

ÁRNYÉKOLÓ ANYAGOK VIZSGÁLATA GAMMA-SUGÁRZÁSSAL

Burucs András Barnabás, Dr. Veres Gábor

ELFT LI. Sugárvédelmi Továbbképző Tanfolyam 2026



ELTE | TTK
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR



Kiindulás

- Aktivitás meghatározása gamma-spektroszkópiával
- **Probléma:** ismeretlen árnyékolás torzítja a mért spektrumot

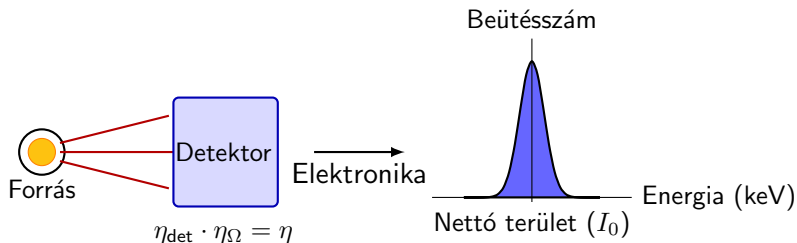
Megközelítés

- HPGe detektorral mérés
- Fotocsúcs-arány módszer
- Compton-módszer

Cél

Ismeretlen, vastag árnyékolás esetén pontos aktivitás mérés
(mérés + szimuláció kombinációjával)

Hogyan mérünk aktivitást ideális esetben?

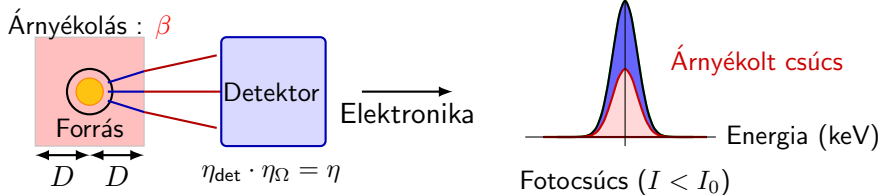


Aktivitás mérés árnyékolás nélkül

- **Nettó csúcsterület** (I_0)
- Mérési idő (t)
- Gamma-átmenet valószínűsége p_{γ}
- Detektor hatásfok (η)

Aktivitás

$$A = \frac{I_0}{t \cdot p_{\gamma} \cdot \eta}$$



Árnyékolt gamma forrás.

- Árnyékolás változtatja a spektrumot!
- $I = I_0 \cdot \beta = I_0 \cdot \exp(-\mu_t \cdot D)$
- β árnyékolási tényező - ismeretlen

Aktivitás

$$A = \frac{I}{t \cdot p_{\gamma} \cdot \eta} \cdot \frac{1}{\beta}$$

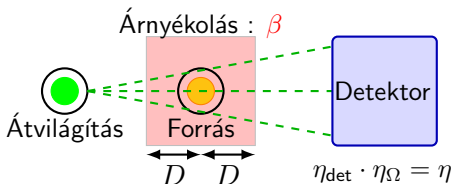
Mi a probléma az árnyékolt mintával?



- A képletünk most így néz ki:

$$A = \frac{I}{t \cdot p_\gamma \cdot (\eta \cdot \beta)}$$

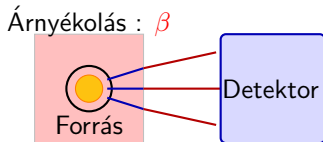
- β **függ**: a minta anyagától, geometriájától, sűrűségétől.
- **Hagyományos megoldás**: Átvilágítás egy külső ismert forrással. Ekkor megmérjük β -t.
 - **Probléma**: Extra forrás, extra mérés.
 - **Nem szeretnénk ezt csinálni!**





A cél

Átvilágítás nélkül meghatározni a β paramétert.



Előnyei:

- Mivel nem kell átvilágítani: Gyorsabb, egyszerűbb
- Nem kell extra forrás: **Sugárvédelmi szempontból előnyösebb**

Hogyan érjük el?

- **Mért spektrumból meghatározzuk β -t**



Ötlet

Két különböző energiájú gamma-vonal **különbözően gyengül** az anyagban.

