

Korszerű vizsgálati módszerek labor jegyzőkönyv

Magspektroszkópiai vizsgálatok

CSÖRNYEI GÉZA

Eötvös Loránd Tudományegyetem
Fizika BSc III. évfolyam



'C' mérőcsoport

Mérés dátuma: 2018.03.22.

Mérés vezetője: Pávó Gyula

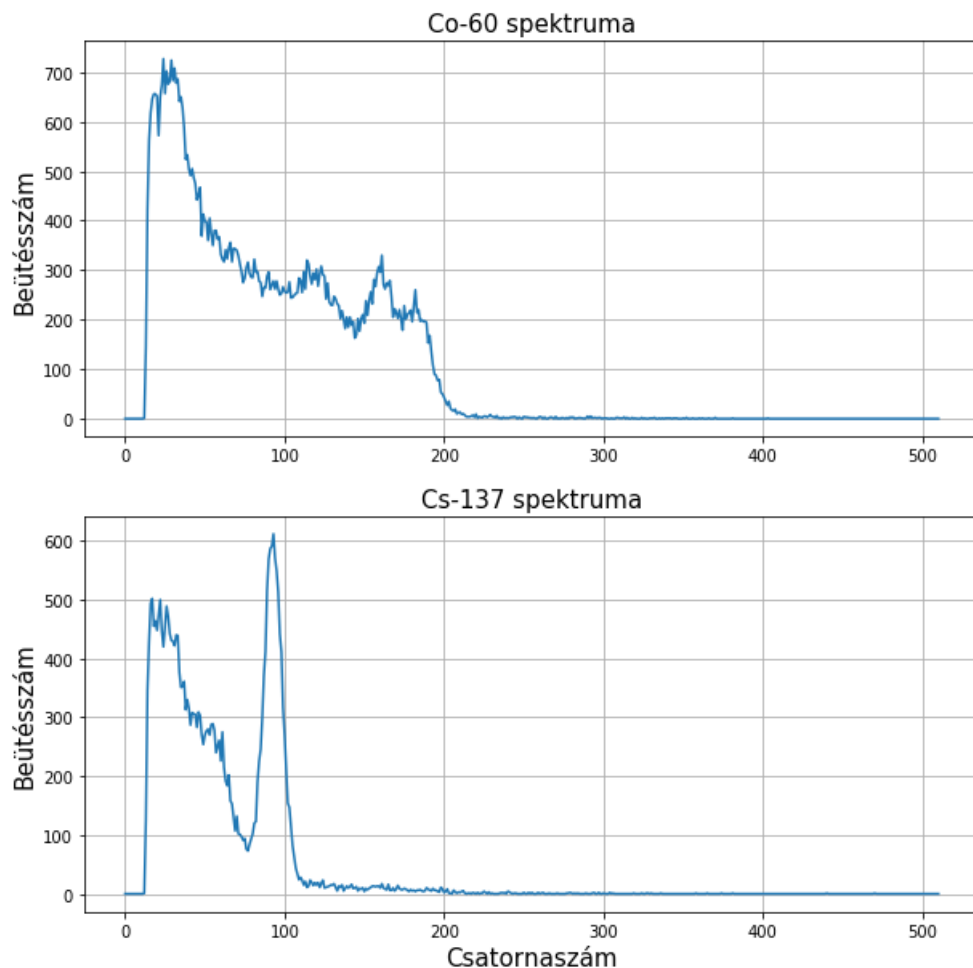
1. Gamma spektroszkópia

1.1. Szcintillációs detektor

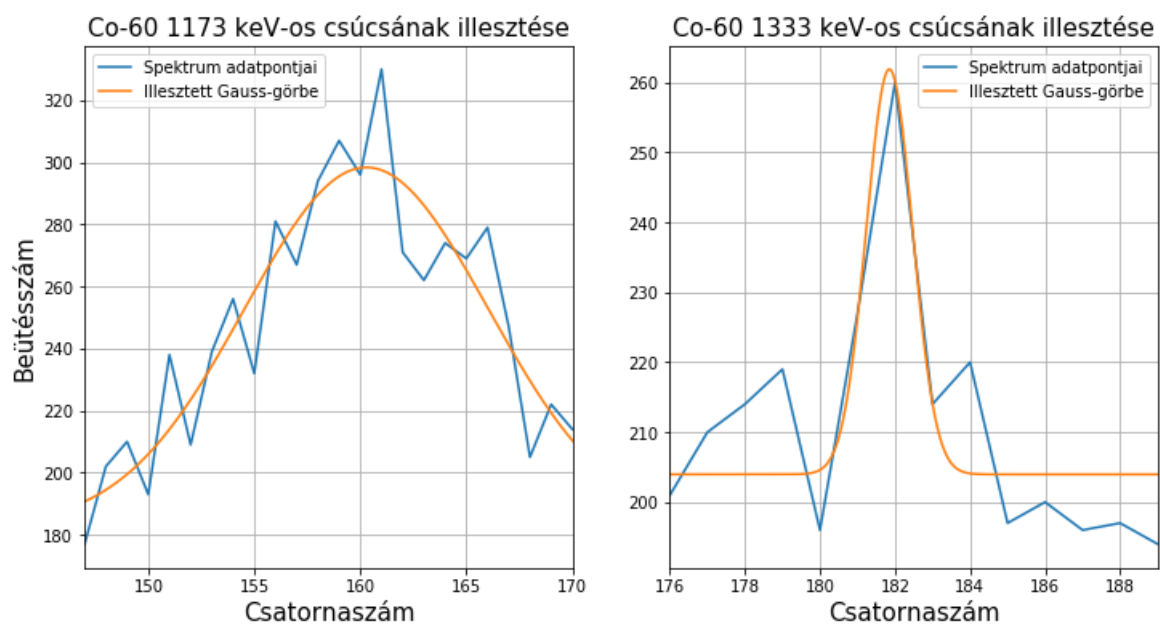
A gamma spektroszkópai vizsgálatainkat a szcintillációs detektor kalibrálásával kezdtük. Erre azért volt szükség, mert a spektrumokat sokcsatornás analízátor segítségével vettük fel, melynek csatornáihoz a kalibráció segítségével tudtunk energiatartományokat párosítani. A kalibráció során a spektrumokban látható egyes ismert energiájú csúcsokat Gauss-görbével illesztettem, melynek illesztéshez használt alakja:

$$f(x) = A \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2 \cdot \sigma^2}} + c.$$

A c tagot a kontinuumszint figyelembevétele miatt kellett hozzáadnunk a görbéhez. A kalibrációhoz az illesztett görbék közepét (átlagát) kellett vennünk, és kellett összevetnünk a csúcsok ismert energiaértékeivel. A vizsgálat során felvett spektrumok at 1 ., míg az illesztések az 2 . és a 3 . ábrákon láthatók.



1. ábra. A szcintillációs detektorral 120 s hosszú méréssel kapott spektrumok

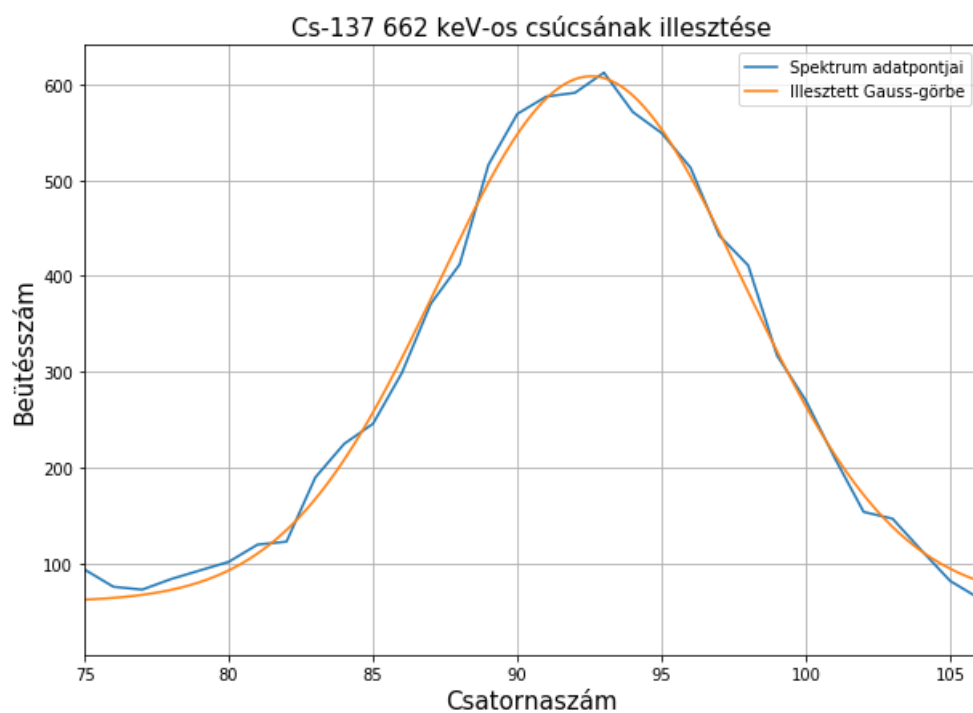


2. ábra. A kobalt spektrumában látható első (1173 keV) és második (1333) csúcs illesztése

Az illesztési paraméterek a fenti függvényalaknak megfelelő jelölésekkel:

Energia	1173 keV	1333 keV
A	115.619 ± 18.067	57.927 ± 11.078
μ	160.286 ± 0.400	181.849 ± 0.171
σ	5.740 ± 1.090	0.616 ± 0.139
c	182.754 ± 19.411	203.965 ± 3.019

