

Szilárd térfogati minták aktivitásmérése modellfüggő szimuláció nélkül

Csóka Péter, ELTE Fizika BSc

Veres Gábor, ELTE TTK Atomfizikai tanszék

L. Sugárvédelmi Továbbképző Tanfolyam 2025. április 7-9.



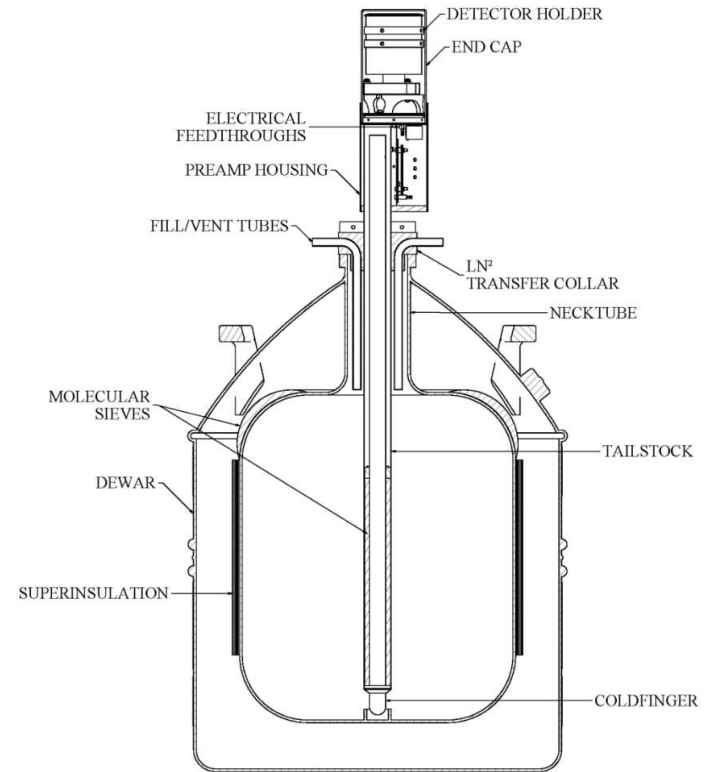
ELTE | TTK
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR



AZ NKFI ALAPBÓL
MEGVALÓSULÓ
PROJEKT

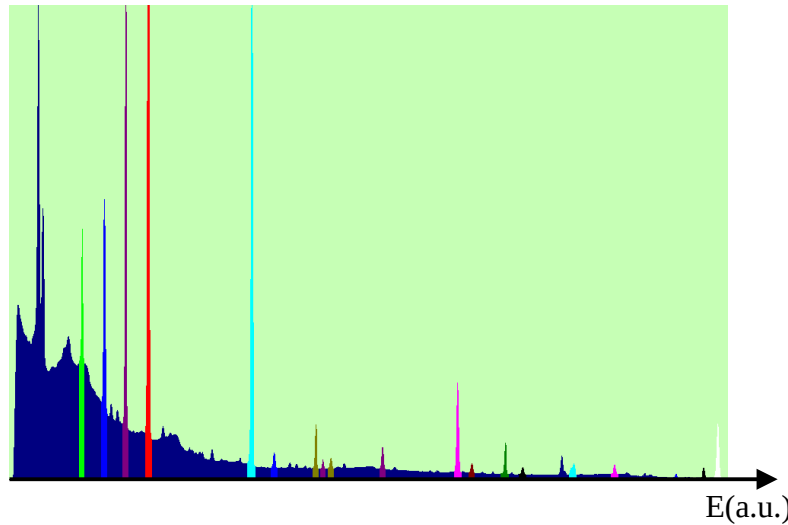
Mérési berendezés

- HPGe detektor
- Nagyfeszültségű tápegység
- Erősítő
- Sokcsatornás analizátor

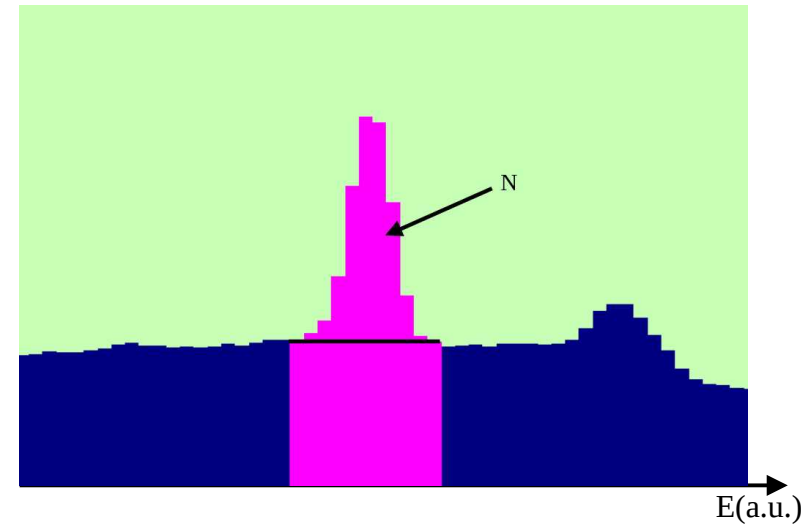


Gamma-spektrometria

- Bomlási sémák, jellemző gamma energiák
- Beérkező fotonok energia szerinti eloszlása



Teljes spektrum



Egy kijelölt csúcs

Detektor hatásfoka, munkám célja

- Radioaktív izotóp aktivitása

$$A = \frac{N}{I \cdot t \cdot \eta_{\text{full}}(E)}$$

- Közvetlenül mérhető mennyiség

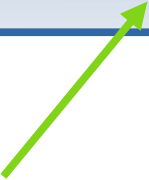
$$A \cdot \eta_{\text{full}}(E) = \frac{N}{I \cdot t}$$

- Hatásfok vizsgálata

$$\eta_{\text{full}}(E) = \eta_{\text{detektor}}(E) \cdot \eta_{\Omega}(E) \cdot \beta(E)$$

