

# Programozási vizsgafeladat

*Monte Carlo-módszerek*

Szász Bence



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Fizika Tanszék

**2023**



# Tartalomjegyzék

<b>1. Bevezetés</b>	<b>2</b>
<b>2. A program dokumentációja</b>	<b>2</b>
2.1. Felépítés . . . . .	2
2.1.1. main.cpp . . . . .	2
2.1.2. simulateTransport.cpp . . . . .	2
2.1.3. plotter.py . . . . .	3
2.2. Hatáskeresztmetszetek interpolálása . . . . .	3
2.3. run_simulation.sh . . . . .	3
<b>3. A és B spektrumok elemzése</b>	<b>3</b>
3.1. A spektrum . . . . .	5
3.2. B spektrum . . . . .	6
<b>4. Detektor hatásfokok vizsgálata a forrás helyének függvényében</b>	<b>6</b>
<b>5. Detektor hatásfokok vizsgálata a részecskék kezdeti Energiájának függvényében</b>	<b>7</b>

# 1. Bevezetés

A Monte Carlo-módszerek tárgya során gamma foton szcintillátorral történő kölcsönhatását modellező programot készítettem. Az alkalmazás segítségével lehetőség nyílik a gamma sugárzás jellemzőinek modellezésére és a kísérleti spektrumok szimulálására a fizikai események statisztikai mintavételezése alapján.

## 2. A program dokumentációja

### 2.1. Felépítés

A program két fő részből áll:

- `main.cpp`
- `plotter.py`

#### 2.1.1. `main.cpp`

A `main.cpp` fájl a következőkért felelős:

- Változók inicializálása
- `simulateTransport` futtatása
- A fájl Build paranccsal történő fordítás: `g++ -std=c++20 main.cpp simulateTransport.cpp crossSections.cpp interpolate.cpp point3d.cpp energies.cpp -o gamma_simulation -lgs1 -lgs1cblas -lpthread`

#### 2.1.2. `simulateTransport.cpp`

A `simulateTransport.cpp` fájlban a következők történnek:

- Az összes részecskének a szimuláció végén a detektorba juttatott energiáját kiírja az `output.txt` fájlba, hogy aztán a `plotter.py` el tudja olvasni.
- Beolvassa a XCOM oldalról letöltött `csv` fájlt a `csv.h` külső könyvtár segítségével, majd létrehozza a hatáskeresztmetszetekhez szükséges adathalmazt.
- Végrehajtja a részecskék pályaszimulációját.
- Az energiákat az `energies` típus tárolja, amely lehetővé teszi a hatásokok kiszámítását. Az értékeket a kód során frissítik.
- A `simulateTransport` mellett a másik fontos fájl a `point3d`, amely tárolja a foton tulajdonságait és lehetővé teszi azok kiszámítását.

- A `simulateTransport` először ellenőrzi, hogy a generált irányban húzott egyenes metszi-e a detektor hengert. Ha igen, akkor a pontját a metszésponttal módosítja (figyelembe véve a henger magasságát és a fedőlapokra való vetítést), majd befejezi a ciklust. Ezt követően a súlyozott hatáskeresztmetszetek alapján generálja a fotoeffektus, Compton-szórás vagy párkeltés eseményeket. A fotoeffektus esetén az összes energia elnyelődik, a Compton-szórás esetén pedig a Khan-módszer segítségével véletlenszerű irányt és energiaváltozást generál. A párkeltés esetén a szimuláció két részre oszlik, és vizsgálja a keletkező két foton véletlenszerű ellentétes irányú terjedését, amelyeket további fotoeffektus vagy Compton-szórás érhet.
- Kiírja az energia leadást a hengerbe és a hatásfokokat.
- Az energia értékeket az FWHM-jellemzővel ellátott eloszlással szórja.

#### 2.1.3. `plotter.py`

A `plotter.py` fájl a `matplotlib` könyvtárat használja a grafikonok megjelenítéséhez. Lehetővé teszi az x- és y-tengelyek feliratainak és tartományainak beállítását, valamint egy gombot helyez el a logaritmikus skálázás váltásához. Az x tengely maximális értéke mindig  $E \times 1.2$ . A grafikon 5 másodpercenként frissül valós időben. A `matplotlib` segítségével a grafikonok menthetőek.

## 2.2. Hatáskeresztmetszetek interpolálása

A hatáskeresztmetszetek interpolálását az aktuális energiákhoz az alábbi két módszerrel lehet elvégezni:

- Lineáris interpoláció
- Spline interpoláció

#### 2.3. `run_simulation.sh`

A `run_simulation.sh` bash script elindítja a szimulációt, majd 1 másodperc várakozás után elindítja a grafikonok megjelenítését a `plotter.py` segítségével. Ezzel a paranccsal futtatható a program.

## 3. A és B spektrumok elemzése

A méréseket a következő táblázat alapján végeztem el.