1. táblázat. A kobalt spektrumában látható csúcsok illesztési paraméterei



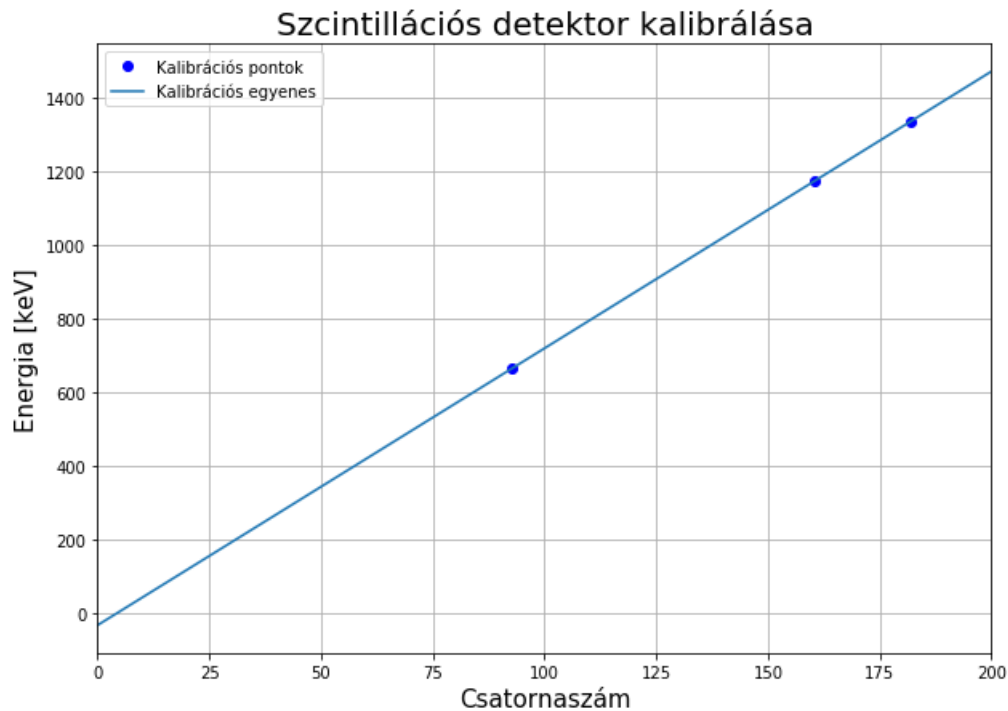
3. ábra. A cézium spektrumában látható csúcs (662 keV) illesztése

Az illesztési paraméterek:

Energia	662 keV
A	547.931 ± 8.419
μ	92.557 ± 0.076
σ	5.291 ± 0.117
c	60.276 ± 6.702

2. táblázat. A cézium spektrumában látható csúcs illesztési paraméterei

A kalibráció szempontjából fontos mennyiség számunkra a csúcsok helye, azaz a csatornaszám, melyen az illesztett Gauss-görbe átlaga van. Ezen értékek, valamint a csúcsokhoz tartozó energiaértékek ismeretében el tudjuk végezni a kalibrálást egyenesillesztés képében, mely a 4. ábrán látható.



4. ábra. A szcintillációs detektor kalibrálásához készített egyenesillesztés

Az illesztett egyenes egyenlete:

$$E(x) = 7.522 \cdot x - 33.903,$$

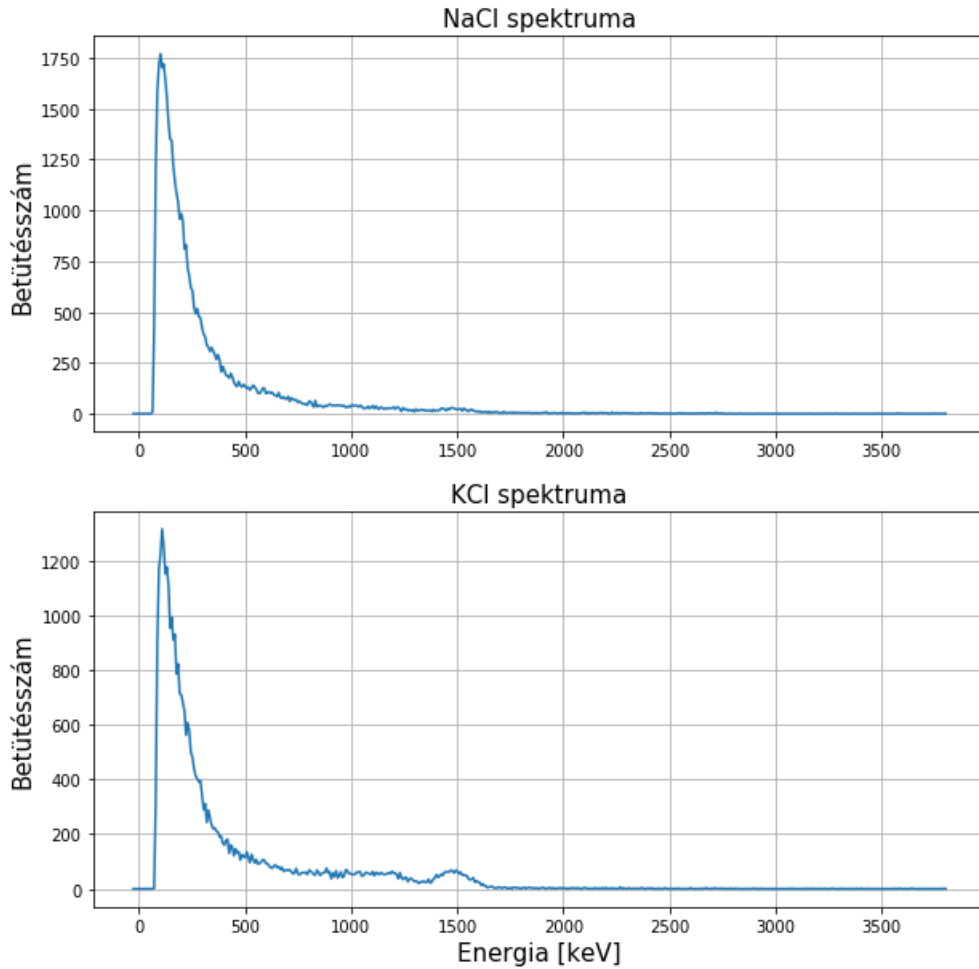
ahol x a csatornaszámot jelöli, valamint mind a két oldal keV egységekben értendő.

