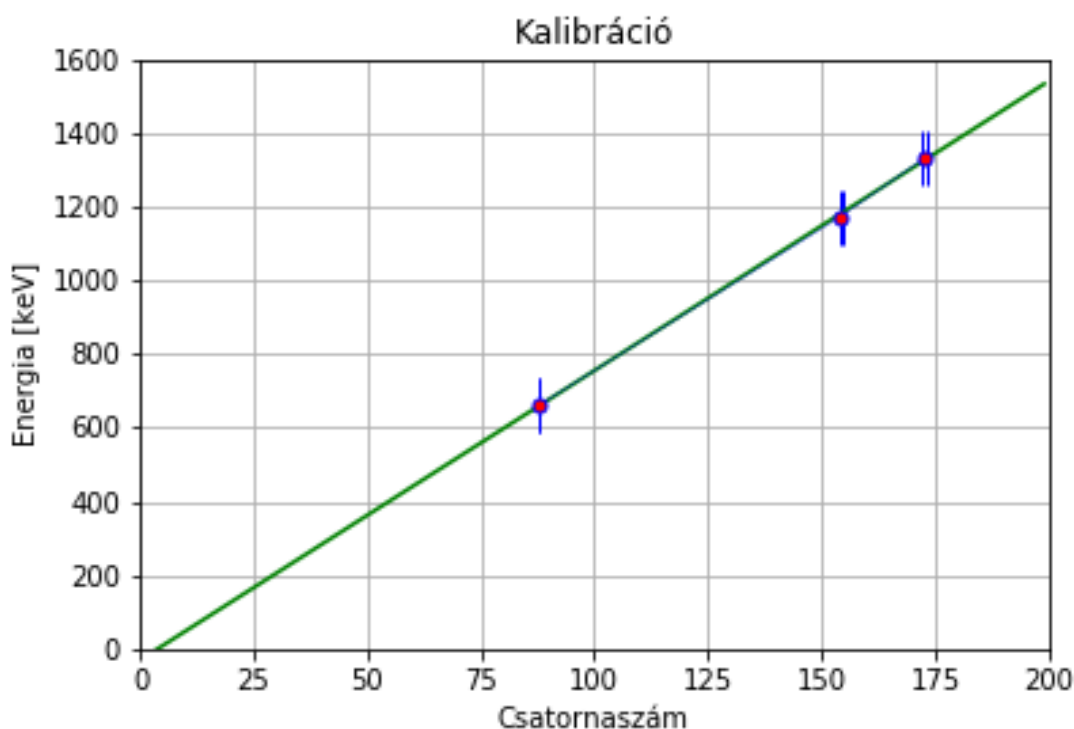
1. ábra. ^{137}Cs és ^{60}Co szcintillációs detektorral regisztrált γ -spektruma

³http://atomfizika.elte.hu/muszerek/BET/BET_beall_01.html

csúcs	A	μ	σ	B
^{137}Cs (662keV, szci.)	884 ± 21	87.95 ± 0.08	5.477 ± 0.19	613 ± 23
^{60}Co (1173keV, szci.)	270 ± 33	154.3 ± 0.3	7.05 ± 0.90	310 ± 35
^{60}Co (1333keV, szci.)	66.3 ± 17.3	172.9 ± 0.6	2.37 ± 0.88	369 ± 14
^{137}Cs (662keV, HPGe)	76.1 ± 3.1	715.4 ± 0.04	0.840 ± 0.05	1.38 ± 1.27
^{60}Co (1173keV, HPGe)	79.95 ± 1.46	1267.88 ± 0.02	0.884 ± 0.019	1.05 ± 0.45
^{60}Co (1333keV, HPGe)	75.7 ± 0.7	1440.19 ± 0.01	0.881 ± 0.01	-0.05 ± 0.19
NaCl	25.5 ± 3.1	190 ± 1	10.6 ± 1.9	4.35 ± 24
KCl	56.8 ± 5.2	191.2 ± 0.4	7.19 ± 0.92	15.8 ± 5.6