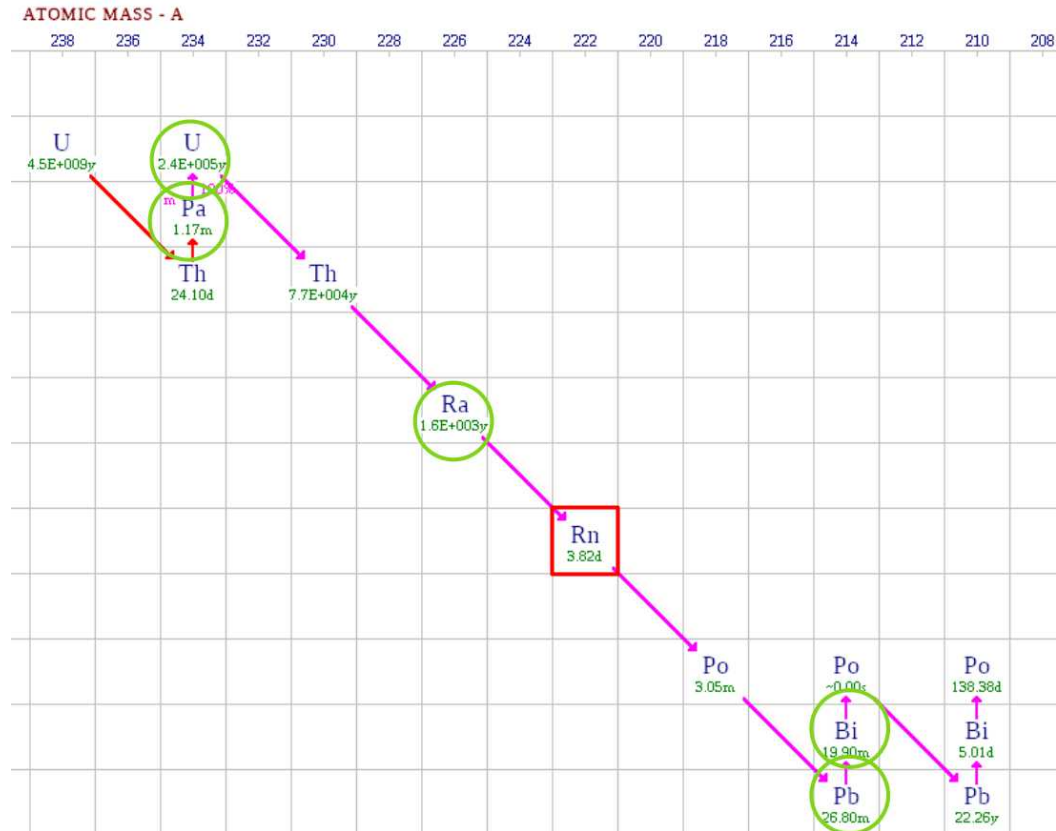
- Pontszerű minták esetén $\beta = 1$

Önabszorpciós együttható



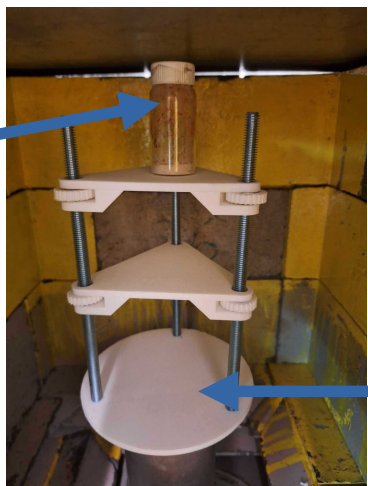
Bomlási sorok, szekuláris egyensúly

- ^{238}U bomlási sora
- Egyensúly
- ^{222}Rn előtti izotópok

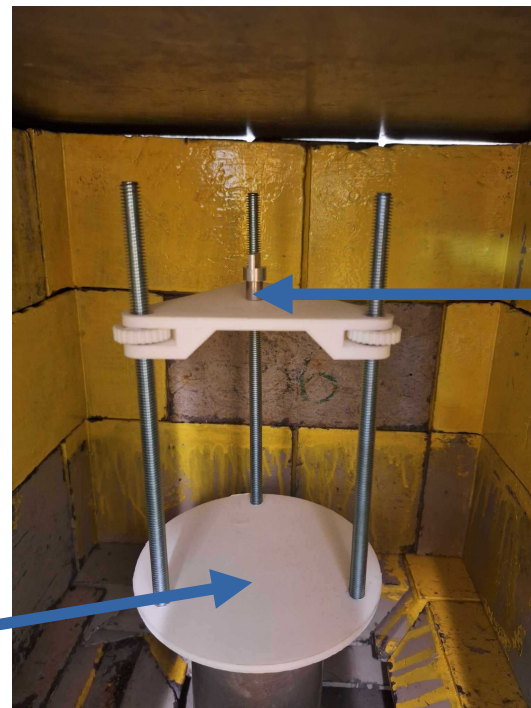


- Nem szükséges sok etalon
- Ismert aktivitású ^{60}Co etalon
- Sok energián sugárzó minta

