Korszerű mérési módszerek laboratórium

Magspektroszkópia

Mérési jegyzőkönyv

Rudolf Ádám

Fizika BSc., Fizikus szakirány

Mérőtársak: Kozics György, Májer Imre

Mérésvezető: Deák Ferenc

Mérés időpontja: 2011. május 10.

Leadás időpontja: 2011. június 6.

1. Bevezetés, mérés lefolyása

A mérés során gamma és béta spektroszkópiát végeztünk. Több minta ezen sugárzásait vettük fel sokcsatornás analizátor segítségével az energia függvényében. Feladatunk volt a berendezés kalibrálása, és a mérési adatok kiértékelése. A mérésleírásban meglévő elméletet nem részletezném, a felhasznált összefüggéseket a megfelelő helyen közlöm.

2. Gamma spektroszkópia

2.1. Stabilitásvizsgálat

Első feladatunk a NaI(Tl) anyagból készült detektror stabilitásának vizsgálata volt. Az volt a kérdés, hogy a mérés hibája kizárólag statisztikus ingadoszáokból ered, vagy pedig a berendezésnek valamilyen hibájából. A válasz felderítése érdekében harmincszor megmértük a ^{137}Cs forrás gamma spektrumát, mindegyik alkalommal meghatároztuk a fotocsúcs integrálját a mérőporgram segítségével. Megállapodás szerint én az első 15 értéket dolgozom fel, amelyek a következők:

1265	1322	1359	1287	1347
1344	1335	1317	1289	1273
1282	1333	1316	1356	1376

1. táblázat. Stabilitáshoz mért beütésszám adatok (n_i)

Ezen adatoknek kiszámítottam az átlagát: $\bar{n}=1320{,}07$, és szórásnégyzetét: $s^2=1172{,}07$.

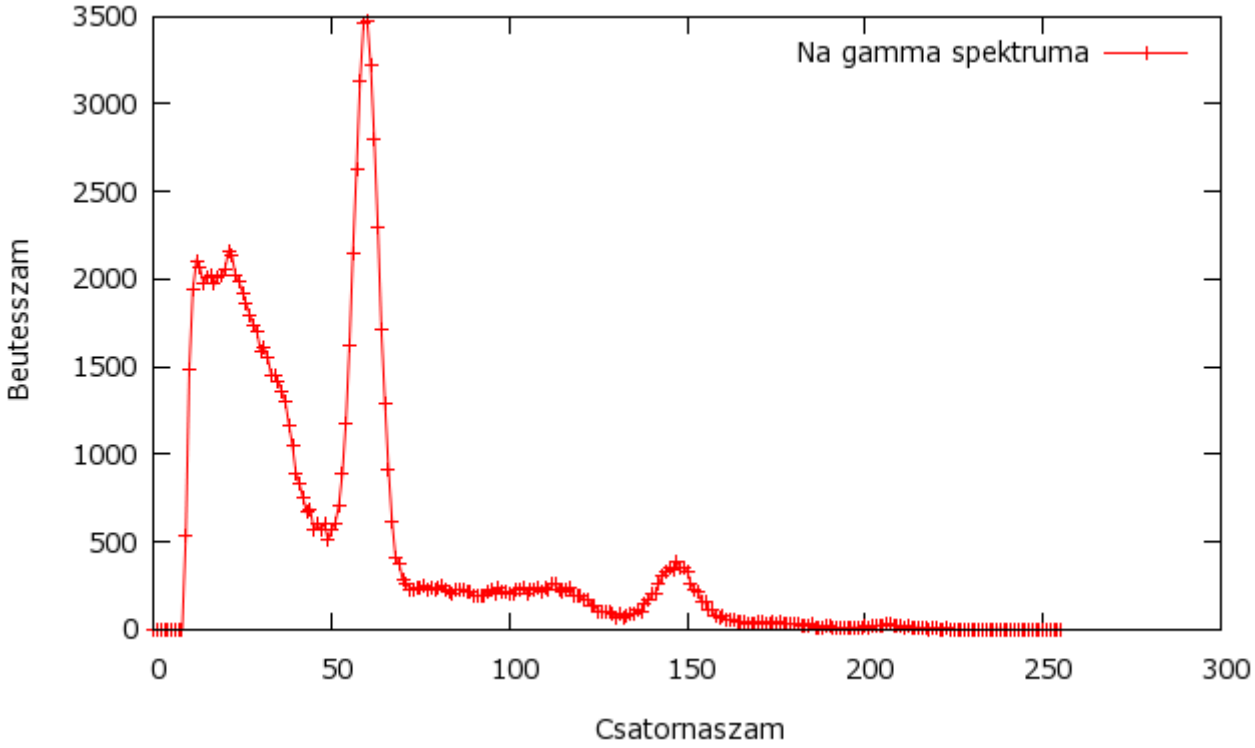
Kiszámoltam a mérésleírásban közölt *K* mennyiséget:

$$K=\frac{s^2-\bar{n}}{\bar{n}\sqrt{\frac{2}{p-1}}}=-0{,}297$$

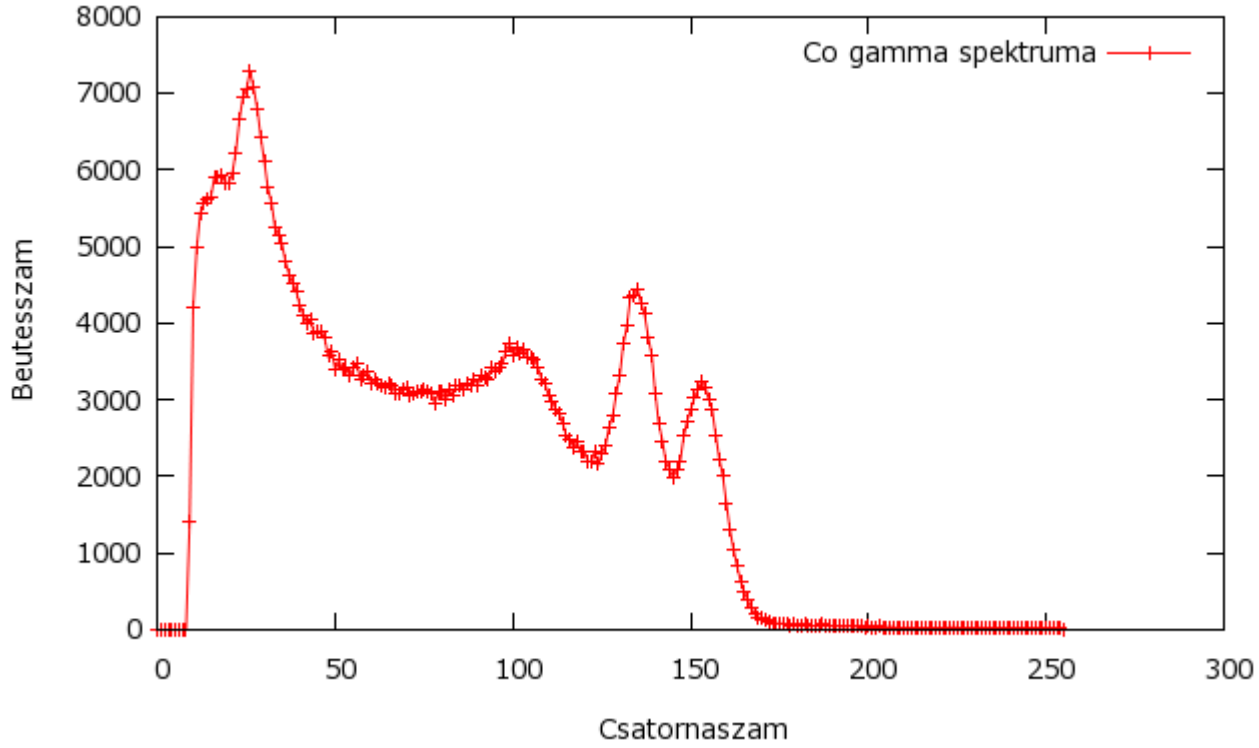
A leírás szerint akkor tekinthetjük stabilnak a berendezést, ha $K<3$. Ez egyértelműen teljesül, tehát a mérésből adódó hibák nem a berendezés hibái, csak statisztikus ingadozások.

2.2. Kalibráció

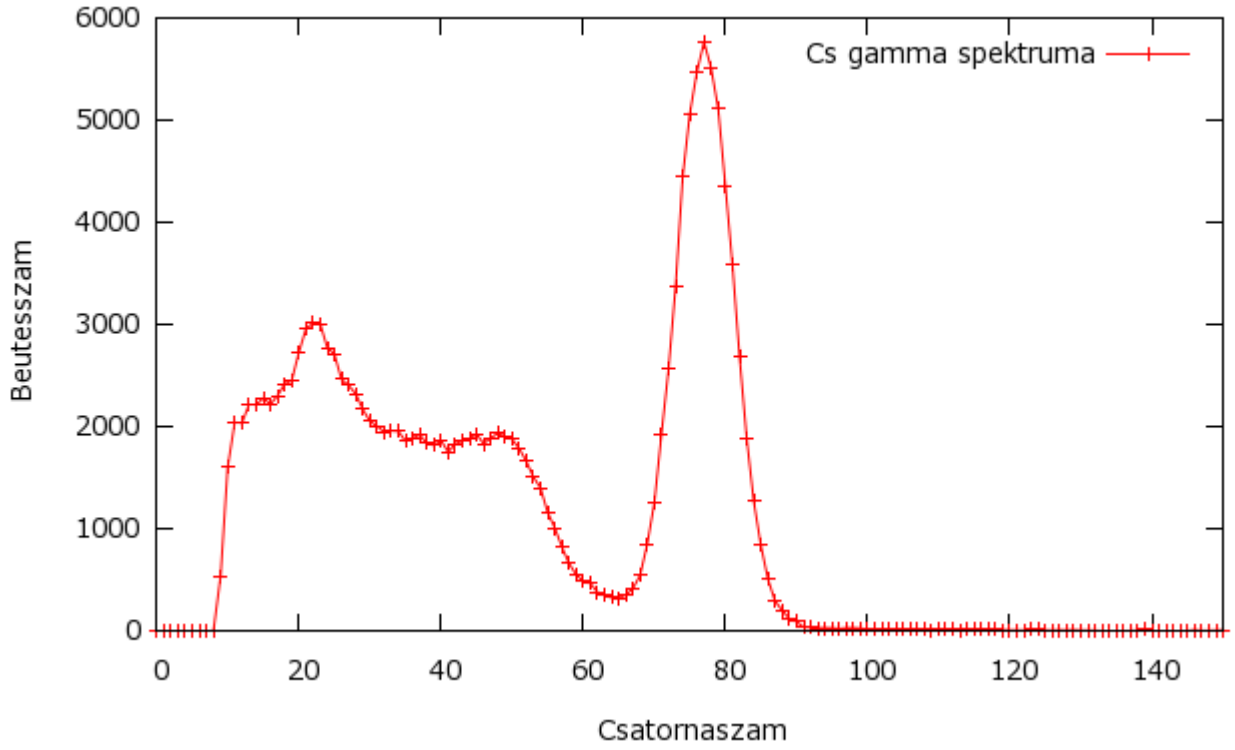
Mivel az adatainkat csak a csatornaszámok ismeretében tudjuk, szükségünk van egy kalibrációs szabály meghatározására, ami szerint a csatornaszámból kiszámolhatjuk a hozzá tartozó energiát. Ehhez szükségünk van olyan forrásokra, amiknek ismerjük az irodalmi csúcshelyeit, és ezek spektrumából már meg tudunk határozni egy lineáris transzformációt a csatornaszám és energia között. Erre ^{22}Na, ^{60}Co és ^{137}Cs minták fotocsúcsait használtuk fel. Felvettük ezek spektrumait (*1. ábra - 3. ábra*), a mérőprogram segítségével meghatároztuk a csúcshelyeiket (*2. táblázat*), és az irodalmi energiákra egyenest illesztettem a csatornaszámok függvényében (*4. ábra*). A spektrumok ábráin összekötöttem az adatpontokat az átláthatóság érdekében, de az összekötéseknek nincs fizkai jelentésük.