1. táblázat. Az illesztett Gauss-görbék paraméterei

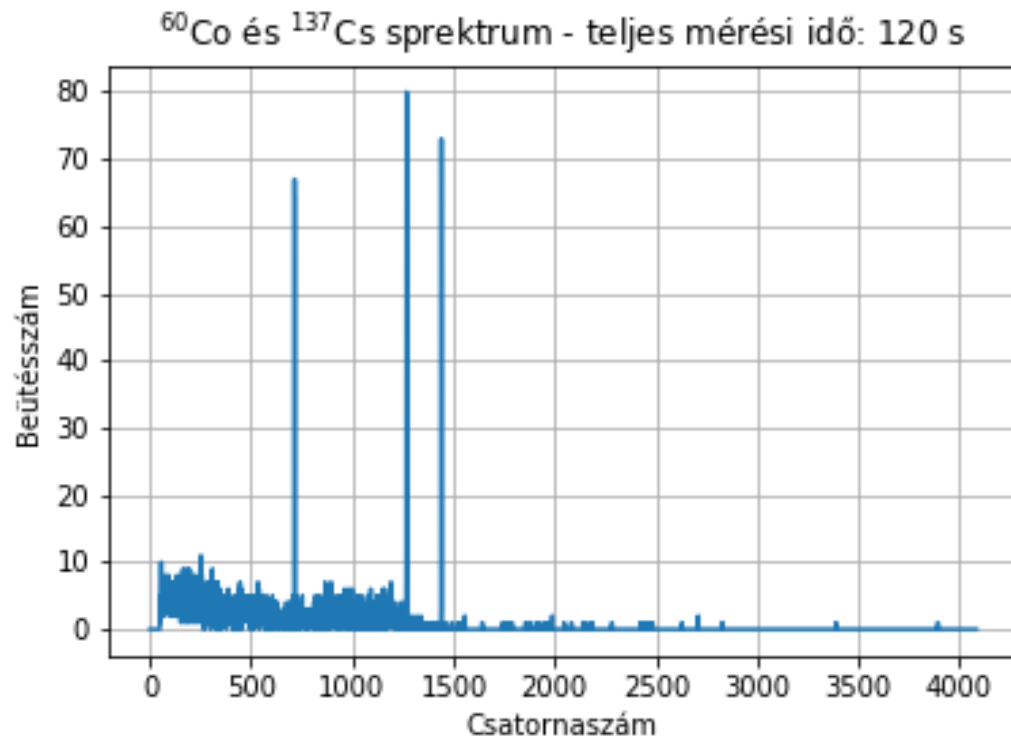
A spektrumon három csúcs látható, melyek energiái: Cs: 662keV, Co: 1173keV, 1333keV. A csúcsokra mérőtársam $f(x) = Ae^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} + B$ alakú Gauss-görbék illesztett, melyek középeire az ismert energiák függvényében egyenest illesztett (2. ábra). $E = A \cdot x + B$ kalibrációs egyenes paraméterei: $A = (7.85 \pm 0.16)\text{keV}$, $B = (-30 \pm 23)\text{keV}$.



2. ábra. Kalibrációs egyenes szcintillációs gamma-detektorra

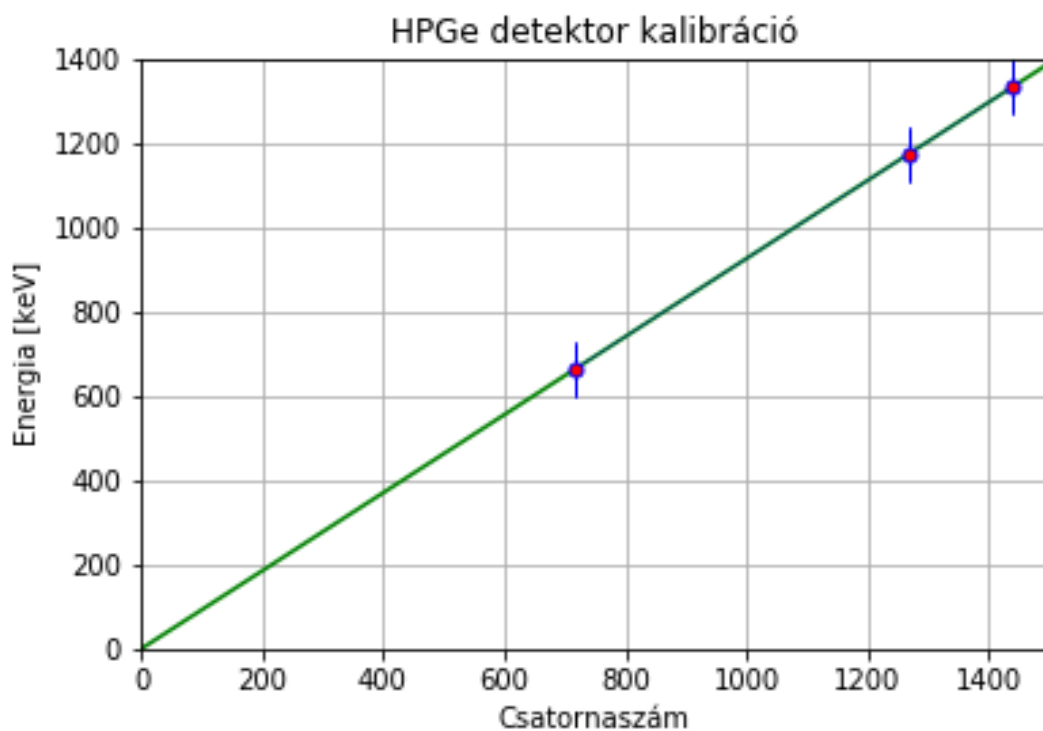
A detektor felbontása a ^{60}Co 1333keV-os csúcsának félértékszélessége alapján: $\Delta = 2.36 \cdot \sigma = 2.36 \cdot (18.6 \pm 7.0)\text{keV} = (43.8 \pm 16.5)\text{keV}$. A nagy bizonytalanság a rövid mérési időnek tudható be.