A kalibráció elvégzése után lehetőségünk nyílt a detektor felbontóképességének meghatározására. Ehhez a ^{60}Co 1333 keV-os csúcsának félértékszélességét számítottuk ki, ugyanis ez jól jellemezte a detektor felbontóképességét. Ennek oka, hogy csúcs mindössze egyetlen csatornában mért kiugró beütésszám értéként jelent meg, a szomszédos csatornában már a kontinuumszinthez hasonló értékeket lehetett mérni. A félérték szélesség számításához az [1]-ben leírtaknak megfelelően lehet eljárni, azaz keV-ben mérve a félértékszélességet közelítőleg az

$$\Delta x = 2.36 \cdot \sigma$$

képlet határozza meg, ahol σ az illesztett Gauss-görbe szórása. Ennek értelmében a fentebb említett mérés felhasználásával a mért félértékszélességre $\Delta x = (10.934 \pm 2.475)$ keV adódik.

A szcintillációs detektor segítségével felvettük egy NaCl (háttér) és egy KCl minta spektrumát is, majd meghatároztuk az ezekben vett ^{40}K intenzitás arányát. A felvett spektrumok a 5. ábrán láthatók.



5. ábra. NaCl és KCl mintákkal felvett spektrumok

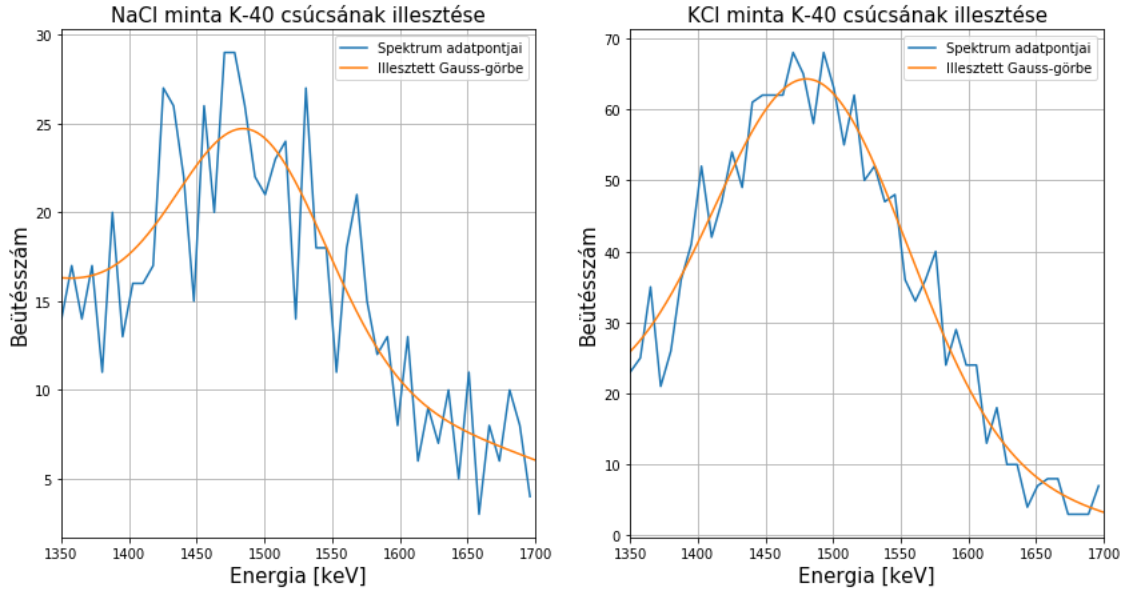
A ^{40}K -hez tartozó csúcsok és azok illesztései a két spektrum esetében a 6. ábrán láthatók. Mivel a csúcs környékén a kontinuum nem volt állandó értékkel közelíthető, ezért a csúcsok illesztése során a Gauss-görbét az alábbi módon egészítettük ki:

$$f(x) = A \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2 \cdot \sigma^2}} + cx + b.$$

A csúcsok intenzitásának arányánál az amplitúdóikat vetettük össze, ez azonban nem egyezik meg az illesztés során használt A -val, a Gauss-görbe definíciójából adódóan. Ennek megfelelően

$$A = A^* \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}},$$

ahol A^* az általunk használni kívánt amplitúdó érték.