1. ábra. ^{22}Na gamma spektruma



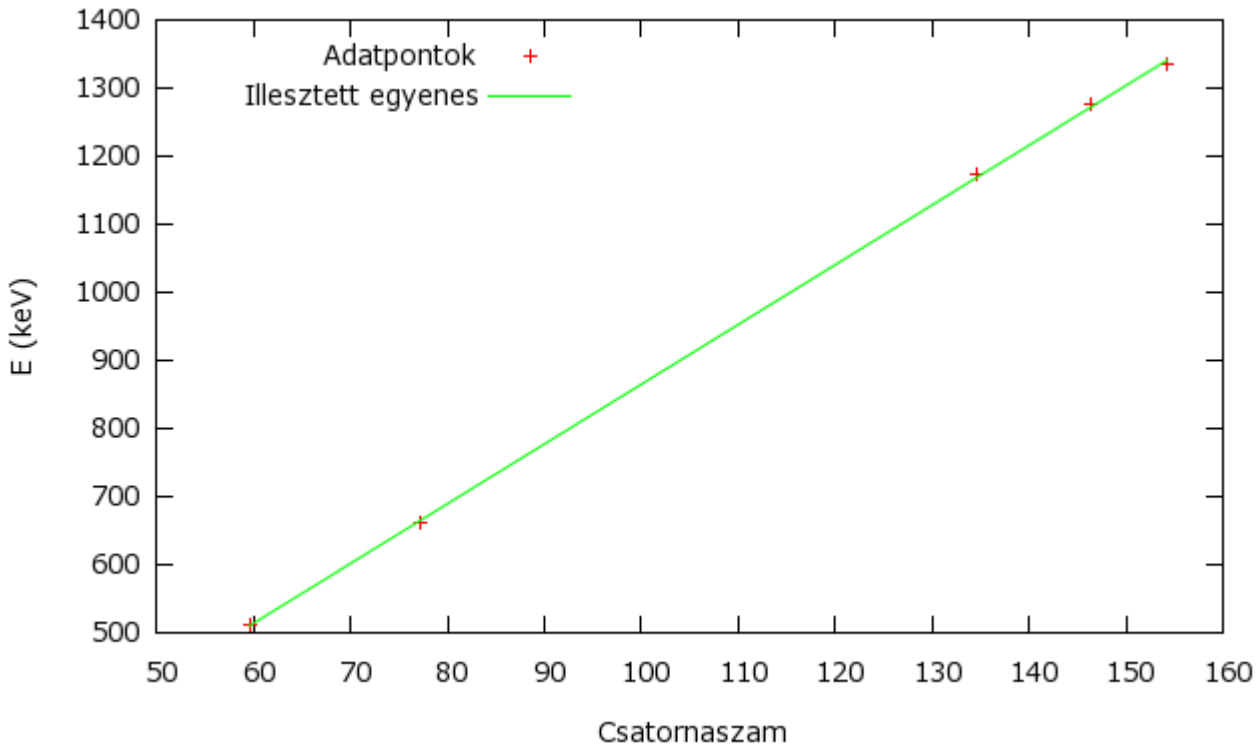
2. ábra. ^{60}Co gamma spektruma.



3. ábra. ^{137}Cs gamma spektruma

	Csatornaszám	E (keV)
Na 1. csúcs	59,57	511
Na 2. csúcs	146,28	1275
Co 1. csúcs	134,66	1173
Co 2. csúcs	154,25	1333
Cs csúcs	77,17	662

2. táblázat. A program által adott csúcshelyek csatornaszámban, és a csúcsok energiái az irodalom szerint.



4. ábra. A kalibrációhoz mért adatpontok az illesztett egyenessel

Az $E = a \cdot ch + b$ egyenletű egyenes illesztési paramétereire a következőket kaptam: $a = (8{,}77 \pm 0{,}067)\,keV$, $b = (-11 \pm 8{,}1)\,keV$.