A HPGe detektorral felvett ^{137}Cs és ^{60}Co γ -spektrum látható a 3. ábrán.



3. ábra. ^{137}Cs és ^{60}Co HPGe detektorral regisztrált γ -spektruma

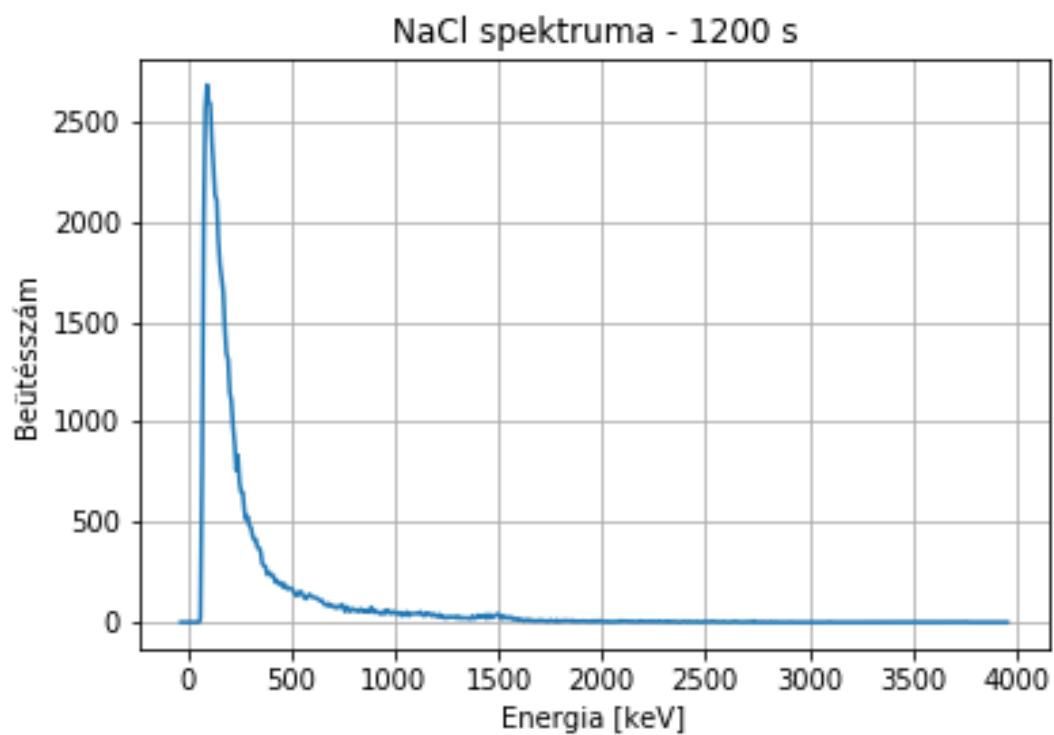
Látható, hogy a csúcsok félértékszélessége jóval kisebb a szcintillációs detektorhoz viszonyítva, azaz az energiafelbontás sokkal jobb. A csúcsok helyét az előzőekhez hasonlóan Gauss-illesztéssel határozta meg mérőtársam. Az illesztett kalibrációs egyenes látható a 4. ábrán. A kalibrációs egyenes paraméterei: $A = (0.9256 \pm 0.0007)\text{keV}$, $B = (-0.23 \pm 0.81)\text{keV}$. A detektor felbontása a ^{60}Co 1333keV-os csúcsának félértékszélessége alapján: $\Delta = 2.36 \cdot \sigma = 2.36 \cdot (0.816 \pm 0.011)\text{keV} = (1.93 \pm 0.03)\text{keV}$. Látható, hogy a HPGe detektor energiafelbontása 23-szor jobb a szcintillációs detektoréhoz képest.