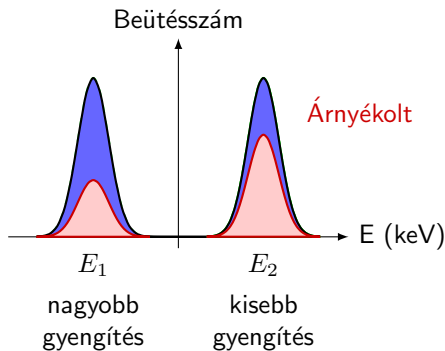
- A gyengítés:

$$I = I_0 \cdot e^{-\frac{\mu}{\rho} \cdot (\rho D)}$$

- Két energiára felírva:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{I_{01}}{I_{02}} \cdot e^{-\Delta\mu \cdot (\rho D)}$$

Streicher et al., *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **63**, 2639 (2016)



Hogyan határozzuk meg az anyagot?



Ötlet

Összehasonlítjuk a mérést azzal, amit különböző anyagokra várnánk.

- Mért mennyiség:

$$\ln \left(\frac{I_1/I_2}{I_{01}/I_{02}} \right)$$

- Modell:

$$\Delta\mu \cdot (\rho D)$$

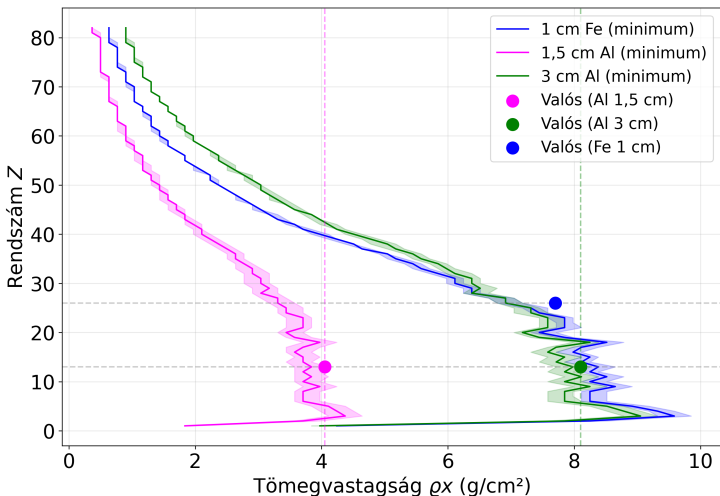
- Különbség:

$$r^2 = (\text{mért} - \text{modell})^2$$

Kritérium

A minimum adja a legvalószínűbb anyagot és vastagságot.

Fotocsúcs-arány módszer eredmények



Fotocsúcs arány reziduális minimumok 1,5; 3,0 cm vastagságú alumíniumra és 1,0 cm vastagságú acél árnyékolásra.

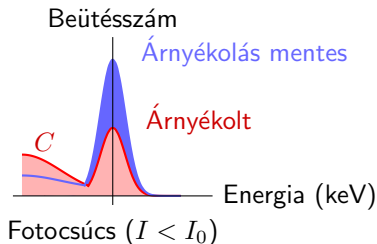
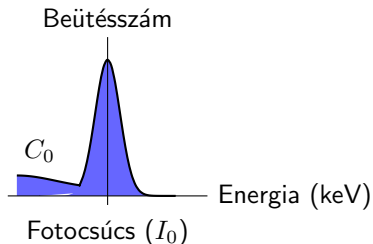


Fotocsúcs-módszer korlátai

- Legvalószínűbb Z - ρD kombinációt adja meg
- **Önmagában nem elegendő** az árnyékolás egyértelmű azonosításához

Compton-szórás — új információ

- Az árnyékolásban szórt fotonok **csökkent energiával** elérik a detektort → többlet beütés a csúc előtt



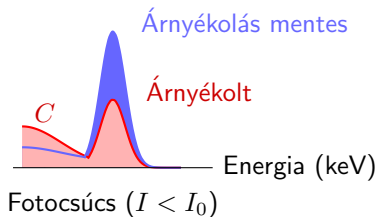
Compton-arány – mit mérünk?