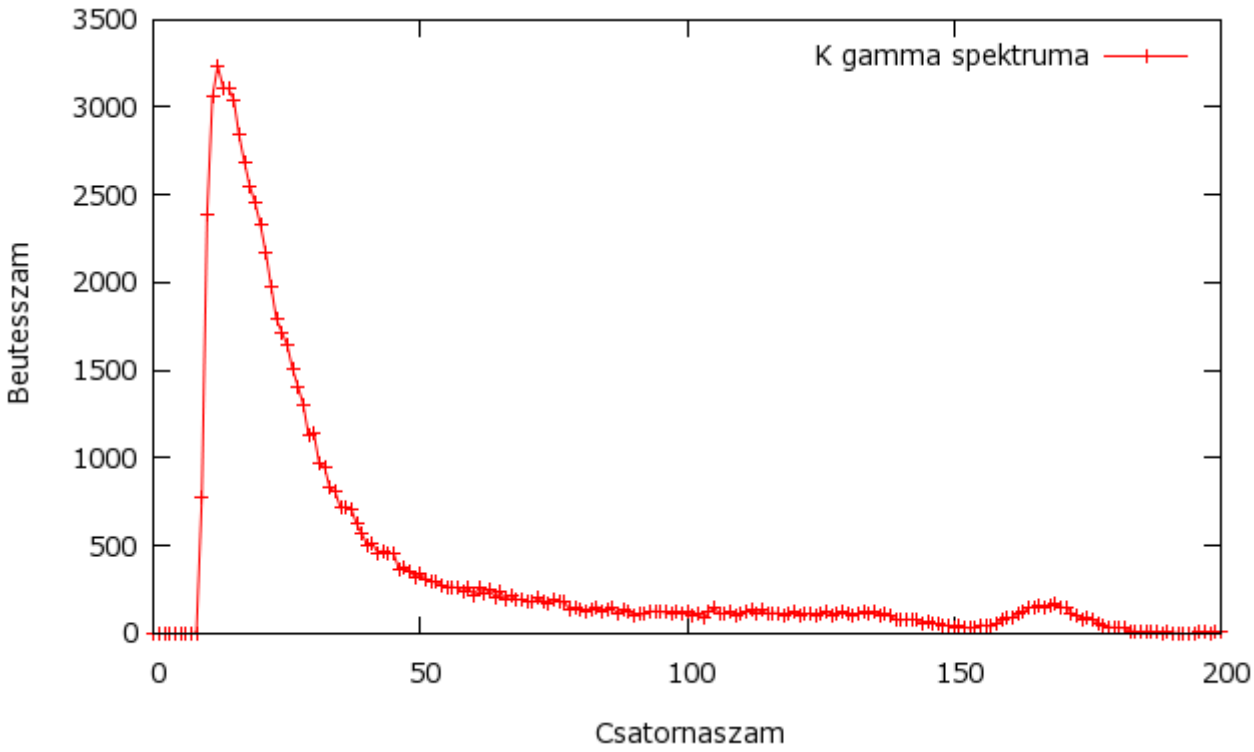
A kalibrációs szabályunk tehát, ha *ch* jelöli a csatornaszámot:

$$E = 8{,}77\,keV \cdot ch - 11\,keV$$

Ezen kívül a hibákat is figyelembe kell venni.

2.3. Csúcshely meghatározása

Gamma spektroszkópiával kapcsolatos utolsó feladatunk a ^{40}K fotocsúcsának helyének meghatározása. Három spektrumot vettünk föl: KCl és NaCl keveréke, tiszta NaCl, valamint minta nélkül a hétteret. A legelsőből legkönnyebb meghatározni a kálium keresett csúcsának helyét.



5. ábra. A ^{40}K fotocsúcsa a 167,72-es csatornaszámnál van.

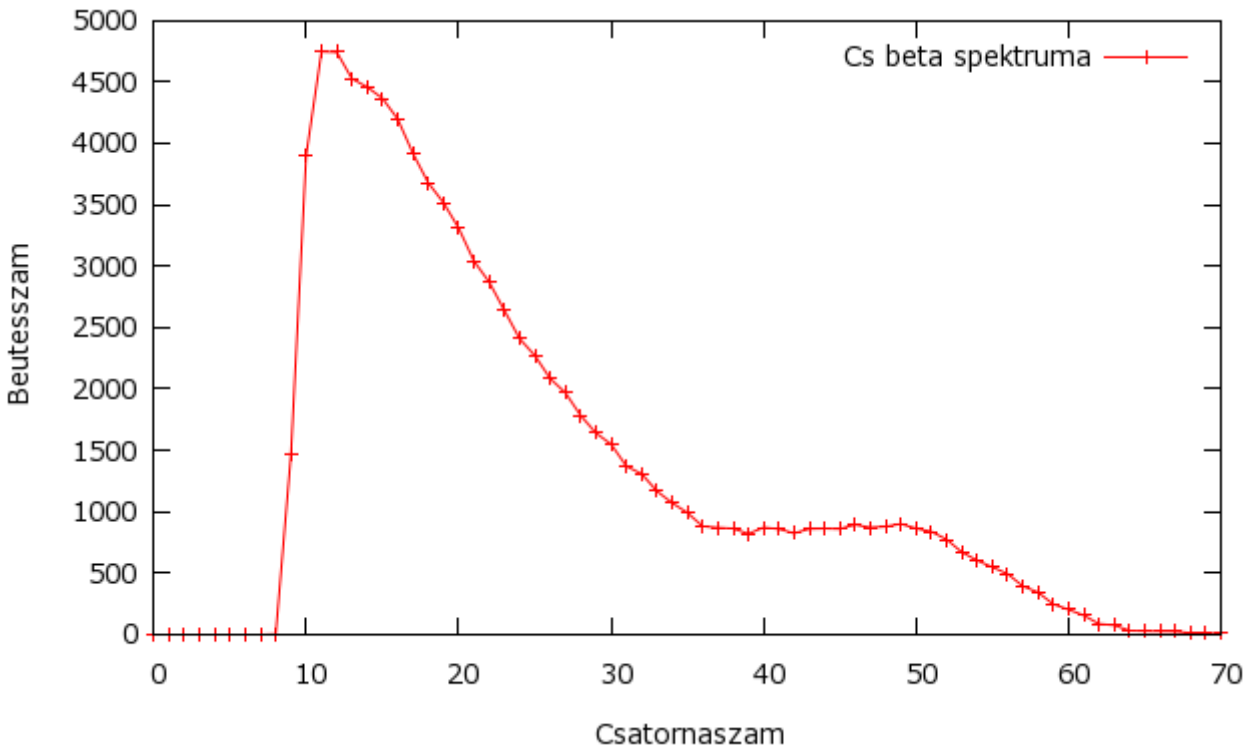
A kiértékelő program szerint a keresett csúcs csatoranszáma: 167,72. A kalibrációnk alapján az energiája: $E=(1459\pm 9{,}4)\,keV$. Az irodalmi érték $E_{irodalmi}=1461\,keV$. Az egyezést jónak gondolom.