4. ábra. Kalibrációs egyenes HPGe gamma-detektorra

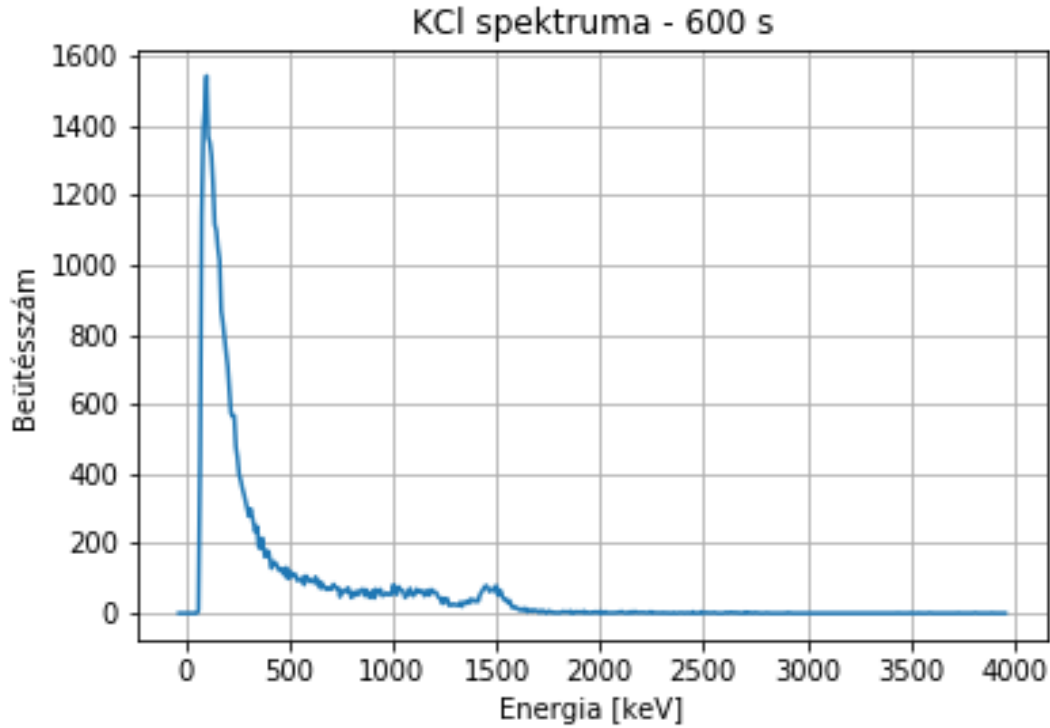
4.1.2. ^{40}K aktivitása NaCl és KCl mintában

NaCl minta γ -spektrumát vettük fel 1200 s hosszan, melyet az 5. ábra mutat.



5. ábra. NaCl spektruma. A ^{40}K -csúcs 1500keV-nál látható

Ezután felvettük KCl spektrumát is 600 s hosszan, melyet a 6. ábra mutat.



6. ábra. KCl spektruma. A ^{40}K -csúcs 1500keV-nál látható

A relatív intenzitások meghatározásához a csúcsokra mérőtársam Gauss-görbét illesztett, melyek integráljainak arányából (amely arányos $A\sigma$ -val) megkapható az aktivitások aránya (az eltérő mérési idő miatt ezt egy 2-es faktorial korrigálni kell).

$$\frac{dN_{KCl}/dt}{dN_{NaCl}/dt} = \frac{2A_{KCl} \cdot \sigma_{KCl}}{A_{NaCl} \cdot \sigma_{NaCl}} = 3.02 \pm 0.08 \quad (4)$$