6. ábra. NaCl és KCl mintákkal mért ^{40}K csúcsok és azok illesztései. A NaCl mintával végzett mérés 120 s-ig tartott, kétszer annyi ideig, míg a KCl mintával végzett mérés, így a kapott amplitúdó kétszeresével kell számolni a KCl minta esetében.

Az illesztési paramétereket az alábbi táblázat tartalmazza:

-	NaCl minta	KCl minta
A	12.712 ± 1.512	52.755 ± 2.545
μ [keV]	1490.893 ± 7.321	1484.088 ± 3.195
σ [keV]	54.592 ± 9.233	71.317 ± 4.599
c [1/keV]	-0.028 ± 0.006	-0.040 ± 0.010
b	53.731 ± 9.405	71.363 ± 17.232

3. táblázat. ^{40}K csúcsokra vonatkozó illesztési paraméterek

A fentiek alapján a két csúcs intenzitásának, így amplitúdóinak arányát az alábbi módon lehet számolni:

$$\frac{1}{2} \frac{A_{\text{NaCl}}^*}{A_{\text{KCl}}^*} = \frac{A_{\text{NaCl}}}{A_{\text{KCl}}} \cdot \frac{\sigma_{\text{NaCl}}}{\sigma_{\text{KCl}}} = 0.092 \pm 0.012,$$

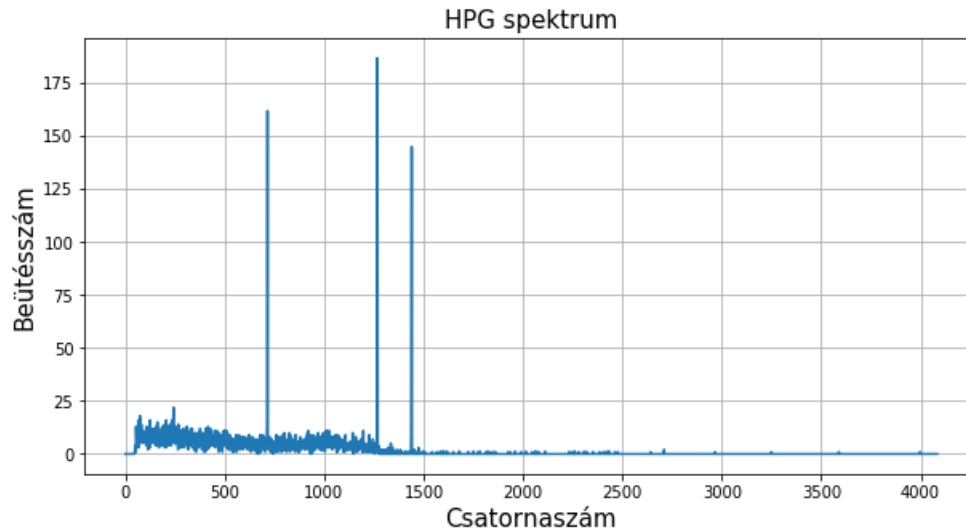
ahol a hibát az egyes tagok relatív hibáinak négyzetösszegével számoltam. Ez a hiba azonban csak az illesztésből származó pontatlanságokat tükrözi, az egyes beütésszámok azonban a független eseményekre vonatkozó Poisson-hibával is terhelve vannak, mely a beütésszámok négyzetgyökének felel meg. Ha ezt is hozzávesszük a fentebb számolt hibához, vagyis a relatív hibát a

$$\frac{\Delta x}{x} = \sqrt{\sum_{i=\text{NaCl, KCl}} \left(\frac{\Delta A_i}{A_i} \right)^2 + \sum_{i=\text{NaCl, KCl}} \left(\frac{\Delta \sigma_i}{\sigma_i} \right)^2 + \frac{1}{N_{\text{NaCl}}} + \frac{1}{N_{\text{KCl}}}}$$

képlet segítségével a fenti érték hibájára $\Delta = 0.017$ -et kapunk.

