

GEANT4 SZIMULÁCIÓS KÖRNYEZETBEN LÉTREHOZOTT VÁLASZMÁTRIX EMPIRIKUS KORREKCIÓJA PLASZTIK SZCINTILLÁCIÓS DETEKTOROKNÁL

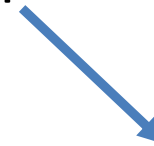
XLVIII. Sugárvédelmi Továbbképző Tanfolyam
Gyula, 2023. április 18-20.

Jónás Jácint¹, Garai Zoltán¹, Petrányi János¹
GAMMA Zrt.¹

A sugárkapuban riasztást okozó lehetséges források:

- Nukleáris proliferáció (WGPu, HEU)
- Gazdátlan források (Cs-137, Co-60, Ir-192 etc.)
- NORM (ártatlan riasztás)
- In vivo orvosi izotópok (ártatlan riasztás)
- Radon és leányelemeinek kimosódása (ártatlan riasztás)
- Statisztikus szórás miatt (téves riasztás)

Minőségi analízis: Radioaktív izotóp azonosítás



Kézi radioaktív izotóp azonosító
élőerő, időigény, egyénfüggő.

Radioizotóp-azonosító, sugárkapu
személyzet nélkül, automatikus.

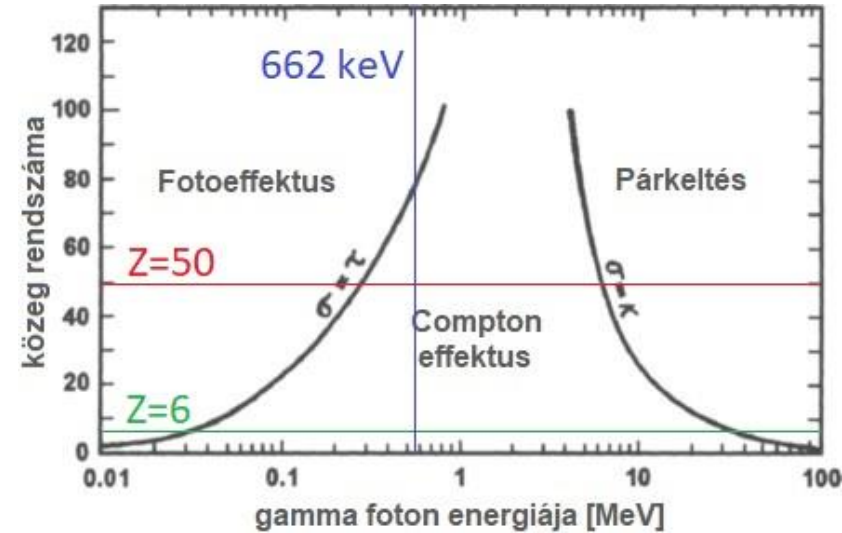
Detektor	HPGe, Ø44x37 mm	NaI(Tl), Ø50x200 mm	Plasztik, 1000x500x50 mm
Relatív határfok [1/1] (Cs-137)	0,11	1	16
Egységnyi térfogat relatív hatásfoka [1/1]	0,75	1	0,25
Egységnyi határfok relatív ára [1/1]	6,7	1	0,16
Félértékszélesség (661,6 keV)	0,1% (FWHM)	7% (FWHM)	80% (GEB)

Nal(Tl) és Plasztik szcintillátor

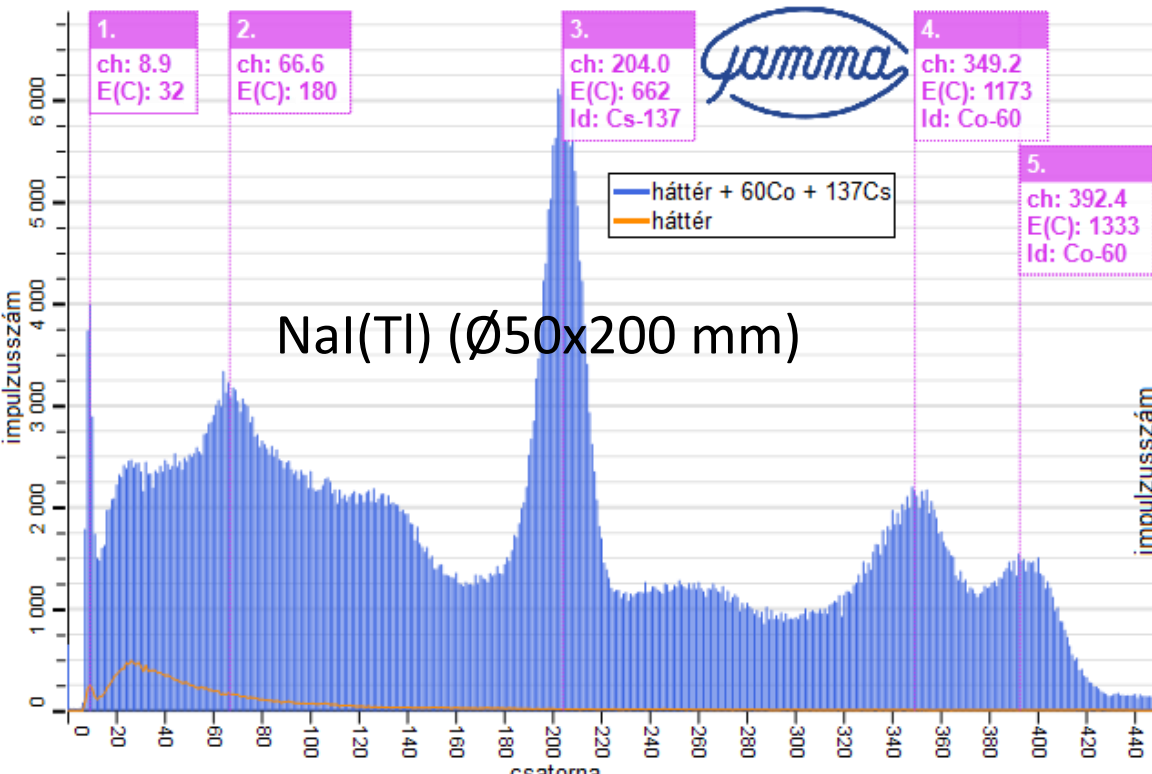
Szcintillátor	Nal(Tl)	Plasztik
Kvantumhatásfok [foton/keV]	43	14
Effektív rendszám (Z)	50	6
Fotocsúcs	van	nincs