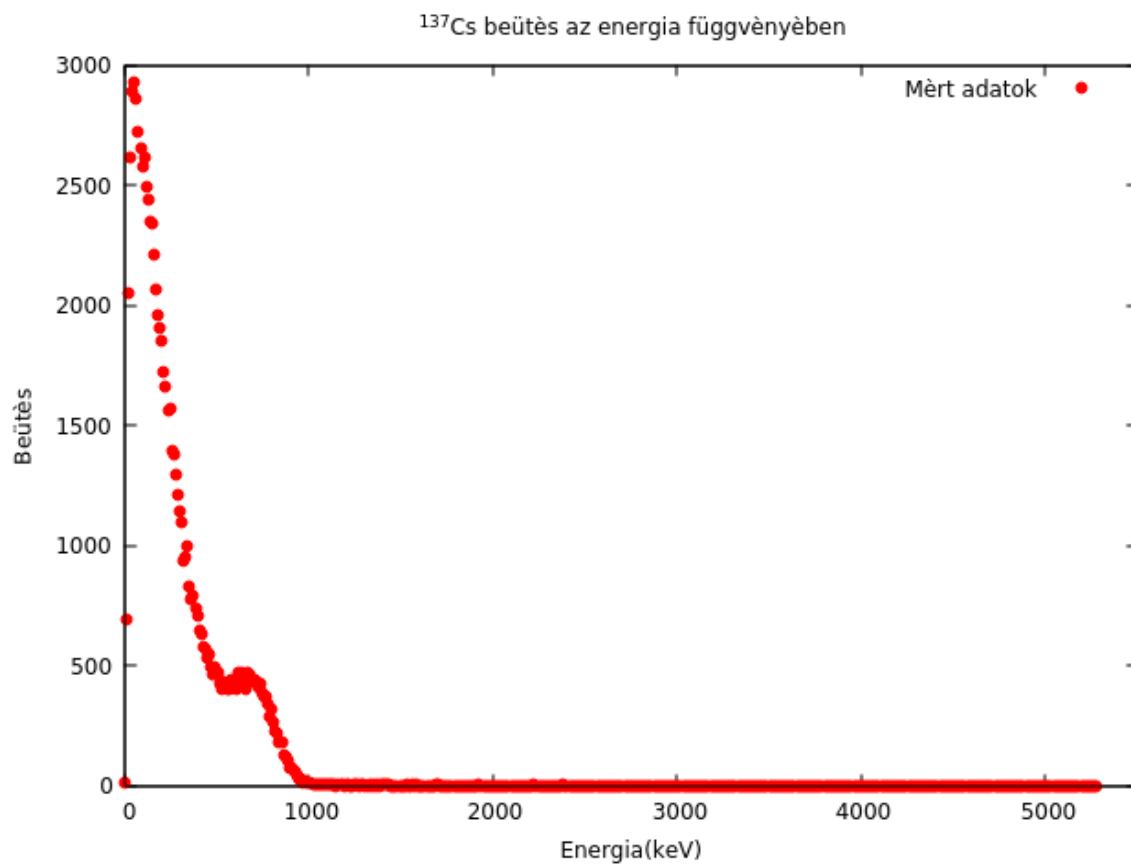
4.2. Béta-spektroszkópia

4.2.1. Kezdeti kalibráció

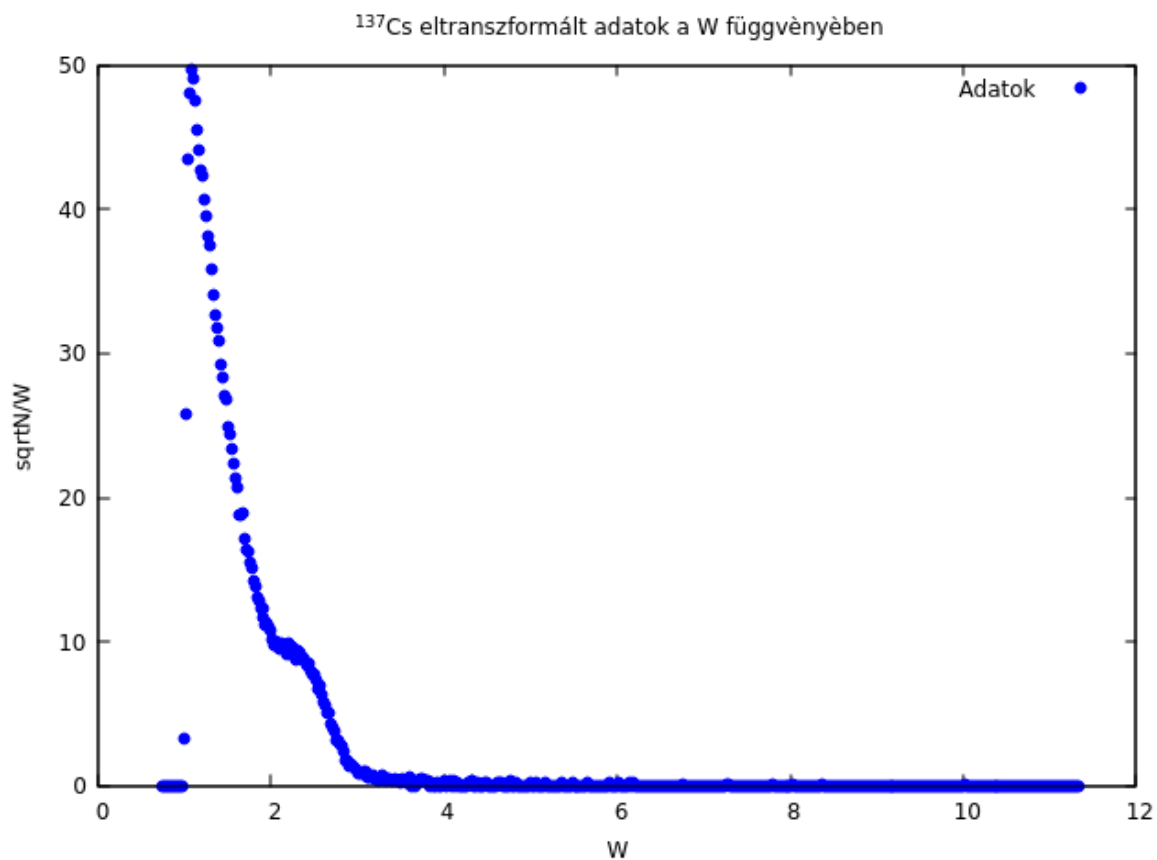
A kalibrációt ^{137}Cs konverziós elektronjainak energiájával végezzük (630 keV), feltételezve, hogy a küszöbsatornához tartozó energia 1 keV. Így a két pontra egyenest illesztve kapjuk a kalibrációs összefüggést, melynek egyenlete: $E(x) = (10.64x - 138.32)\text{keV}$.