Ra minta



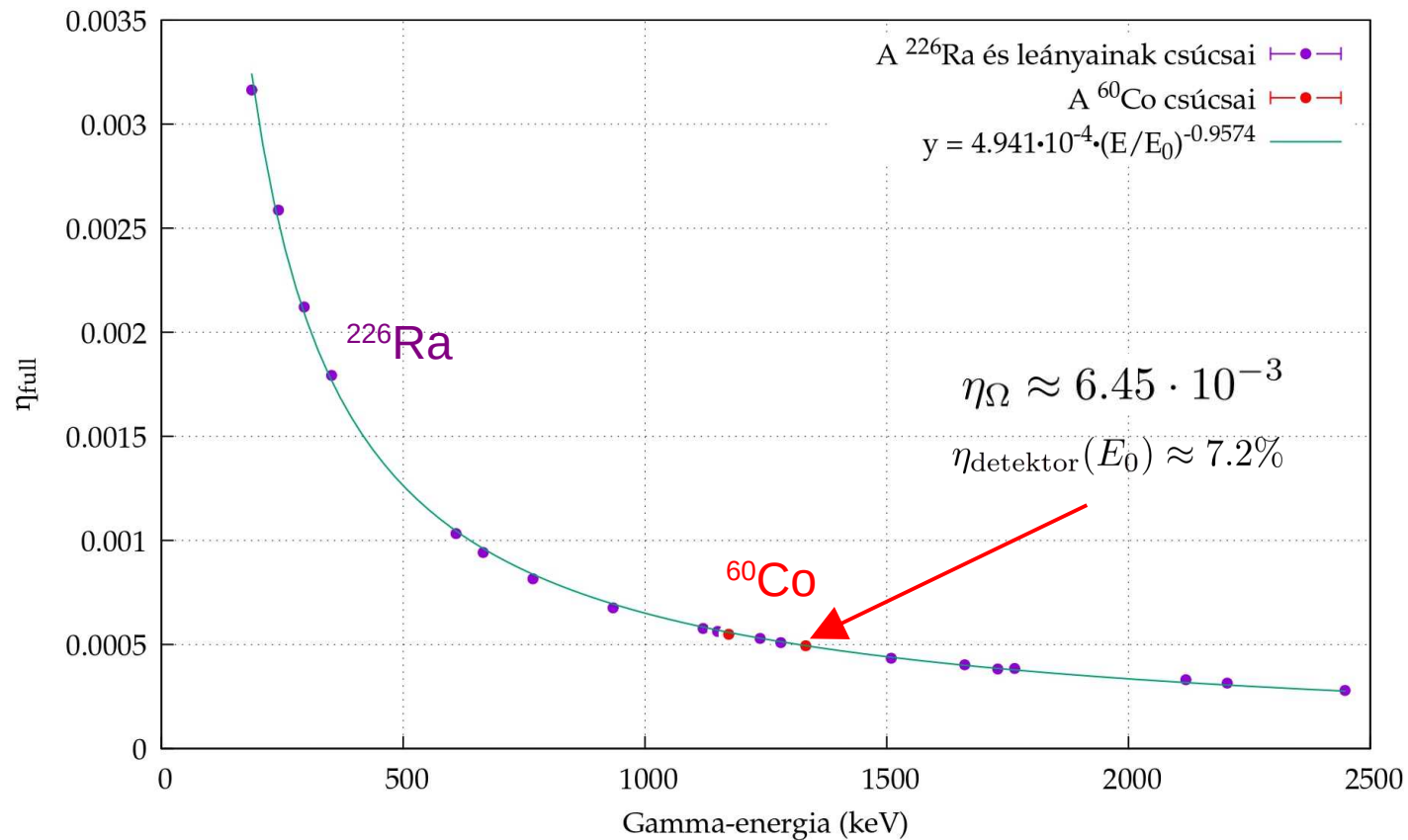
Állvány



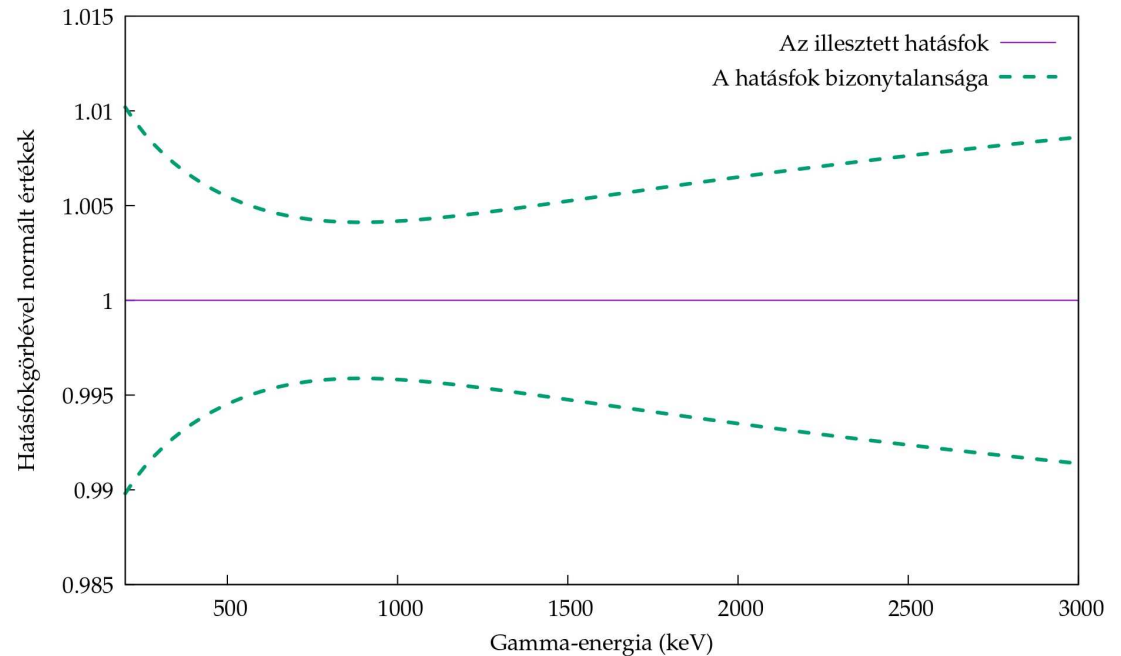
Co minta

Hatásfokgörbe

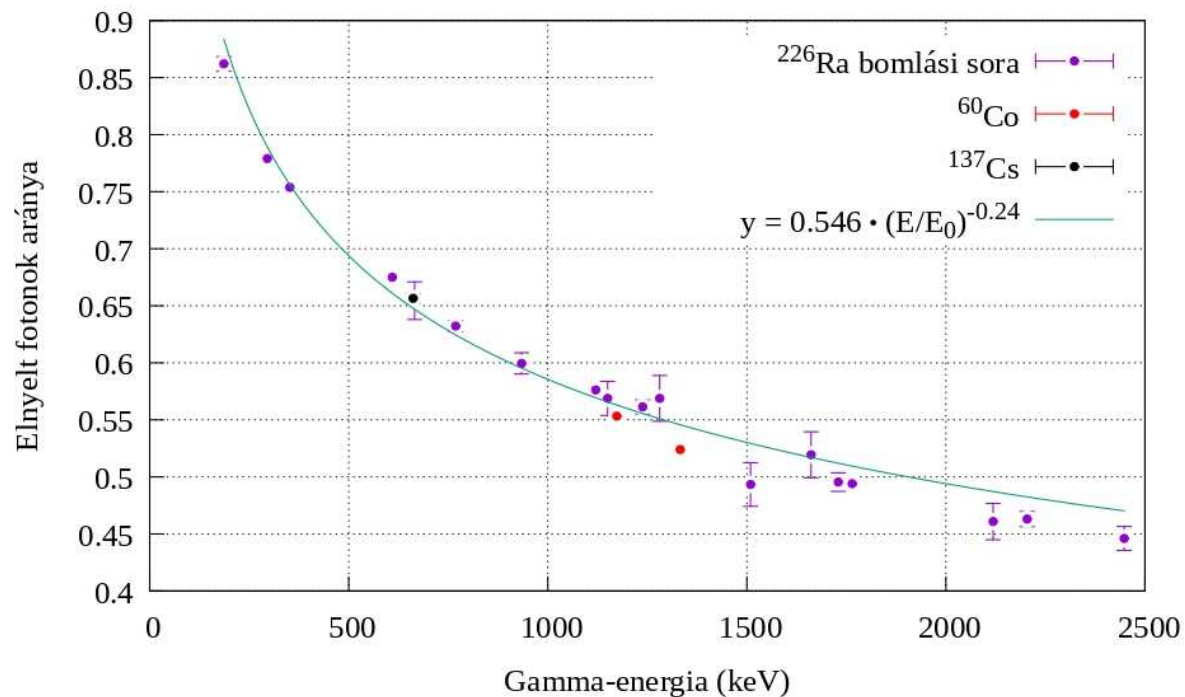
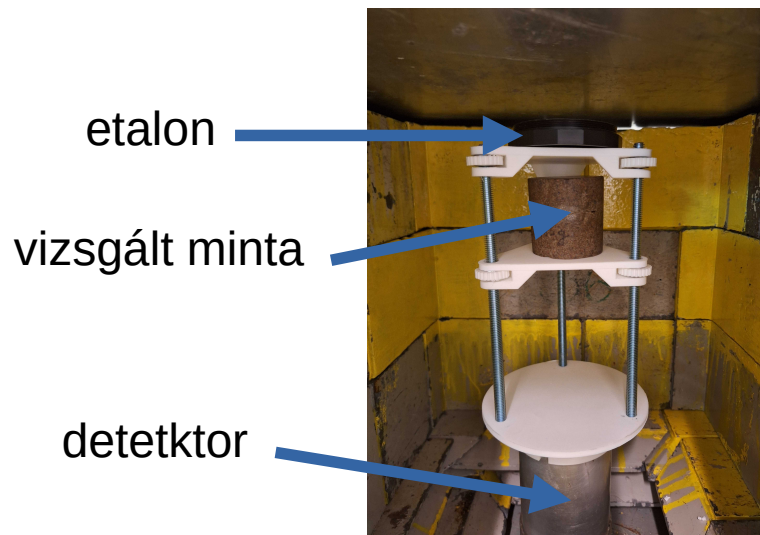
$\eta_{\text{detektor}}(E)$