Co-60 1 MBq + Cs-137 1 MBq

0,5 m, 3 perc

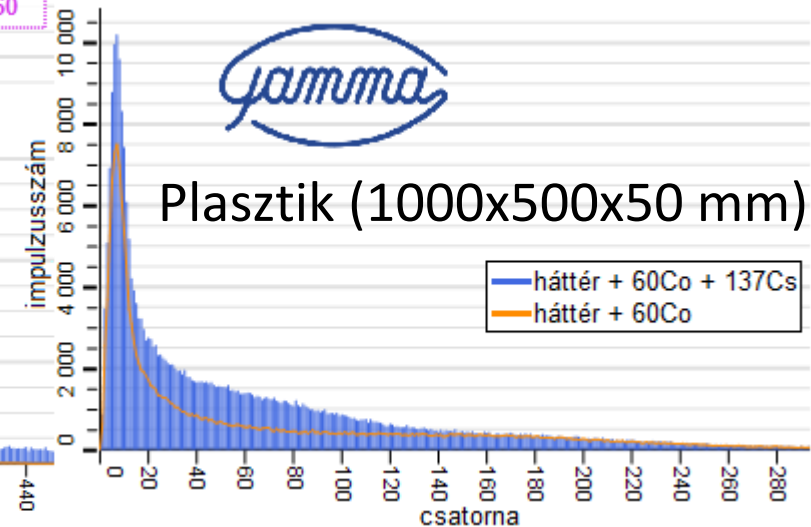


The Atomic Nucleus, Robley D. Evans



NaI(Tl) (Ø50x200 mm)

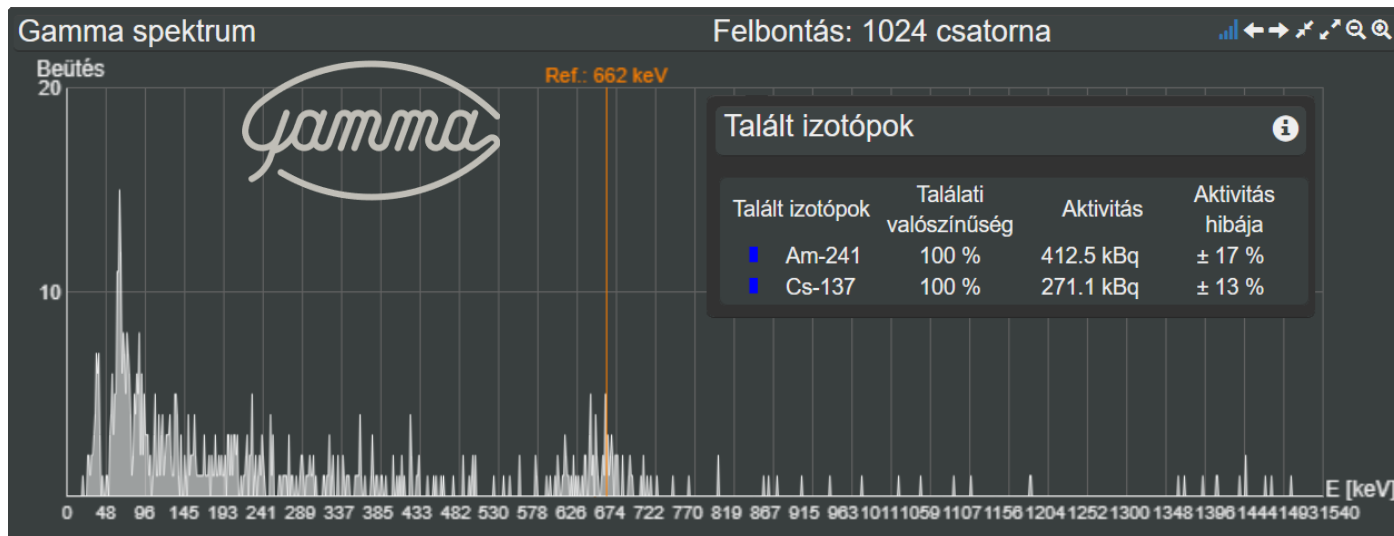
2,5 m, 3 perc



Plasztik (1000x500x50 mm)

Fast radio Nuclear Identification

Nal(Tl) szcintillátor (Ø50x200 mm)