Ötlet

Megmérjük, mennyi beütés van a Compton-régióban a fotocsúcshoz képest.

- C = Compton-régió
- I = fotocsúcs



Mit jelent?

Minél több szórás történik → annál nagyobb a C/I arány.



Fizikai háttér

A Compton-szórás valószínűsége az elektronsűrűségtől függ.

- Ezért:

$$\frac{C}{I} \propto \rho D \cdot \frac{Z}{A}$$

- Más információt ad, mint a fotocsúcs!

Kulcs

A Compton-régió az anyag **elektronsűrűségére érzékeny.**

Hogyan határozzuk meg az anyagot?



Ötlet

Összehasonlítjuk a mért C/I arányt azzal, amit különböző anyagokra várnánk.

- Mérés:

$$\left(\frac{C}{I}\right)_{\text{mért}}$$

- Modell:

$$K \cdot (\rho D) \cdot \left(\frac{Z}{A}\right)$$

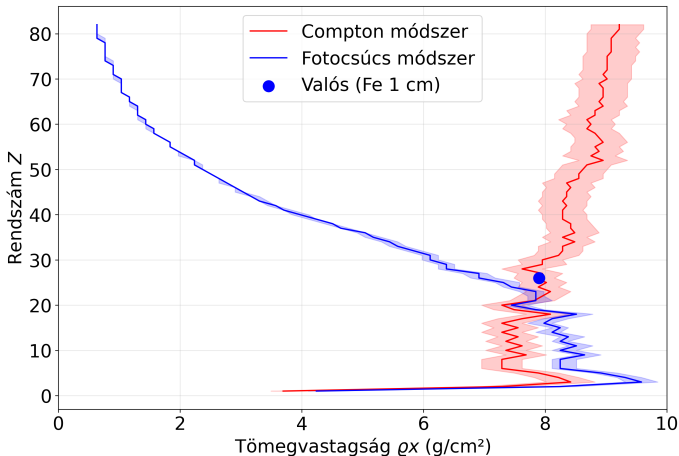
- Különbség:

$$r^2 = (\text{mért} - \text{modell})^2$$

Kritérium

A minimum adja a legvalószínűbb anyagot és vastagságot.

Két módszer együtt



Kulcs

A két módszer együtt egyértelműen meghatározza az anyagot.

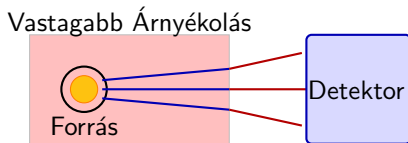


Vékony árnyékolásra

- A két módszer együttesen meghatározza az árnyékolási paramétereket.

De felmerül a kérdés

- Mi van, ha az árnyékolás **vastagabb**?





Probléma

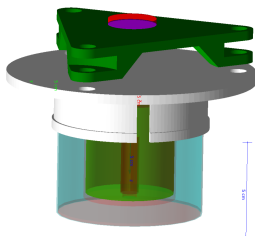
- Sok paraméter (anyag, vastagság, geometria)
- Kísérletben nem vizsgálható végig

Megoldás

Szimuláció

Elvárások

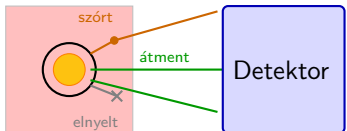
- Reális detektor modell
- A módszerek reprodukálása



Szimulált geometria : Geant4



Szimulált rendszer — ismert részecskepályák



minden beütésnél
ismert:
 E , pozíció,
szórástörténet

- átment
- szóródott
- elnyelt

- Hozzáférés a részecskepályákhoz
- Teljes energia-depozíció követése
- **Paraméterek szabad változtatása**