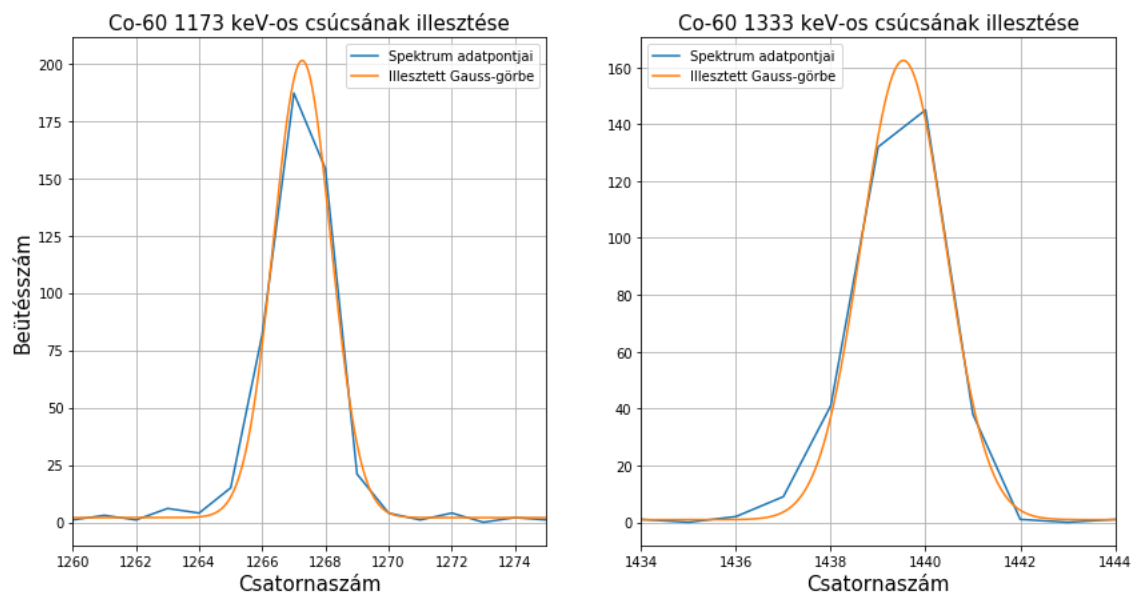
1.2. Félvezető detektor (HPG)

A szcintillációs detektorhoz hasonlóan itt is a detektor kalibrálását végezzük először. Ehhez ugyanazon minták spektrumát vettük fel amiket a szcintillációs detektornál is használtunk. A félvezető detektornál a korábbival ellentétben csak egy spektrumot vettünk fel, a mérés során a mintákat cseréltük ki. A mért spektrum a 7. ábrán látható.



7. ábra. A HPG-vel felvett spektrum

Az illesztéseket a korábbihoz hasonló módon végeztük. A kobalt csúcsainak illesztése a 8. ábrán látható.



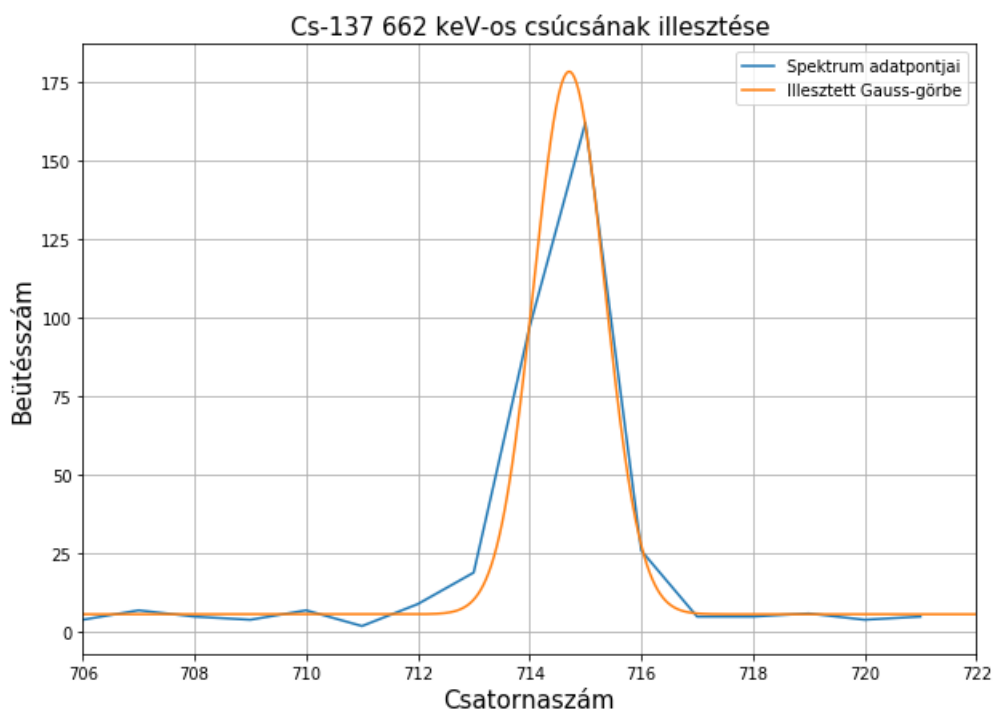
8. ábra. A kobalt első (1173 keV) és második (1333 keV) csúcsának illesztése a HPG-vel felvett spektrum esetén

Az illesztési paraméterek:

-	1173 keV	1333 keV
A	199.211 ± 4.460	161.513 ± 3.236
μ	1267.263 ± 0.023	1439.532 ± 0.020
σ	0.909 ± 0.243	0.886 ± 0.022
c	2.000 ± 1.130	0.890 ± 1.047

4. táblázat. ^{60}Co csúcsokra vonatkozó illesztési paraméterek

A cézium csúcsának illesztése (9 . ábra):