- Pontszerű minta aktivitásának bizonytalansága
- Etalon bizonytalansága
- Mérési bizonytalanságok

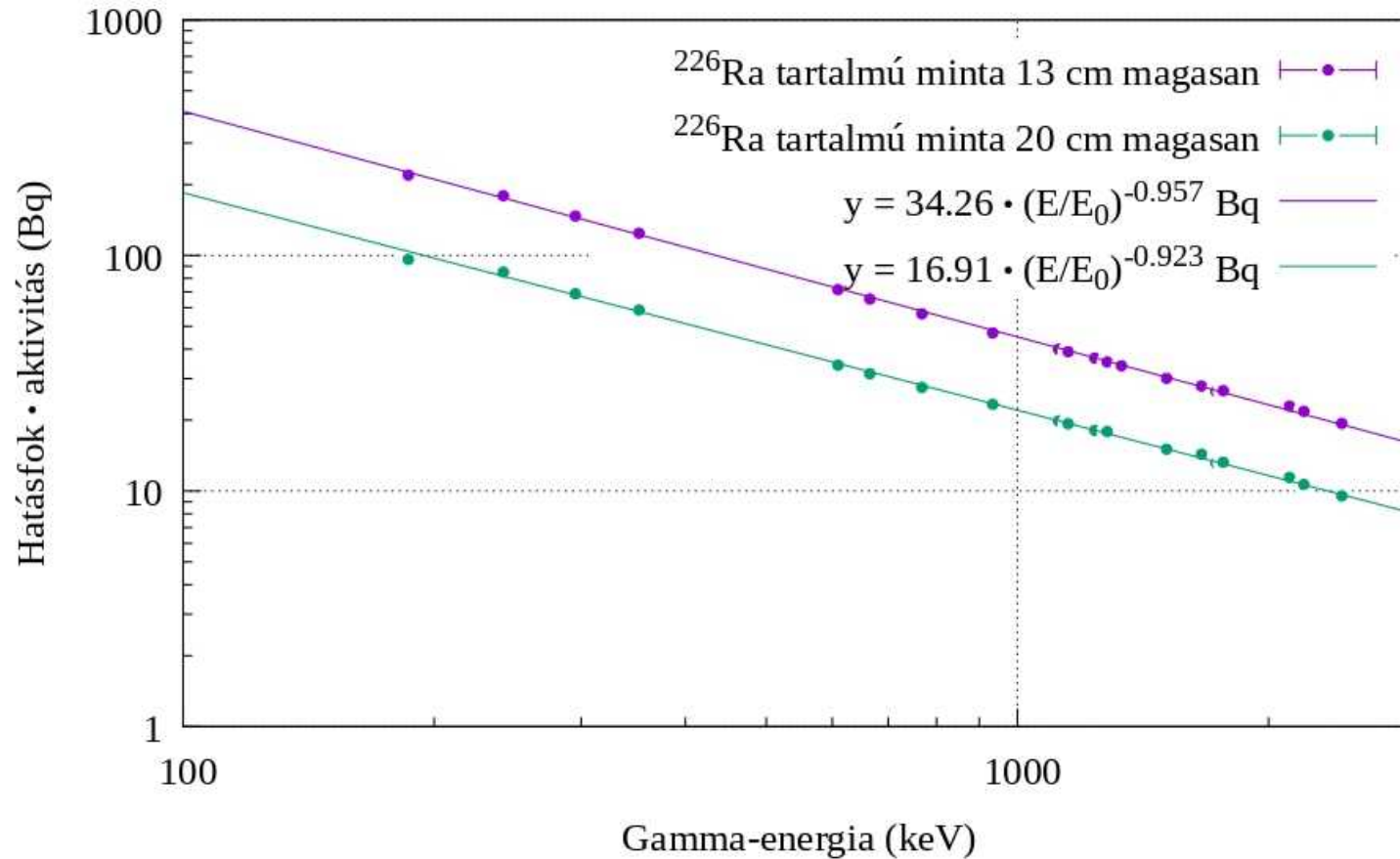


- Valódi aktivitás, látszólagos aktivitás
- Önabszorpció jelensége
- Abszorpciós mérések