Sugárkapu elrendezés:

v: 5 km/h

t: 4 s

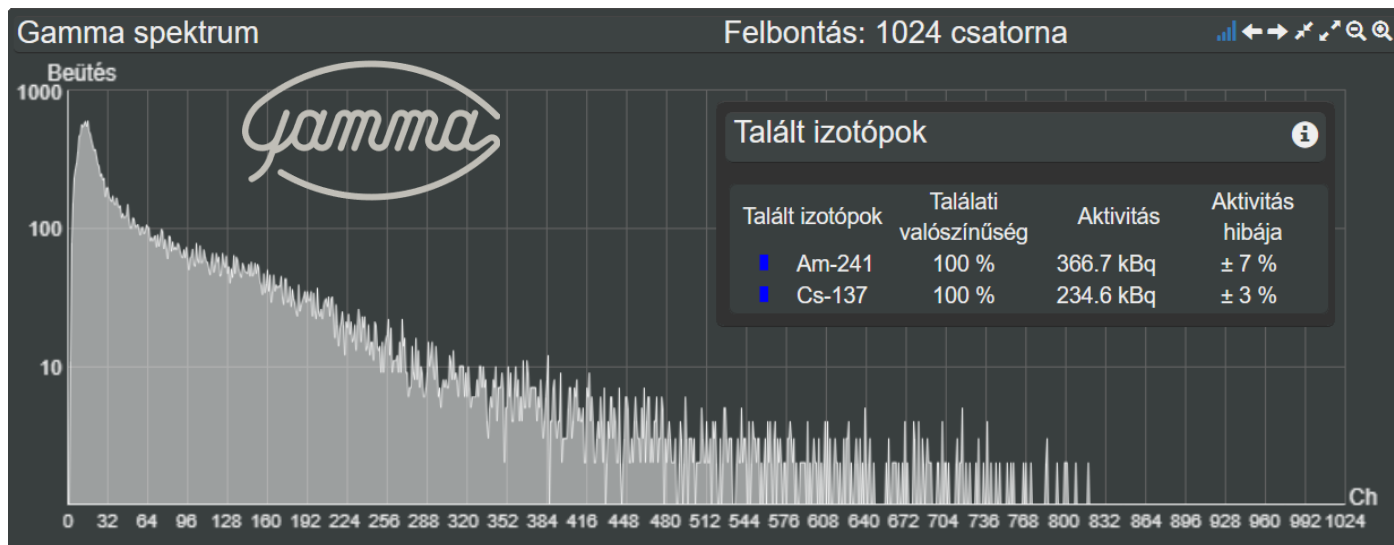
d: 1 m

Forrás aktivitás:

1,1 MBq Am-241

700 kBq Cs-137

Plasztik szcintillátor (1000x500x50 mm)



Izotóp azonosításhoz szükséges paraméterek

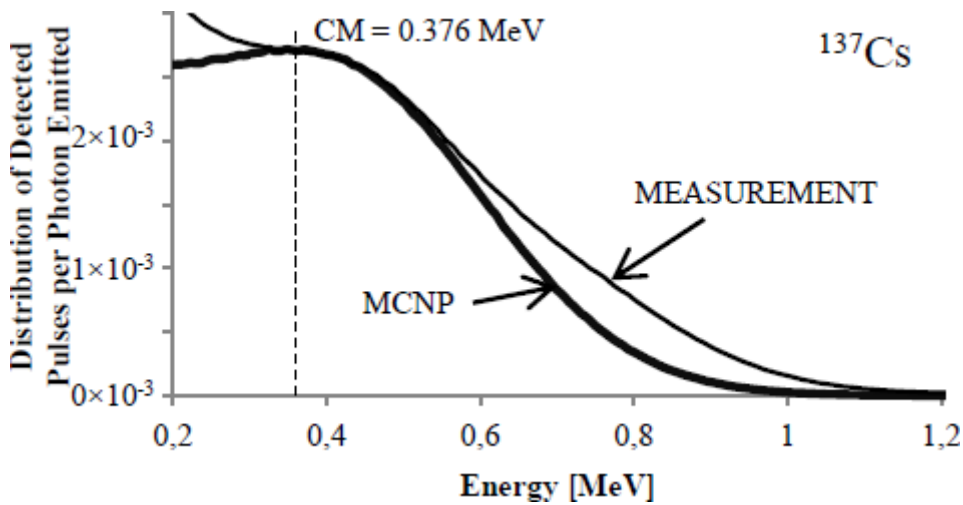
Klasszikus

- Teljesenergia csúcs (területe, helye)
- Energia kalibráció
- FWHM kalibráció
- Hatásfok kalibráció
- Izotóp könyvtár energiákkal és hozamokkal

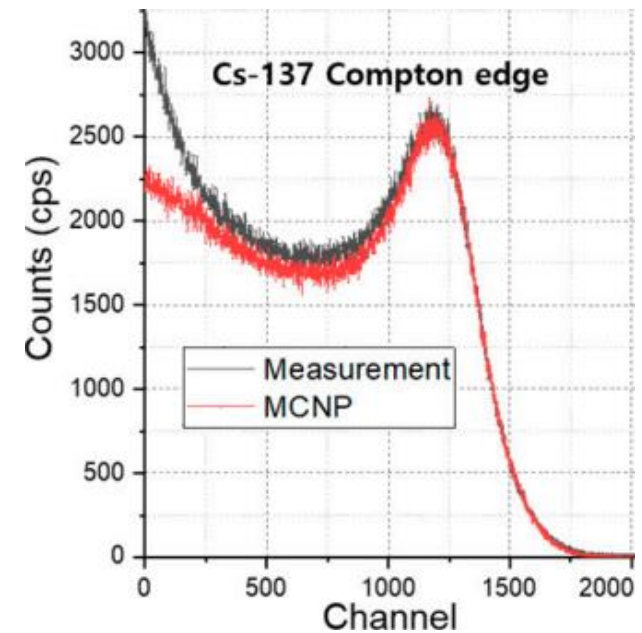
FNID

- Spektrum könyvtár:
 - I. Méréssel
 - II. Szimulációval
 - Energia kalibráció
 - FWHM (GEB) kalibráció
 - Hatásfok kalibráció
 - Válaszmátrix