3. Béta spektroszkópia

Mivel a béta spektroszkópiában ki akarjuk zárni a fotonok hatását, kis rendszámú anyagot alakalmazunk detektorként, ugyanis a rendszám csökkentésével csökken a fotoeffektus hatáskeresztmetszete.

3.1. Kalibráció

Mivel nem ugyanazt a detektort használtuk ebben a mérésben, az előző kalibrációt természetesen nem használhatjuk, azt újra el kell végeznünk. Erre a ^{137}Cs konverziós elektronját használtuk, aminek karakterisztikus energiája van. Béta spektruma a *6. ábrán* látható.



6. ábra. ^{137}Cs béta spektruma

A konverziós elektron energiája $630\,keV$. A spektrumnak lokális maximuma van a 49-es csatornaszámnál, így ezt vettem a csúcs helyének. Másik pontnak a 0 keV-et vettem, amit a 3-as csatornaszámhoz rendeltünk megbeszélés alapján.

Erre felírhatjuk egy egyenes egyenletét:

$$E=\left(\frac{630}{49-3}ch-\frac{630}{49-3}\cdot 3\right)=13{,}70\cdot ch-41{,}09\,keV$$

3.2. ^{137}Cs béta spektruma

A jegyzetben tárgyalt elmélet szerint $m_o=1$ és $c=1$ mértékrendszerben felírhatjuk a Fermi-Kurie egyenes egyenletét:

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

Ahol $W=\frac{E}{m_0c^2}+1$, $W_m=\frac{E_m}{m_0c^2}+1$, $m_0c^2=511\,keV$ az elektron nyugalmi tömege, $p=\sqrt{W^2-1}$, $G=\frac{p}{W}F(Z,E)$ módosított Fermi-függvény, értékei benne vannak a mérésleírásban. Sükséges, nem megadott értékeit köbös spline interpolűációval határoztam meg. A kérdéses értékeket kiszámoltam.

A bal oldal hibáját a következőképpen számoltam:

$$\Delta\sqrt{\frac{N}{GW^2}}=\frac{1}{2}\sqrt{\frac{N}{GW^2}}\left(\frac{\Delta N}{N}+\frac{\Delta G}{G}+2\frac{\Delta W}{W}\right)$$

Ahol $\Delta N=\sqrt{N}$ a Poisson-eloszlás miatt, ΔG függ a kalibráció pontosságától, és a függvény meredekségétől, ezt a hibaterjedés szabályait figyelembe véve 3%-nak becsültem. $\Delta W=\frac{\Delta E}{m_0c^2}=\frac{0{,}2E}{511\,keV}$. E hibája a kalibrációban tett közelítésből adódó becsült hiba.