Térszög távolságfüggése

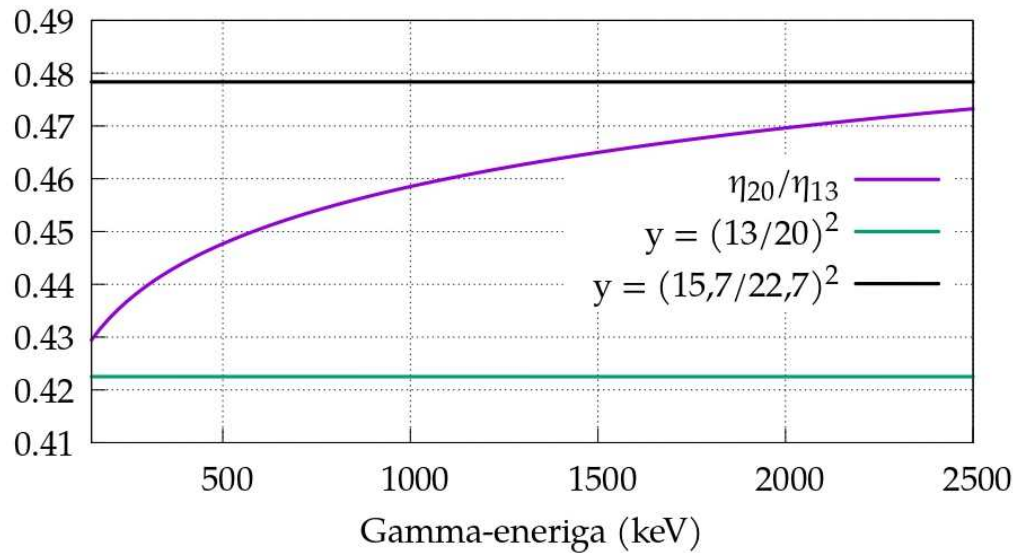
η_{Ω}



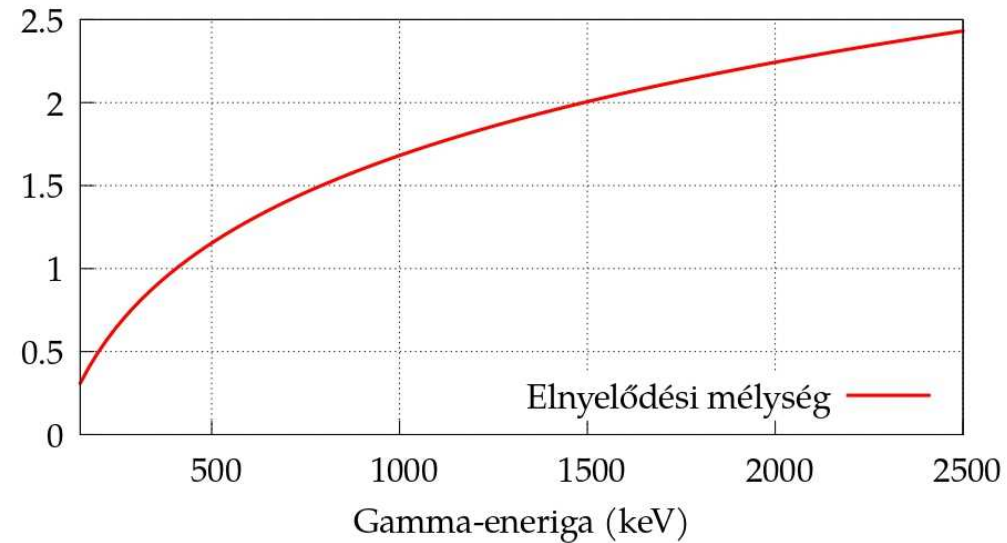
Elnyelődési mélység a detektorban

$$\eta_{\Omega}(E)$$

Hatásfokok aránya az energia függvényében



Átlagos elnyelődési mélység a detektorban (cm)



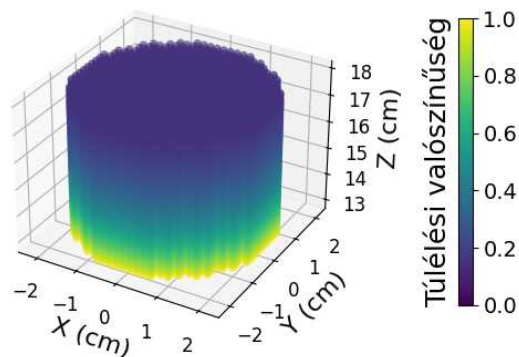
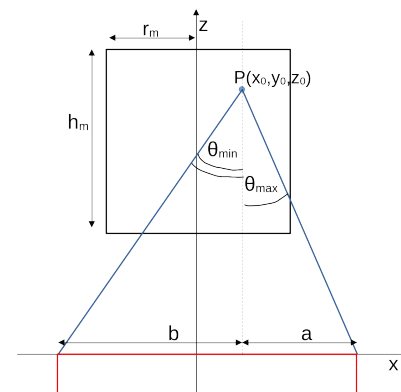
Az effektív térszög energiatfüggő



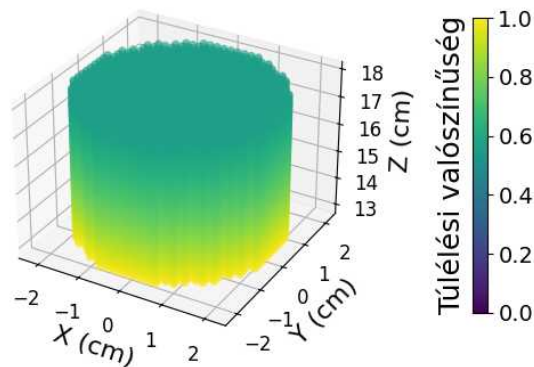
Az átlagos elnyelődési mélység energiatfüggő

- Átvilágításos mérések alapján önabszorpció meghatározása
- Úthossz számítás geometriából
- Átlagos túlélési valószínűség