4.2.2. ^{137}Cs béta-spektruma

A ^{137}Cs spektrumát mutatja a 7. ábra. A 3. egyenlet szerint eltranszformált spektrumot mutatja a 8. ábra. Egyenest a $(74.48 - 383.04)\text{keV}$ ($W : 1.1457 - 1.7496$) tartományra illesztettük, melyen $r^2 = 0.9906$ volt. Az illesztett egyenes ($y = mx + c$) paraméterei: $m = -54.7 \pm 1.1$, $c = 1.99 \pm 0.07$, melyből $E_{max} = (504 \pm 18)\text{keV}$.



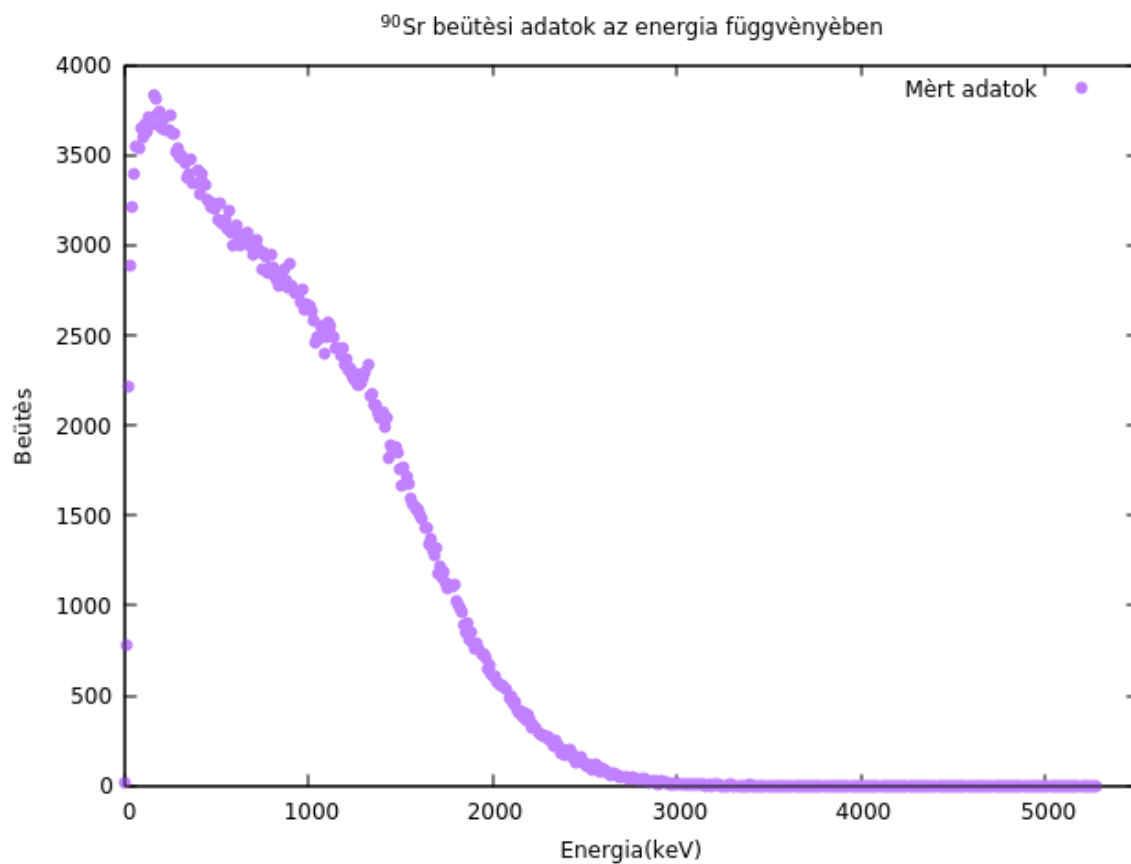
7. ábra. ^{137}Cs β -spektruma. A konverziós elektron csúcsával kalibráltuk a műszert.