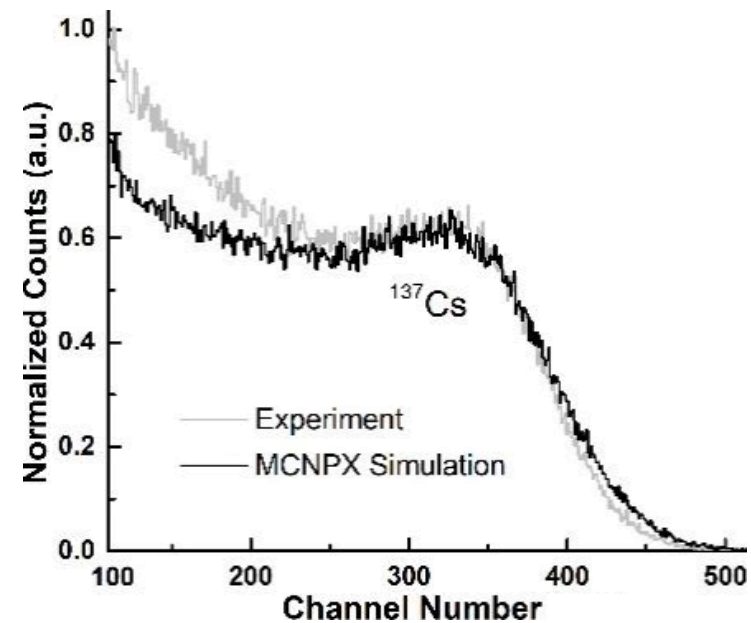
Szimulációhoz kalibrációs görbék szükségesek.



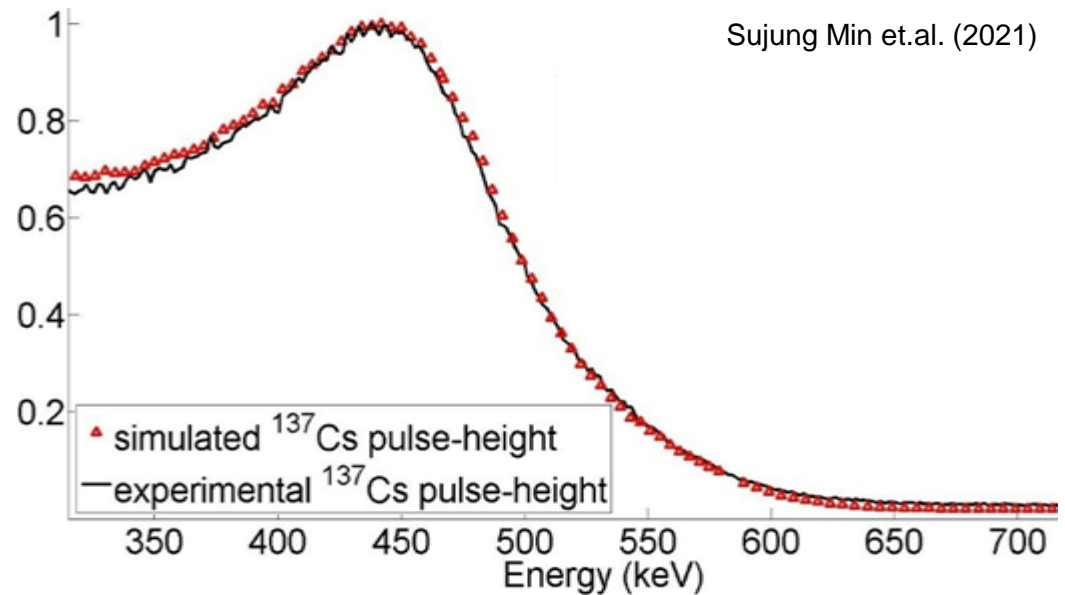
Branislav Stríbrnský, Martin Petriska and Róbert Hinca (2019)



Sujung Min et.al. (2021)



Yonghyun Kim et.al. (2018)

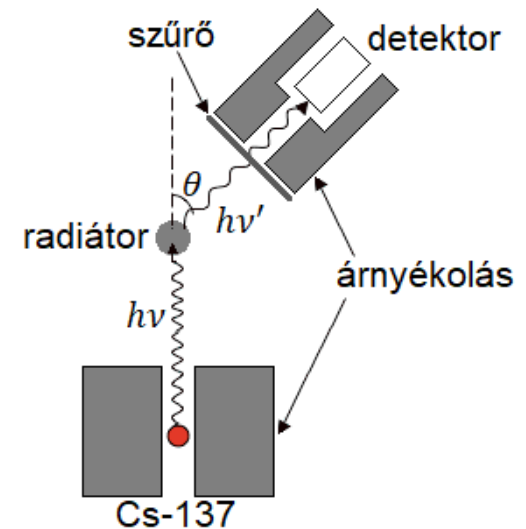


X. Li, Y. Wang, R. Zhou and C. Yan

Rendelkezésre álló izotópokkal:

- Kalibrációs paraméterek meghatározása méréssel
- GEANT4 modellezés validálása
- Empirikus kalibrációs paraméter, és válasz mátrix korrekció