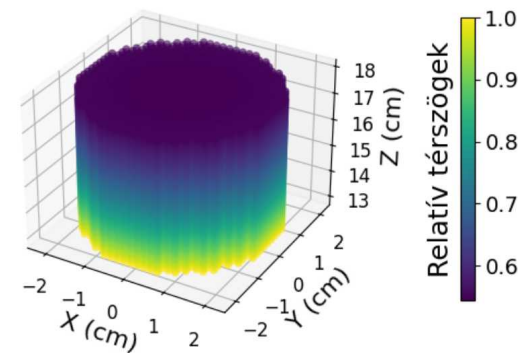
$$S(L) = e^{-\kappa L}$$



186 keV-os fotonok

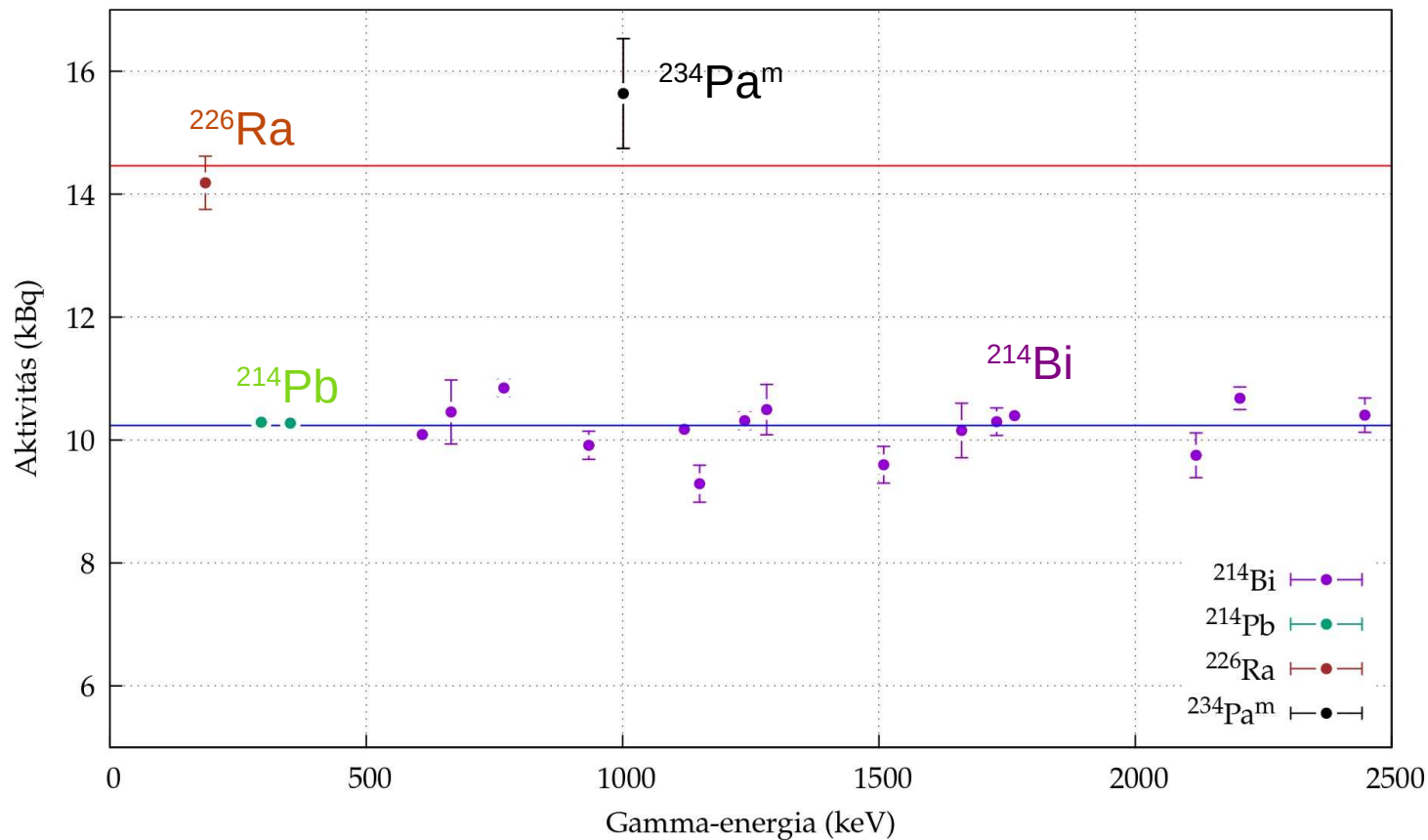


2204 keV-os fotonok



Relatív térszög (186keV)

Teljes módszer alkalmazása

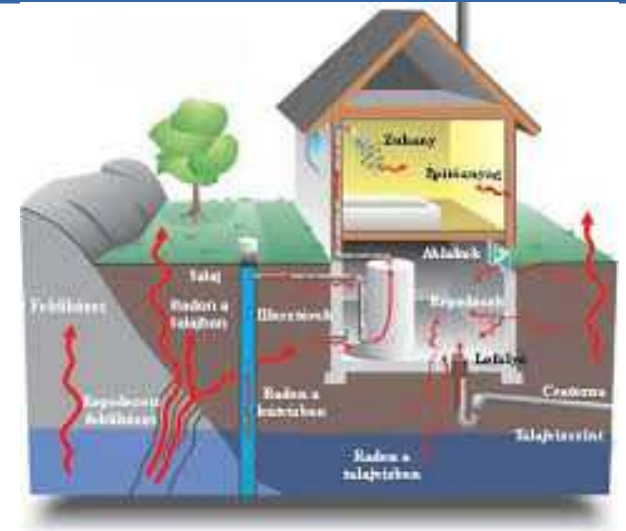
 $\eta_{\text{full}}(E)$ 

$$m_{^{238}\text{U}} = (1.17 \pm 0.03) \text{ g}$$



Sugárvédelmi alkalmazások

- Radon emanáció vizsgálata
- Doziméter időbeli monitorozása
- Légszűrők, dörzsminták aktivitásának mérése
- Radioaktív hulladékok minősítése



$$\eta_{\text{full}}(E) = \eta_{\text{detektor}}(E) \cdot \eta_{\Omega}(E) \cdot \beta(E)$$