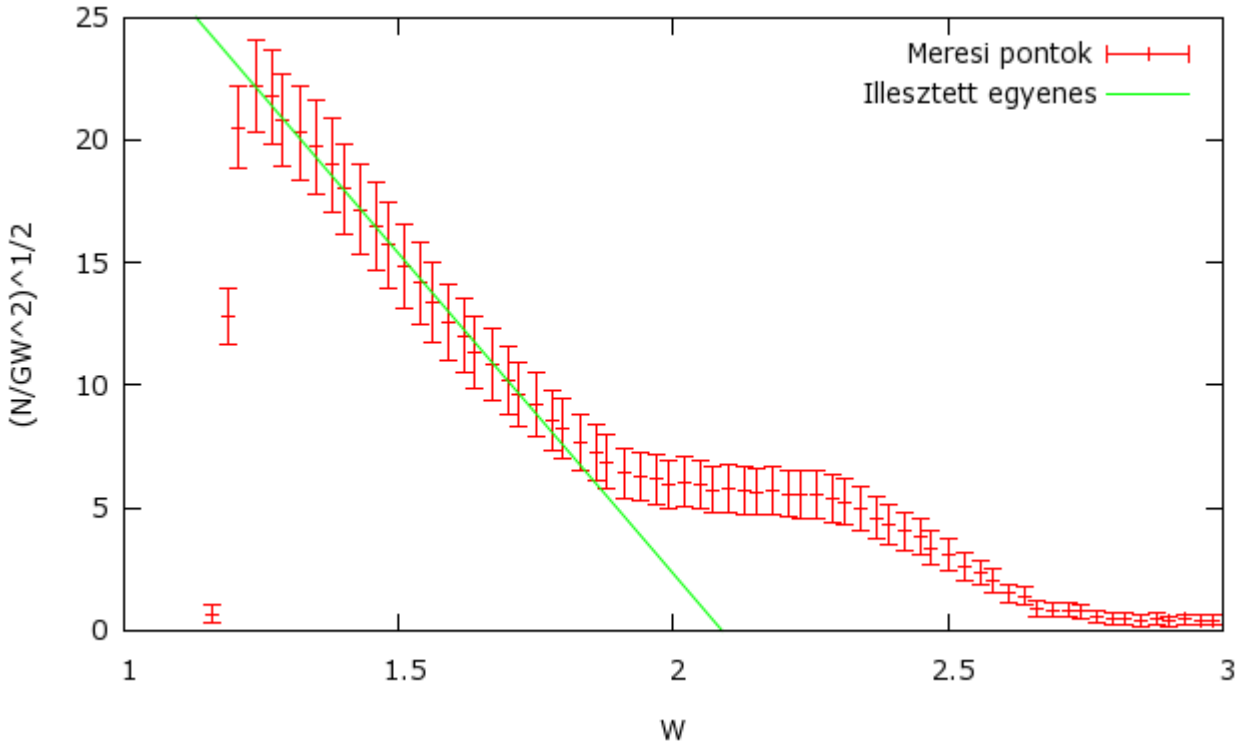
Az adatsor lineáris részére $a\cdot x+b$ egyenletű egyenest illesztve kiszámolhatjuk a kvantumátmenet energiáját. Az illesztési paraméterek: $a=-26{,}1\pm0{,}45$, $b=54{,}5\pm0{,}71$.

$$E_m=(W_m-1)m_0c^2=-(b/a+1)m_0c^2=556\,keV$$

$$\Delta E=\frac{m_0c^2}{|a|}\Delta b+\frac{b\,m_0c^2}{a^2}\Delta a=3{,}1\,keV$$

Tehát:

$$E=(556\pm3{,}1)\,keV$$



7. ábra. ^{137}Cs minta Fermi-Kurie egyenese.

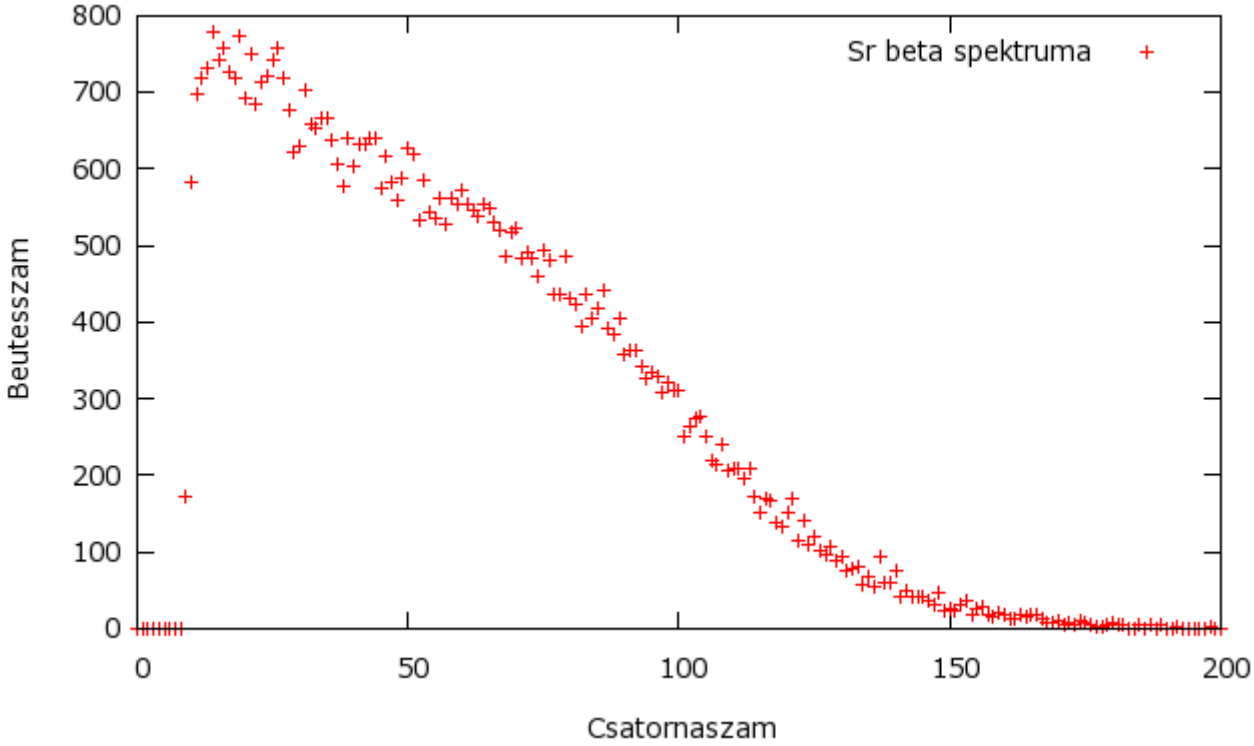
3.3. ^{90}Sr béta spektruma

Feladatként az elsőként felvett spektrum kiértékelését kaptam, ami a *8. ábrán* látható.