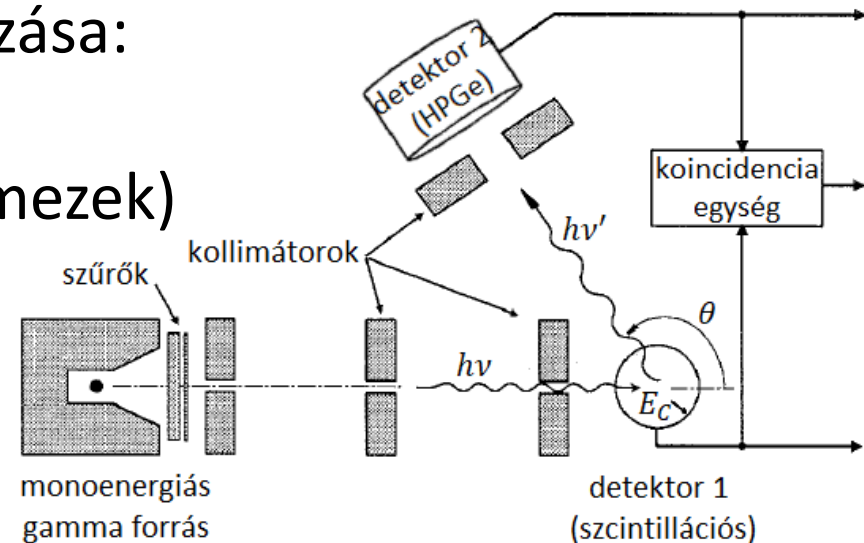
Compton szórás



Monoenergiás gammafoton létrehozása:

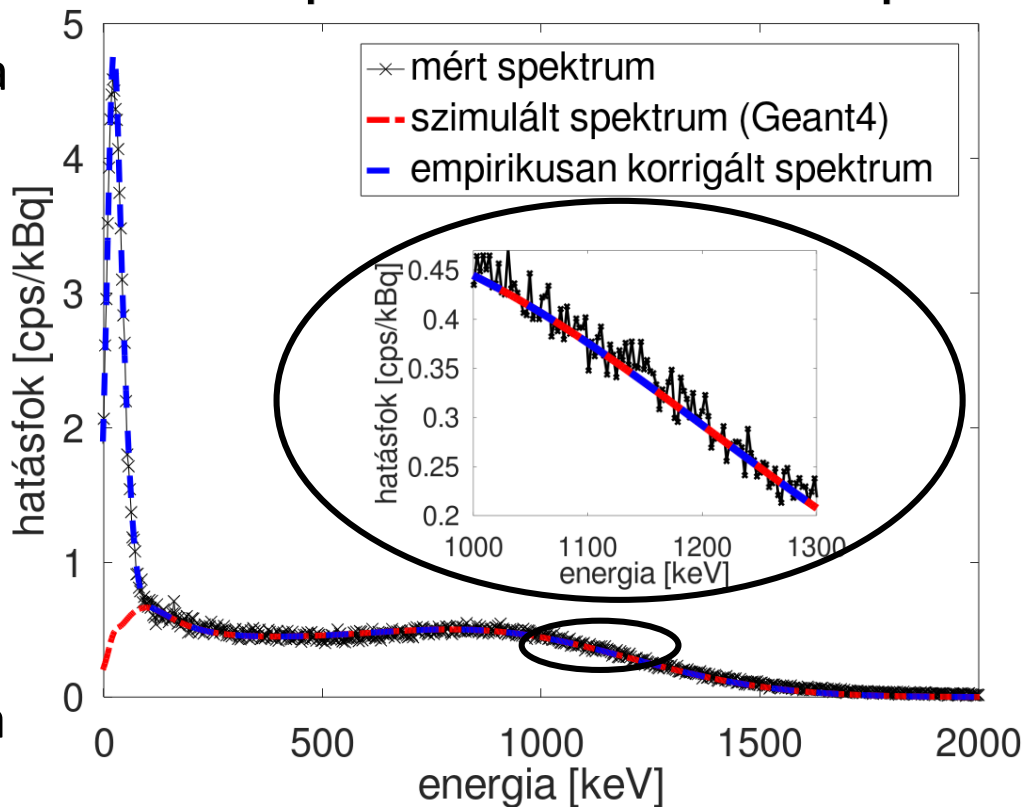
- Szűrt röntgen
- Szűrt gamma foton (árnyékoló lemezek)
- Compton szórás

Compton koincidenca technika



1. Geant4 programcsomaggal a detektor válaszmátrix modellezése. (Detektor pontos geometriai ismerete szükséges.)
2. Kalibrációs paraméterek optimalizálása. (Addig változtatjuk a kalibrációs paramétereket míg az összes izotóp esetén „azonos” lesz a mért és szimulált spektrum.)
3. Empirikus korrekció.
4. Paraméterek újra optimalizálása.

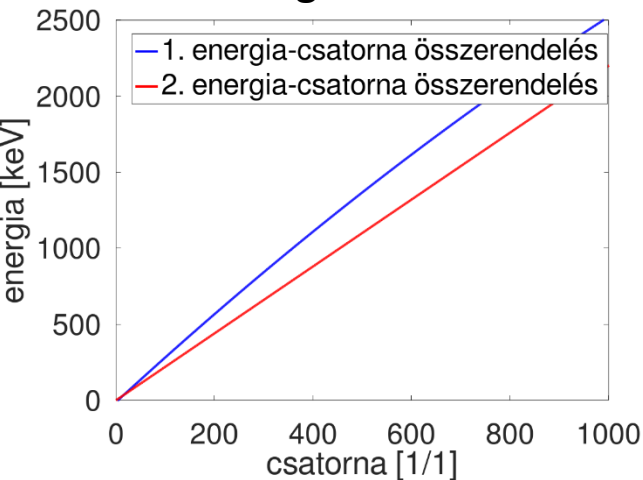
100x50x5 cm plasztik szcintillátor Co-60 spektrum