^{226}Ra és ^{60}Co mérésből

13 cm és 20 cm magasan
végzett mérések arányából

Átvilágításos mérések
Geometriai szimuláció

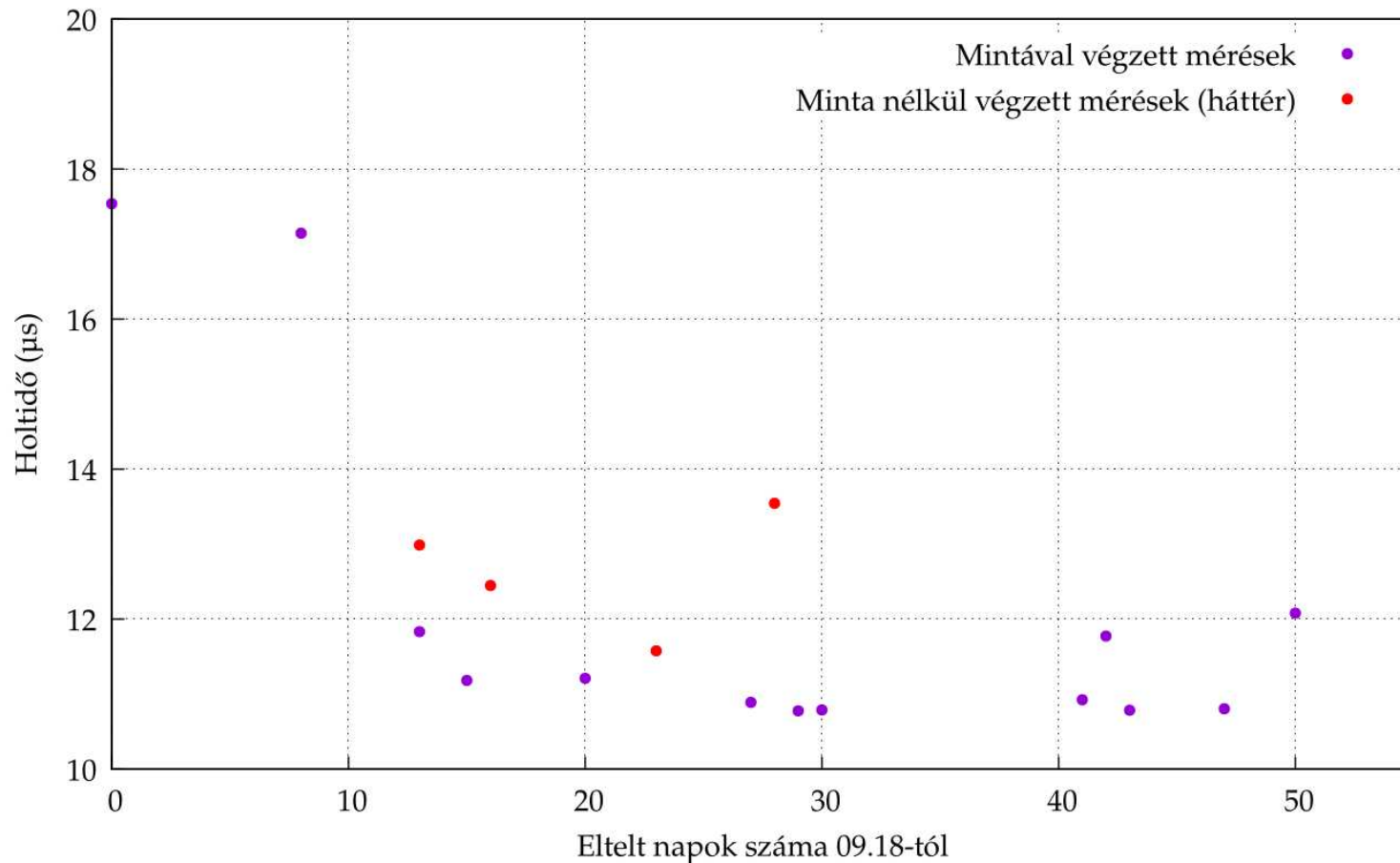
Százalékos pontossággal meghatározható tetszőleges, kiterjedt minták aktivitása

Köszönöm a megtisztelő figyelmet!

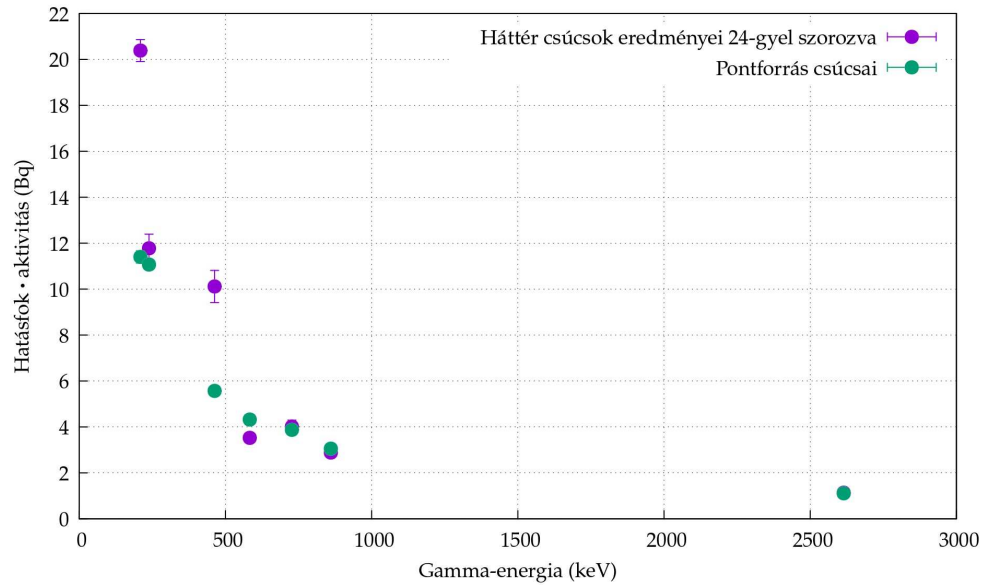
A Projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal által támogatott, 2024-1.1.1-KKV_FÓKUSZ-2024-00076 számú projektként valósul meg.

A Kulturális és Innovációs Minisztérium EKÖP-24 kódszámú Egyetemi Kiválósági Ösztöndíj Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