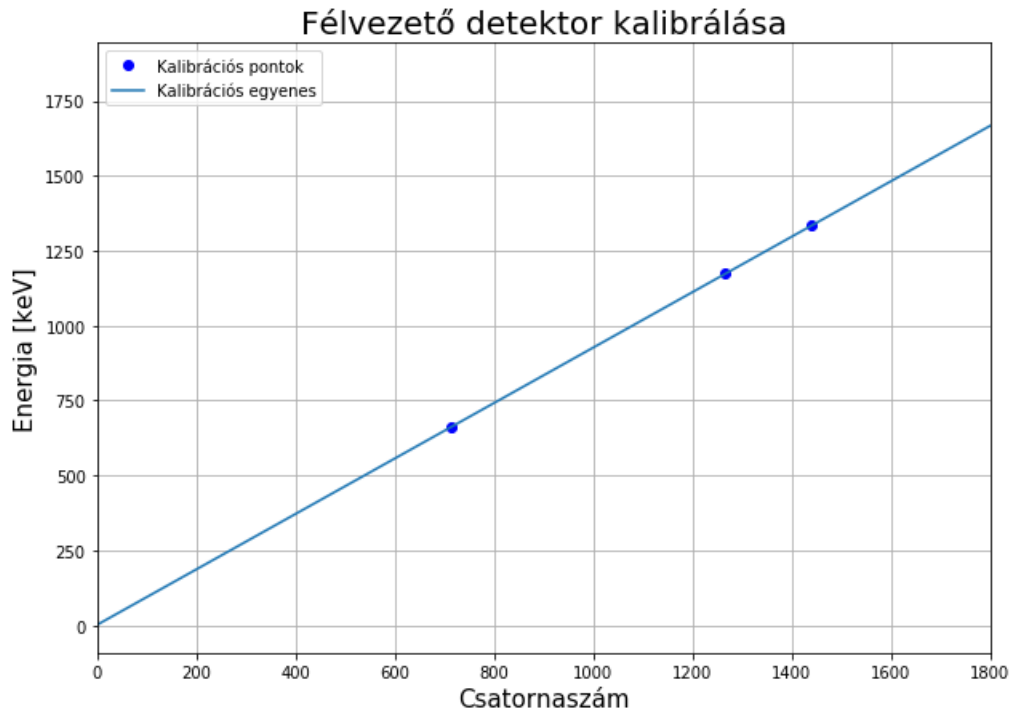
9. ábra. A cézium csúcsának (662 keV) illesztése

Az illesztési paraméterek:

Energia	662 keV
A	172.539 ± 4.197
μ	714.710 ± 0.017
σ	0.636 ± 0.020
c	5.750 ± 0.894

5. táblázat. A cézium spektrumában látható csúcs illesztési paraméterei

Az illesztési paraméterek segítségével ezen detektor esetében is el tudjuk végezni a kalibrációt, szintén egyenesillesztés segítségével, a fent már kifejtett módon. A kalibrációs egyenes a 10. ábrán látható.