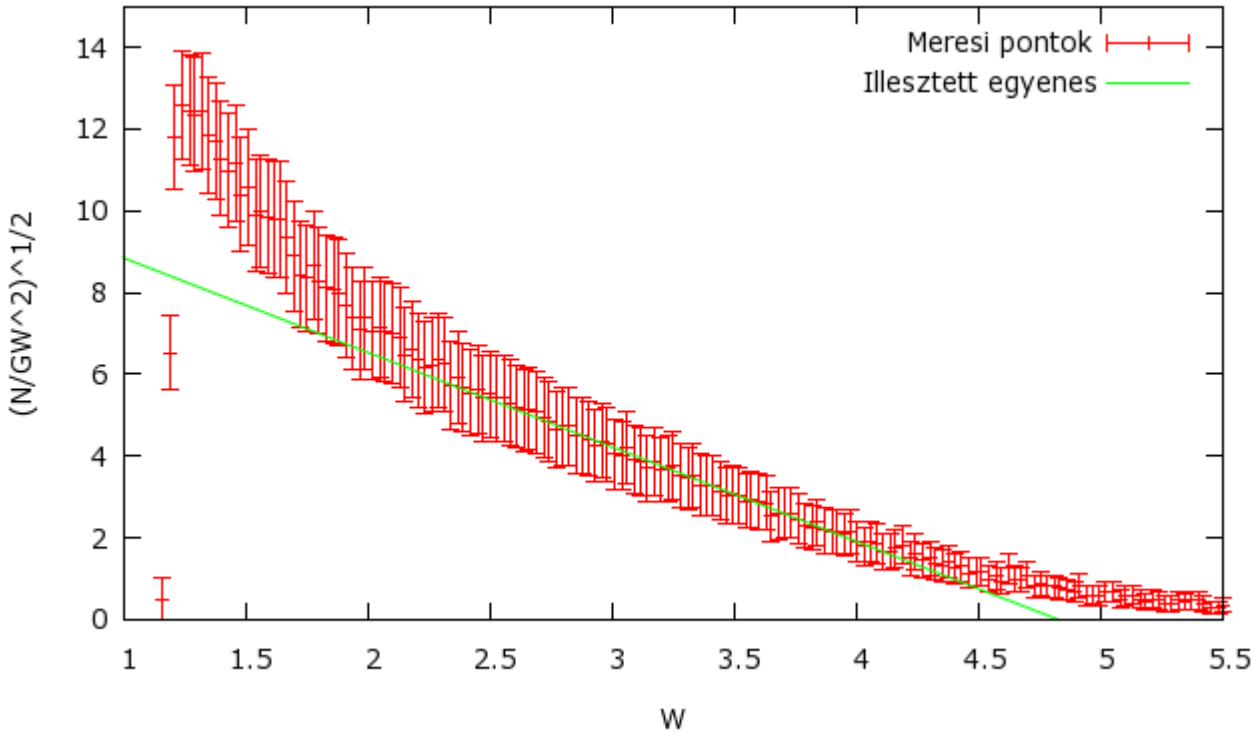
A stronciumnak két átmenetét figyelhetjük meg, aminek a mi szempontunkból az a következménye, hogy a fent leírt módon áttranszformált spektrum nem egy egyenes lesz. Először a fent leírt módon áttranszformáltam az adatsort, és a nagyenergiás elektronokra illesztettem egy Fermi-Kurie egyenest, ahol a kisebb energiás átmenetnem már nincsen járuléka. Ez a *9. ábrán* látható. A fent leírt módon az átmenetre kapott energia:

$$E = (1960 \pm 53)\, keV$$

Az irodalmi érték: $E_{irodalmi} = 2280\, keV$.



8. ábra. ^{90}Sr béta spektruma



9. ábra. ^{90}Sr transzformált béta spektruma, a nagyenergiás kvantumátmenetre illesztett Fermi-Kurie egyenessel

Ezután a spektrumunkból le tudjuk vonni a nagyenergiás átmenethez tartozó beütésszámokat oly módon, hogy az előbb illesztett Fermi-Kurie egyenes pontjait visszatranszformáljuk beütésszámmá a következő módon:

$$N_{nagy} = GW^2 (aW + b)^2$$

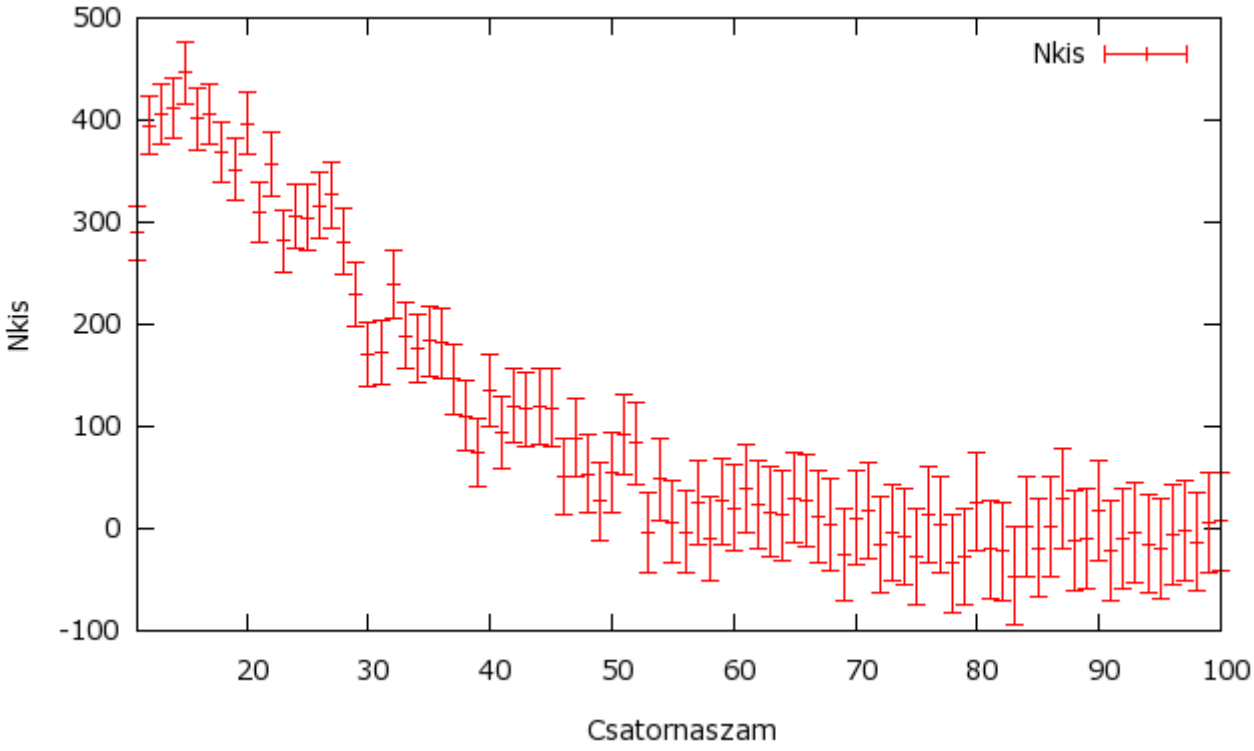
N_{nagy} hibája az illesztési paraméterek hibájából származik:

$$\Delta N_{nagy} = 2\mathrm{GW}^2 (aW + b)(W \Delta a + \Delta b)$$

Ezután képeztem a következő mennyiségeket: $N_{kis} = N - N_{nagy}$, ami az energia függvényében a kisebb energiás kvantumátmenethez tartozó spektrumnak felel meg. Ennek hibája N és N_{nagy} hiáinak négyzetösszegének gyökeként áll elő:

$$\Delta N_{kis} = \sqrt{\Delta N^2 + \Delta N_{nagy}^2} = \sqrt{N + \Delta N_{nagy}^2}$$

A számolt adatok a hibával együtt a *10. ábrán* láthatóak.

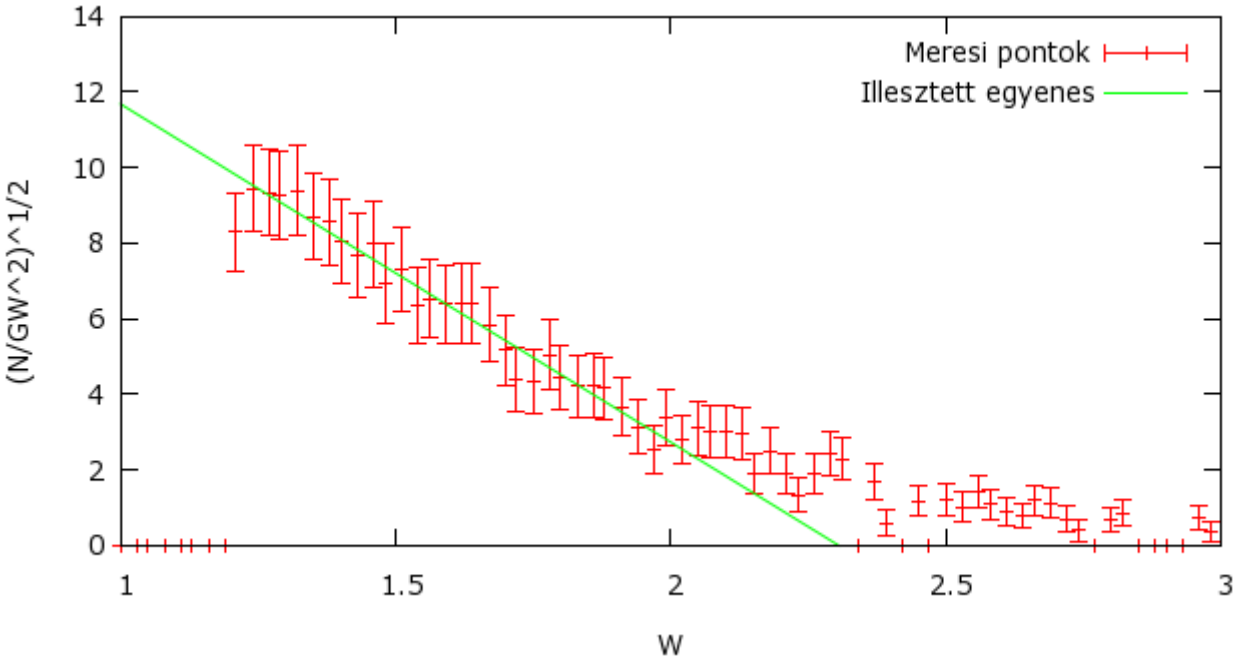


10. ábra. N_{kis} értékek a csatornaszám függvényében.

Utolsónak N_{kis} értékekből a már ismert módon kiszámoltam a kisenergiás átmenet energiáját. A hozzátartozó grafikon a *11. ábrán* látható, a kapott energiaérték:

$$E=(667\pm77)\,keV$$

Az irodalmi érték: $E_{irodalmi}=546\,keV$



11. ábra. N_{kis} értékek az illesztett egyenessel.