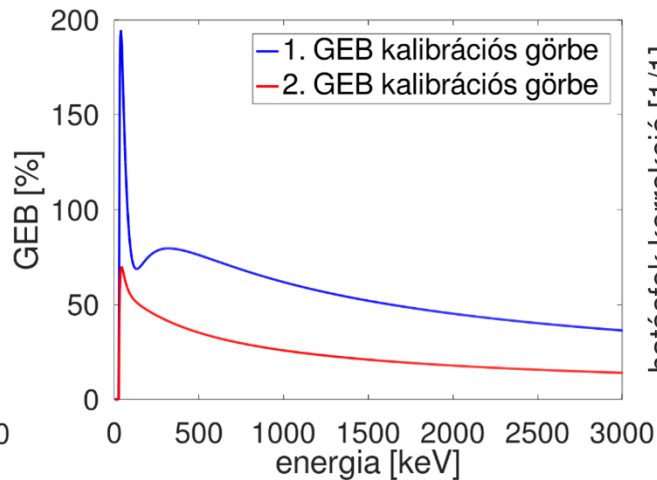
Az empirikus korrekció nélkül
a spektrum távolság: 0,64
Az empirikus korrekcióval: 0,06

Plasztik szcintillátor esetén (1000x500x50 mm)

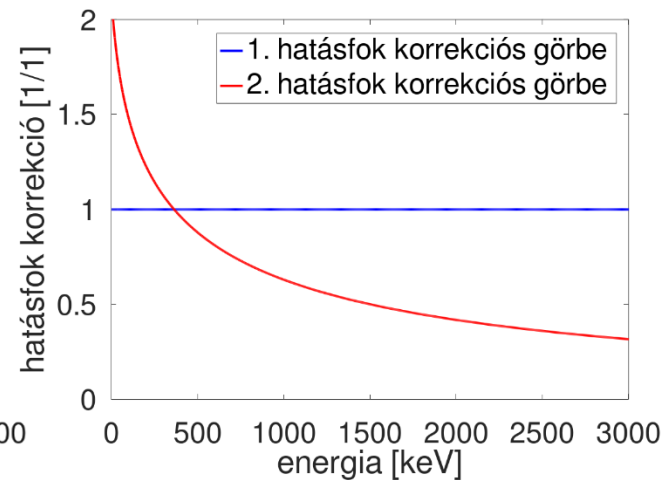
Energia kalibráció



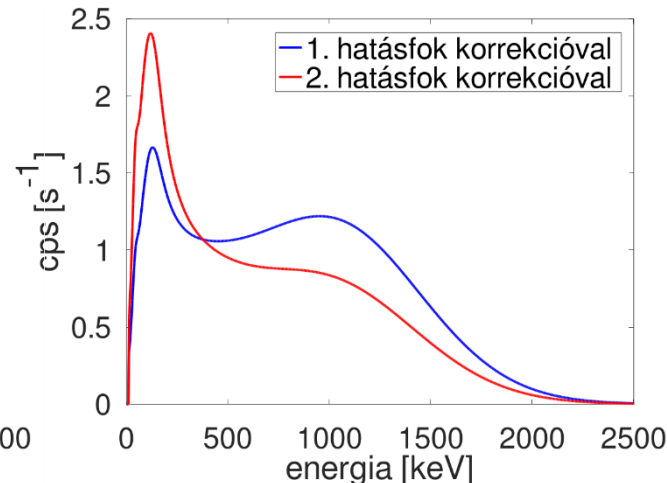
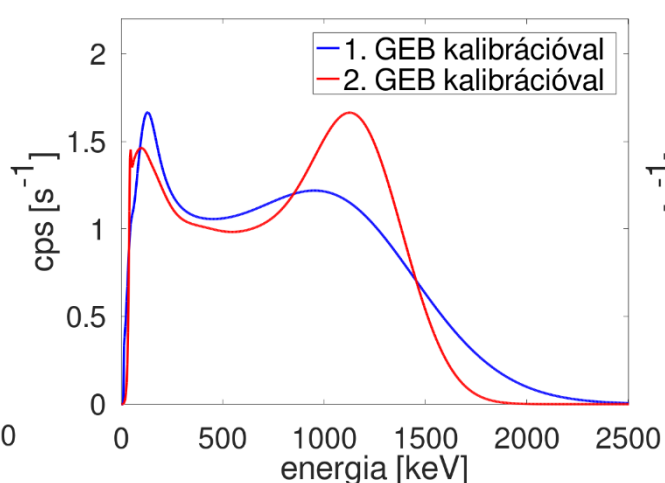
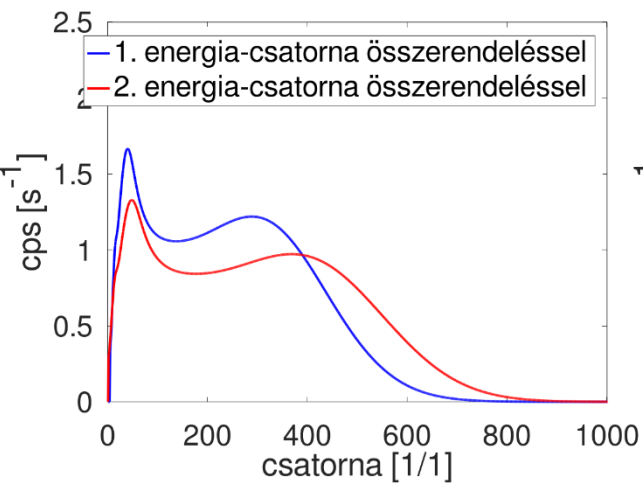
GEB kalibráció



Hatásfok korrekció kalibráció



Szimulált Co-60 spektrumok



Cs-137, Mn-54, Co-60 esetén a Compton-él meghatározható a spektrumban. Kezdetben csak ezen izotópok Compton-éle alapján történt a GEB és energia optimalizálás. Majd a Ba-133, Co-57, Cd-109, és Am-241 spektrumokat is figyelembe vettük az optimalizálás során.