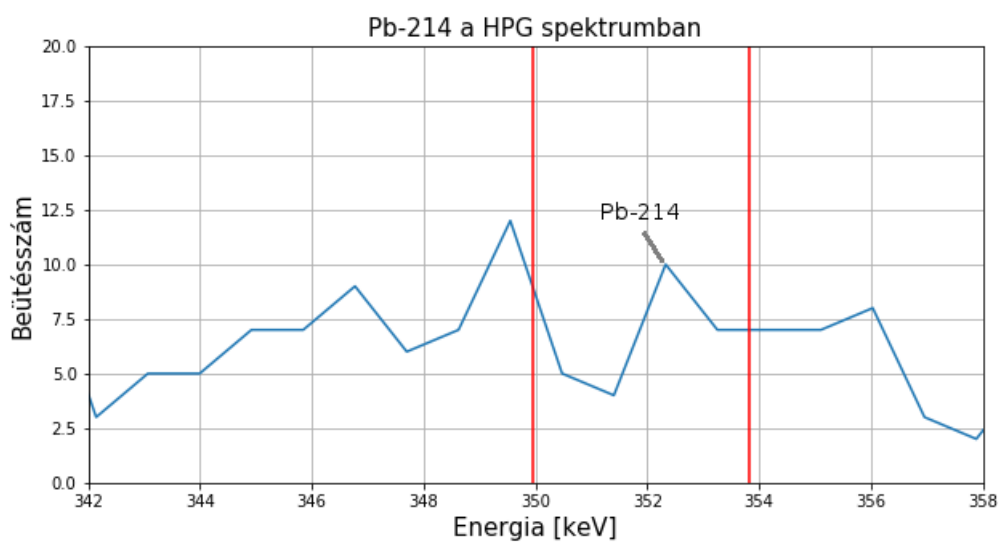
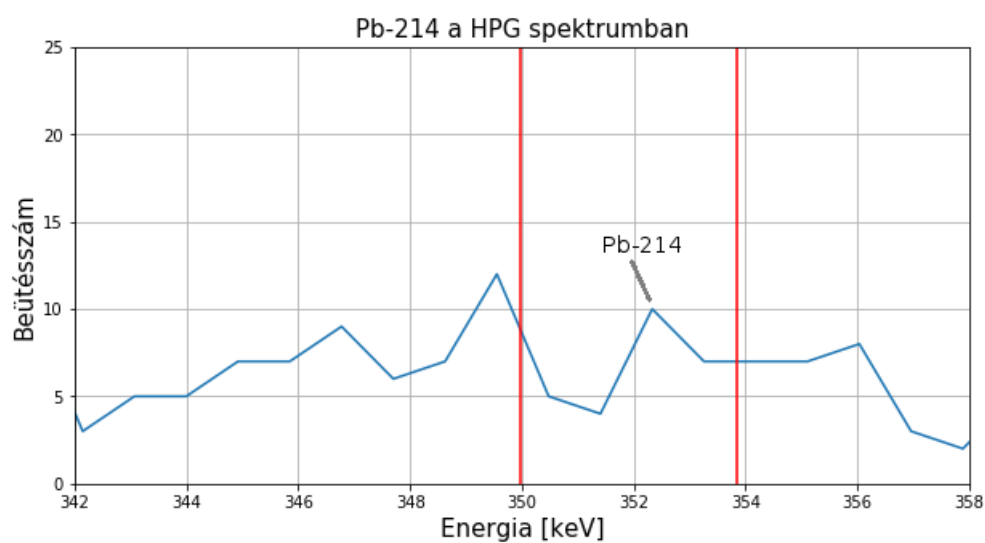
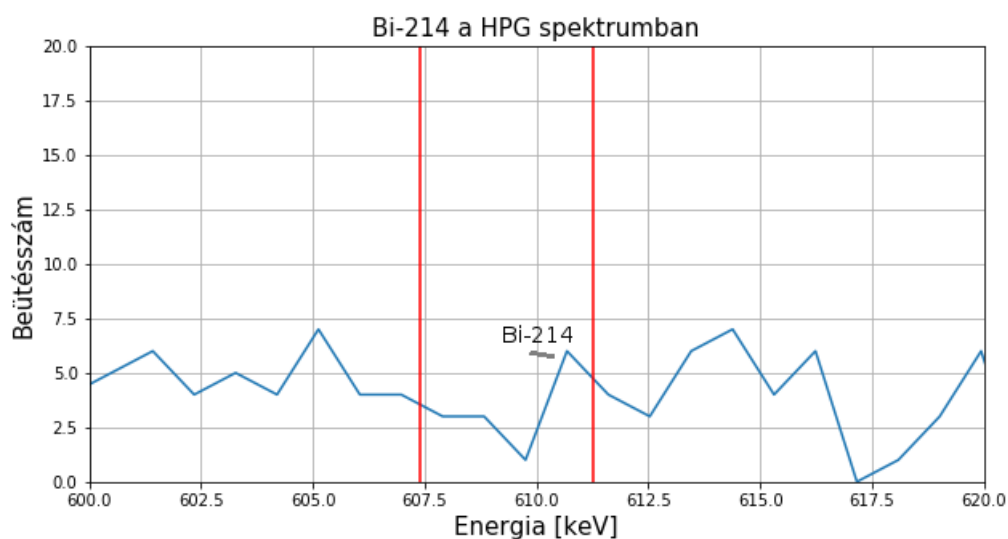


10. ábra. A félvezető detektor kalibrálásához készített egyenesillesztés

A kalibrációs egyenes egyenlete:

$$E(x) = 0.926 \cdot x + 0.450$$

A detektor felbontóképességét itt is a ^{60}Co vonal félértékszélességével írhatjuk le a 4. ábránál tapasztaltakhoz hasonlóan. Ez alapján a HPG felbontóképességére $\Delta x = (1.935 \pm 0.049)$ keV adódik. Ezen felbontásérték segítségével közelítőleg azonosítani tudunk bizonyos bomlástermékeket a HPG spektrumában. A feladatunk a ^{238}U három bomlástermékének, a ^{214}Bi (609.318 keV), ^{214}Pb (351.9 keV) és a ^{214}Pb (295.2 keV) csúcsának spektrumon belüli azonosítása volt. Ehhez kivágtuk a spektrum irodalmi energiaérték körüli tartományát, majd a felbontóképességen belül detektálható csúcsot azonosítottuk a keresett leányelemként. A spektrum-részletek és a csúcsok azonosításai a ?? . ábrn látható.



11. ábra. ^{238}U leányelemeinek azonosítása. A piros sávok a felbontóképességet jelölik, a sávok között félúton az irodalmi energiaértékek helyezkednek el

A választott csúcsok leolvasott energiaértékei az alábbi táblázatban láthatók:

Izotóp	Irodalmi energia [keV]	Leolvasott energia [keV]
^{214}Bi	609.32	610.68
^{214}Pb	351.90	352.33
^{214}Pb	295.20	296.77

6. táblázat. A leányelemek leolvasott helyei. A választott csúcsok mind a kontinuum statisztikus ingadozása felett (Poisson-hiba), valamint a felbonthatósági határon belül vannak

A táblázatban látható irodalmi értékeket a [2]-ből írtam ki. A spektrumokban az ábrákon látható módon fel lehet lelteni az urán leányelemei által létrehozott csúcsokat, azonban a pontosabb energiaméréshez és a csúcsok jobban láthatóvá tételéhez hosszabb idejű mérésekre lett volna szükség.