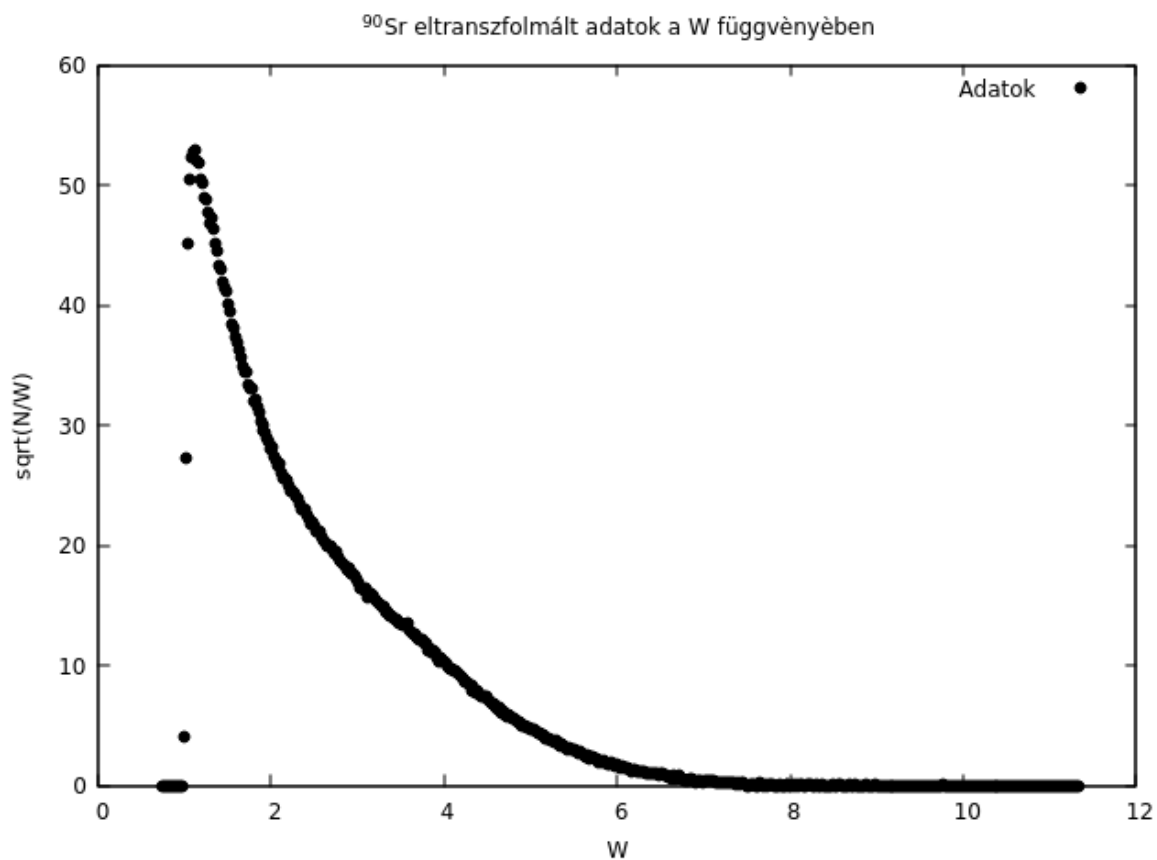
8. ábra. ^{137}Cs eltranszformált β -spektruma

4.2.3. ^{90}Sr béta-spektruma

A ^{90}Sr spektrumát a 9. ábra mutatja, az előzőek szerint transzformált spektrum pedig a 10. ábrán látható. Egyenest a $(808.64 - 1979.04)\text{keV}$ ($W : 2.5824 - 4.8782$) tartományra illesztettük. Az illesztett egyenes ($y = mx + c$) paraméterei: $m = -6.66 \pm 0.12$, $c = 5.56 \pm 0.22$, melyből $E_{\text{max}} = (2330 \pm 93)\text{keV}$.