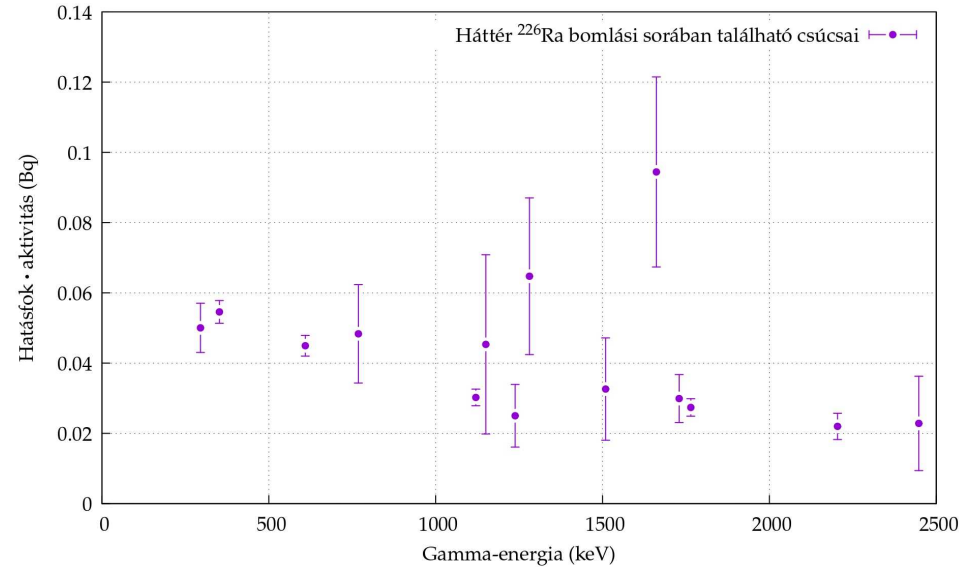
Holtidő vizsgálata



Ólomkamra háttérének elemzése



Háttér ^{232}Th tartalma



Háttér ^{226}Ra tartalma

Koincidencia módszer

$$N_1 = (e_{11} + e_{12}) \cdot A \cdot t$$

$$N_2 = (e_{21} + e_{22}) \cdot A \cdot t$$

$$A = \frac{N_1 N_2}{2N_k t}$$

$$N_k = (e_{11} \cdot e_{22} + e_{21} \cdot e_{12}) \cdot A \cdot t$$

$$\frac{N_1 N_2}{N_k} = A \cdot t \cdot \left(1 + \frac{e_{11} \cdot e_{21} + e_{22} \cdot e_{12}}{e_{11} \cdot e_{22} + e_{21} \cdot e_{12}} \right)$$

$$\left(1 + \frac{e_{11} \cdot e_{21} + e_{22} \cdot e_{12}}{e_{11} \cdot e_{22} + e_{21} \cdot e_{12}} \right) \approx 2$$

N_i : Az i -edik energián mért beütések száma

N_k : Az összegcsúcs beütéseinek száma

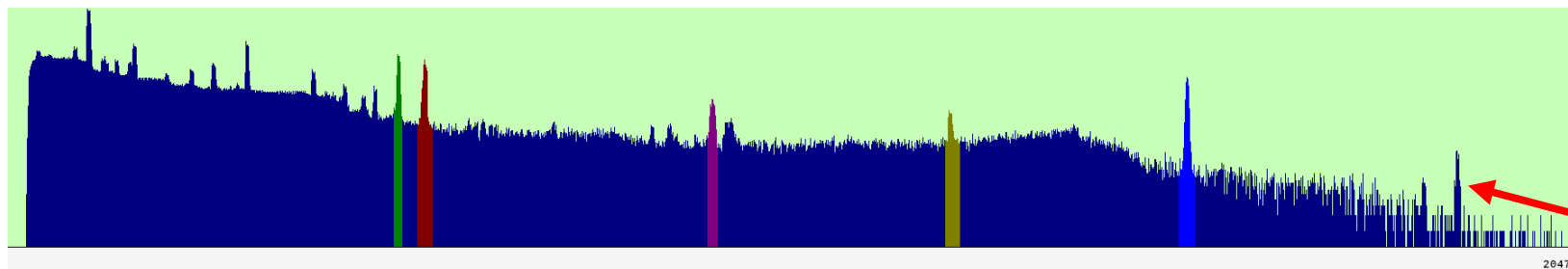
e_{ij} : Az i -edik foton mérésének hatásfoka a j -edik detektoron

t : A mérés időtartama

A : Minta aktivitása

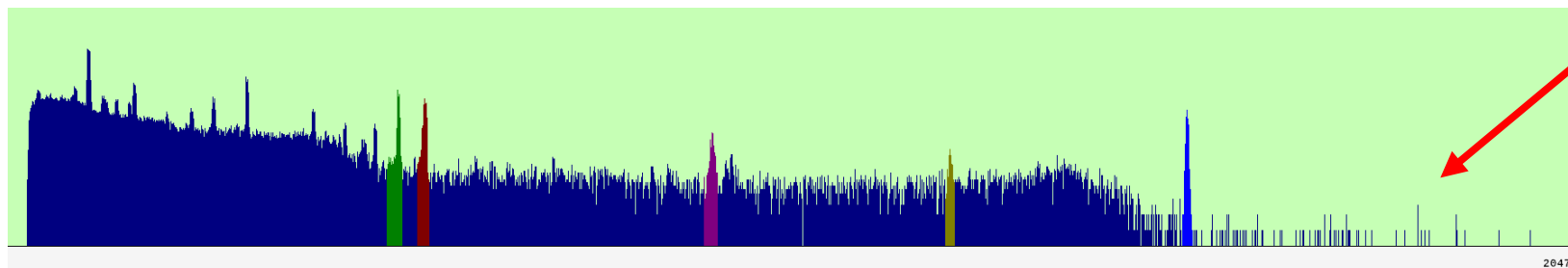
Összegcsúcs probléma

- Két egymás utáni relaxáció
- Mindkét foton eléri a detektort $\longrightarrow$ Összegcsúcsban jelennek meg



^{232}Th minta a
detektoron

Összegcsúcs



^{232}Th minta a
detektor fölött
5 cm-el

$$\frac{\eta_{13}}{\eta_{20}}(E) = \lambda_a \cdot \left(\frac{E}{E_0}\right)^{\lambda_b} \quad \frac{\Omega_{z_1}}{\Omega_{z_2}}(D) = \left(\frac{z_1 + D}{z_2 + D}\right)^2$$

$$D(k) = \frac{kz_2 - z_1}{1 - k} + \frac{\sqrt{(z_1 - kz_2)^2 - (1 - k)(z_1^2 - kz_2^2)}}{1 - k}$$

$$D(E) = \frac{\lambda_a \cdot \left(\frac{E}{E_0}\right)^{\lambda_b} \cdot z_2 - z_1}{1 - \lambda_a \cdot \left(\frac{E}{E_0}\right)^{\lambda_b}} + \frac{\sqrt{(z_1 - \lambda_a \cdot \left(\frac{E}{E_0}\right)^{\lambda_b} \cdot z_2)^2 - \left(1 - \lambda_a \cdot \left(\frac{E}{E_0}\right)^{\lambda_b}\right)(z_1^2 - \lambda_a \cdot \left(\frac{E}{E_0}\right)^{\lambda_b} \cdot z_2^2)}}{1 - \lambda_a \cdot \left(\frac{E}{E_0}\right)^{\lambda_b}}$$

D: Elnyelődési mélység

k: A két térszög aránya

z_1, z_2 : A minták magassága