Alacsony (<150 keV) gamma energiájú izotópok mért spektrum alakjai közel azonosak, és jó egyezést mutattak a szimulált spektrumokkal.

A magasabb energiás izotópok (Cs-137, Mn-54 és Co-60) szimulált spektrumából hiányzott egy alacsony energiás vonal, ami a mért spektrumokban határozottan megjelent.

A „hiányzó” csúcs helye azonos volt a mért spektrumok esetén.

A „hiányzó” csúcsot empirikusan illesztettük a válaszmátrixba, nagyságát az egyes izotópok kezdeti gamma energiáinak a függvényében adtuk meg egy polinommal.

Energia kalibráció

$$E(ch) = \sum_{i=1}^{N_E} ECalPar_i \cdot ch^{i-1}$$

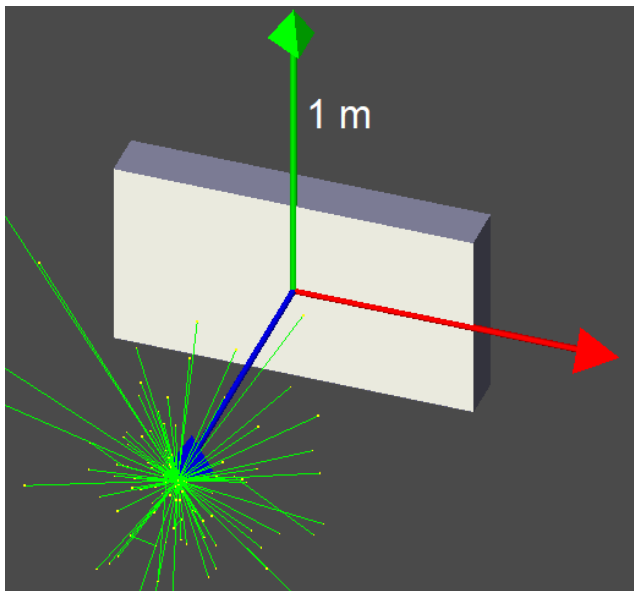
GEB kalibrációs függvény

$$GEB^2(E) = \exp \left[\sum_{i=1}^{N_G} GEBCalPar_i \cdot \ln(E)^{i-1} \right]$$

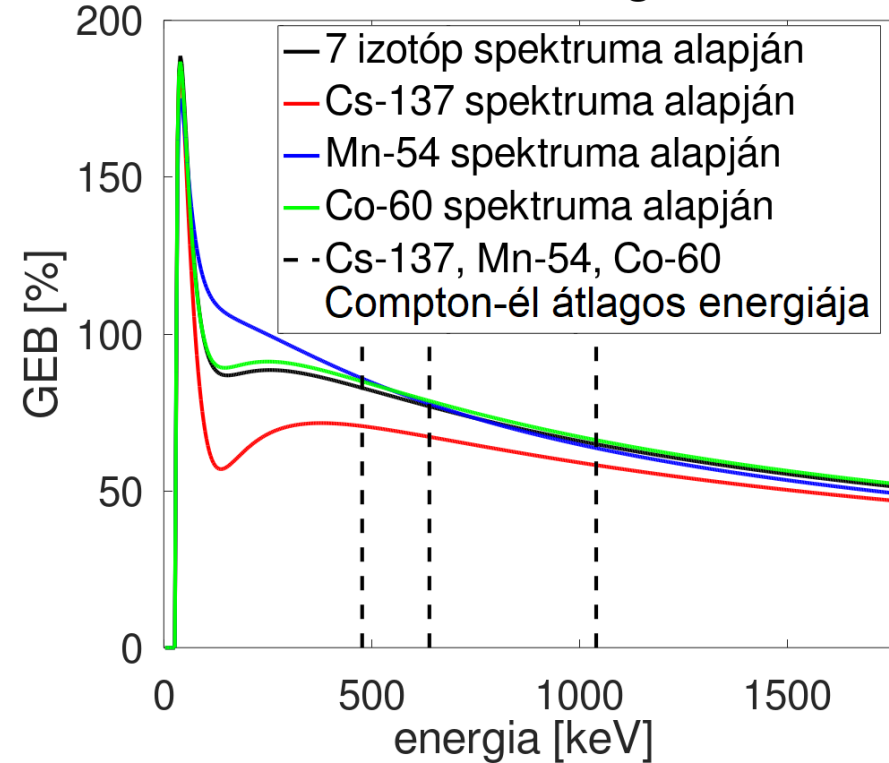
„Hiányzó” csúcs helye E_{cs}

„Hiányzó” csúcs területe $H_k = \sum_{j=1}^{N_k} p_{kj} \cdot \sum_{i=1}^{N_H} HCalPar_i \cdot E_{kj}^{i-M-1}$