9. ábra. ^{90}Sr β -spektruma. A konverziós elektron csúcsával kalibráltuk a műszert.

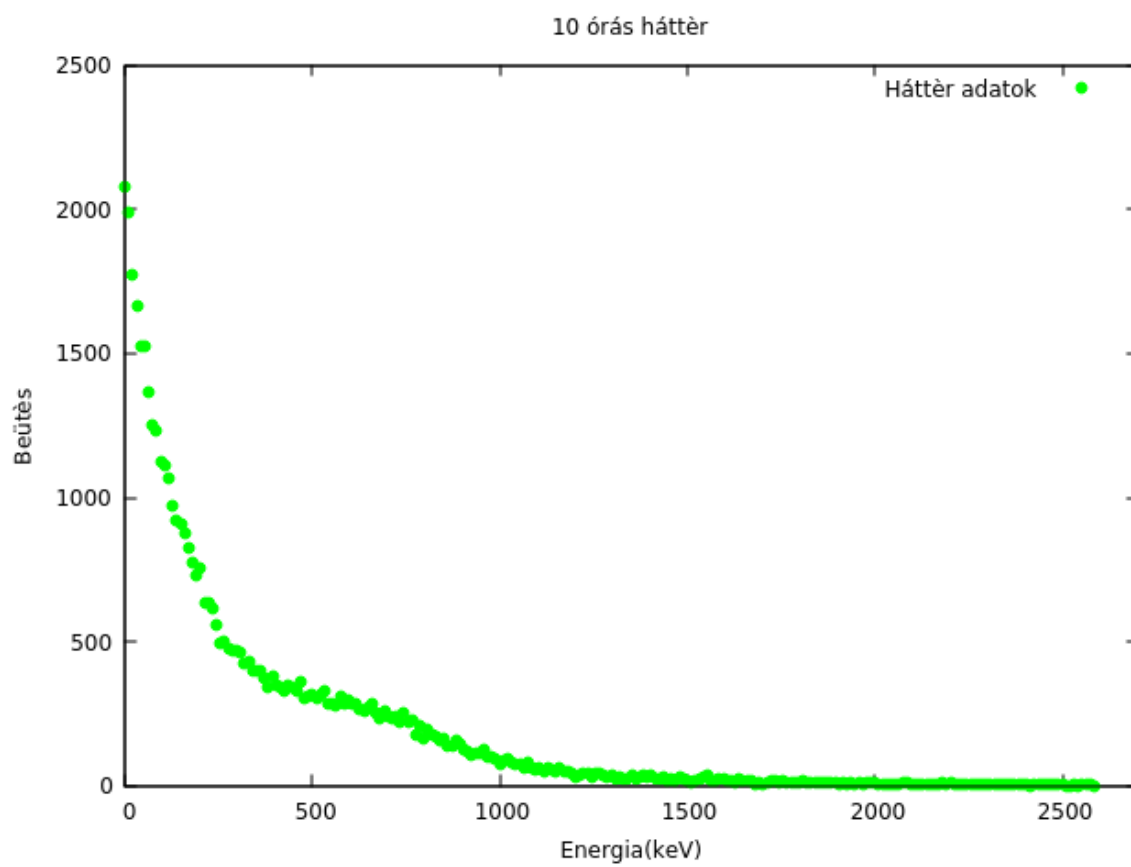


10. ábra. ^{90}Sr eltranszformált β -spektruma

Az irodalmi értékek legjobb megközelítésével a kalibráció finomítható. Az így kapott kalibrációs összefüggés: $E(x) = (13.95x - 181.35)\text{keV}$.

4.2.4. Háttér

10 órás háttérmérés eredménye látható a 11. ábrán. Ezt a mérés során azért nem kell levonni, mert a mérés időtartama alatt a háttérből eredő hiba a mérés időtartamára (300s) átszámolva kisebb, mint a beütések statisztikus hibája (\sqrt{N}).



11. ábra. Háttér 10 órás mérése