Következő lépés

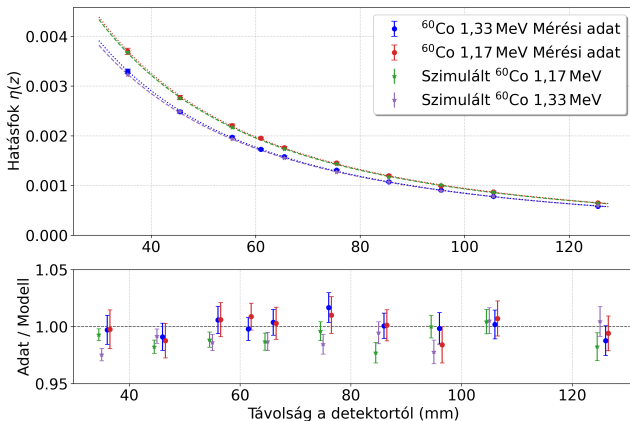
Vastag árnyékolás vizsgálata méréssel és szimulációval

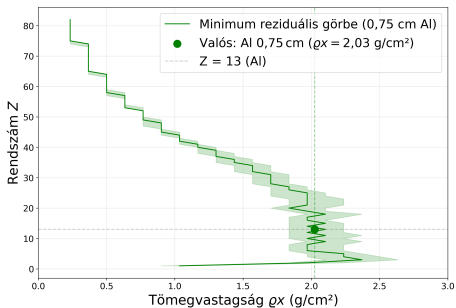
Szimuláció : Reális detektor modell



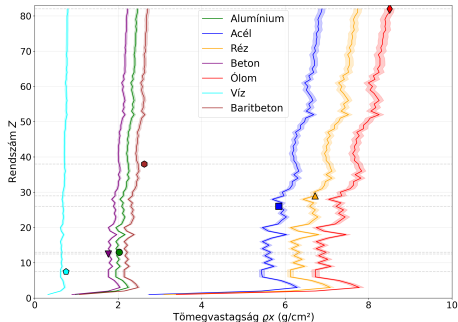
- A szimulációban a detektor geometriát (holt-réteg) össze egyeztetjük mérési eredményekkel

- Hatásfok távolság függés mérésel: $\eta(z) = \eta_0 \left(1 - \frac{z+b}{\sqrt{(z+b)^2 + r^2}} \right)$





Fotocsúcs módszer



Compton módszer

Eredmény

Mindkét módszer működik szimulációban (vékony árnyékolásra).



Mit értünk el?

- Gamma-spektrumból **árnyékolás hatásának vizsgálata**
- Fotocsúcs-arány $\rightarrow \rho D$ és Z
- Compton-arány \rightarrow elektronsűrűség ρD és (Z/A)

Kulcseredmény

**A két módszer kombinációjával
átvilágítás nélkül is meghatározható az árnyékolás**

Kitekintés

- Vastag árnyékolás részletes vizsgálata
- Mérés + szimuláció integrált alkalmazása

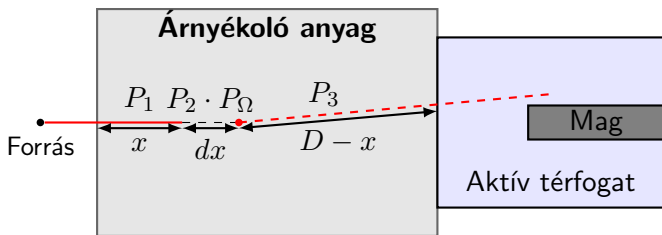
Köszönöm a figyelmet!



A Projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal által támogatott, 2024-1.1.1-KKV-FŐKUSZ-2024-00076 számú projektként valósul meg.







Az egyszeres Compton-szórás folyamata: a foton x úton áthalad kölcsönhatás nélkül (P_1), majd dx útszakaszban Compton-szórást szenved kis $d\Omega$ térszögbe ($P_2 \cdot P_\Omega$), és a maradék $D - x$ úton még elnyelődés nélkül eljut a detektorba (P_3).

- **Közelítések** : kis szögben szóródik, kicsi az energia veszteség,
- $\frac{C}{U} \propto \rho D \frac{Z}{uA}$, A : relatív atomi tömegszám, u az atomi tömegegység.



Detektor Geometria

- **Halott réteg:** Kristályhibák
- **Néhány mm** eltérés = **Hibás** hatások

Megoldás

Helyes aktív térfogat
keresése iterációval

Különböző geometriákban
 $\eta(z)$ szimulálása