Rendelkezésre álló izotóp	Fő gamma energia [keV]
Am-241	59
Cd-109	88
Co-57	122
Ba-133	356
Cs-137	662
Mn-54	835
Co-60	1173; 1332

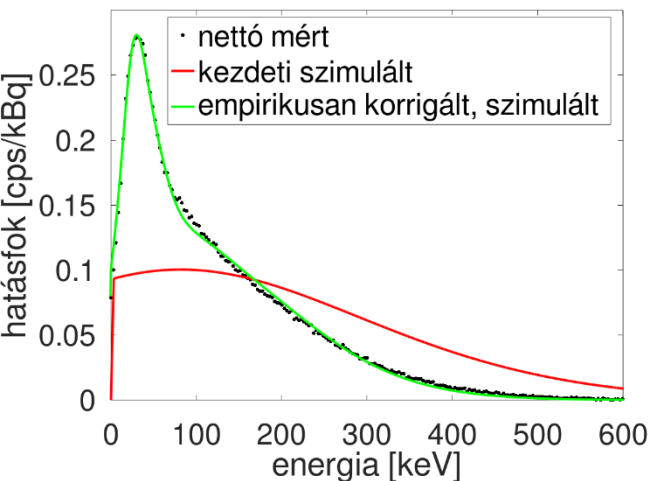


GEB kalibrációs görbék

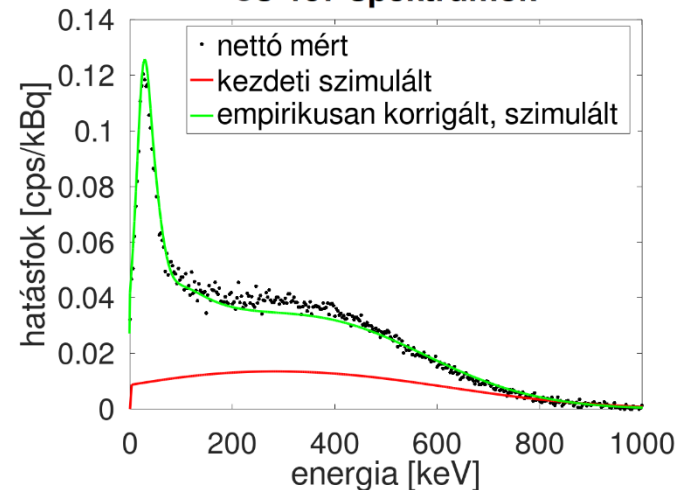


1000x500x50 mm plasztik

Ba-133 spektrumok



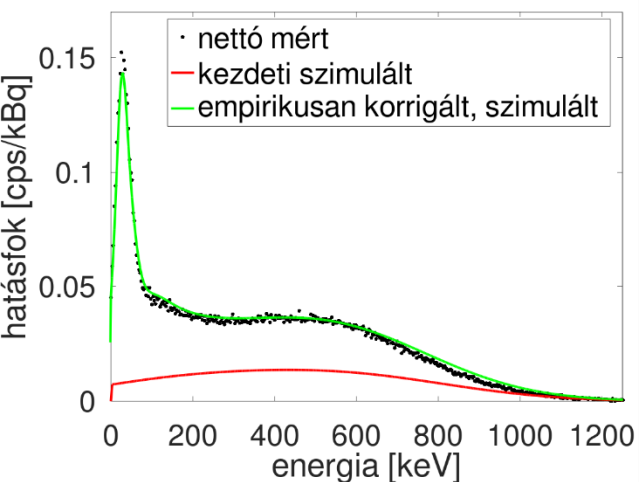
Cs-137 spektrumok



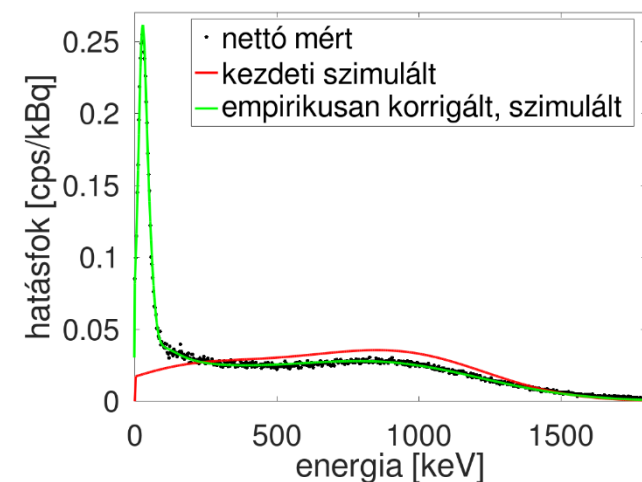
Spektrum távolságok [1/1]:

Izotóp	Kezd.	Opt.
Ba-133	0,71	0,097
Cs-137	0,51	0,061
Mn-54	0,62	0,053
Co-60	0,82	0,063

Mn-54 spektrumok



Co-60 spektrumok



$$SD = \sqrt{\sum_i (Mr_i - Sr_i)^2}$$

$$Sr_i = \frac{S_i}{\sum S} \quad Mr_i = \frac{M_i}{\sum M}$$

- A detektor kalibrációs görbéinek optimalizálásával a szimulált és a mért spektrumok közötti spektrum távolság jelentősen csökkent.
- A válaszmátrix korrekciója, és ismételt kalibrációs optimalizálás után a szimulált spektrumok alacsony energiás része is jó egyezést mutatott a mért spektrummal. A spektrum távolság egy nagyságrendet csökkent.
- További alacsony monoenergiás izotópok szükségesek.
- Másfajta optimalizációs eljárások kipróbálása.

Köszönjük a
figyelmet!