### 3. A és B spektrumok elemzése

Mennyiség	Mértékegység	, A <sup>#</sup> spektrum	„B” spektrum
$\mathbf{r}_s$	cm	(3; −3; 2)	(4; 4; 0)
$E_\gamma$	keV	661,7	1332,5
$R$	cm	2,5	3,0
$h$	cm	3,0	5,0
$\rho$	g/cm <sup>3</sup>	3,67	3,67
FWHM	keV	6,0	8,0

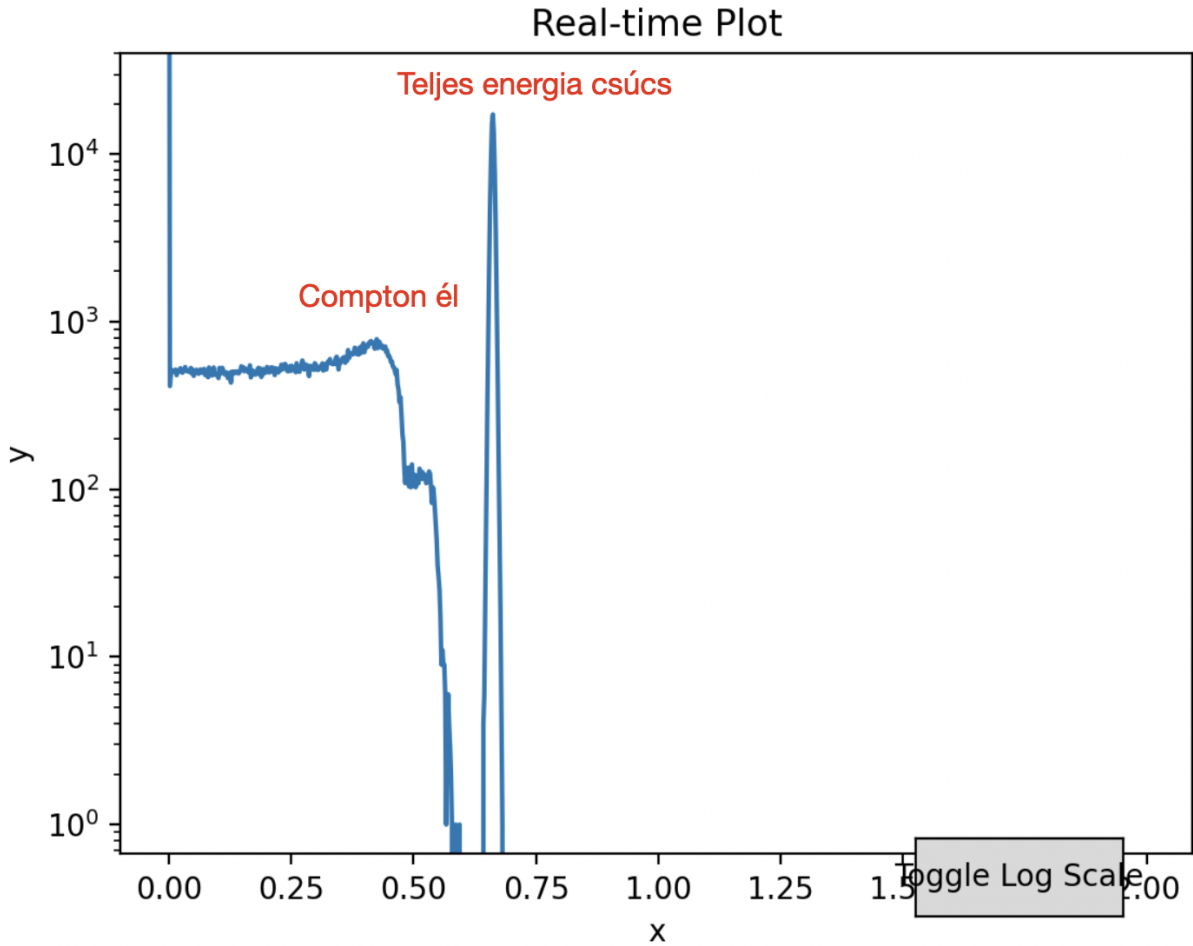
1. táblázat. Mérések bemeneti paramétereit

Meghatároztam még a detektor karakterisztikus hatásfokait is a következő képletek alapján.

$$\eta_{\text{tot}} = \frac{E_{\text{det}}}{E_{\text{tot}}} \quad \text{és} \quad \eta_{\text{int}} = \frac{E_{\text{det}}}{E_{\text{int}}},$$

ahol  $E_{\text{det}}$  töltött részecskéknek atadott összenergia a detektorban,  $E_{\text{tot}}$  a forrás által a teljes  $4\pi$  térszögben kisugárzott, míg  $E_{\text{int}}$  a detektort elért fotonok összenergiája.

## 3.1. A spektrum

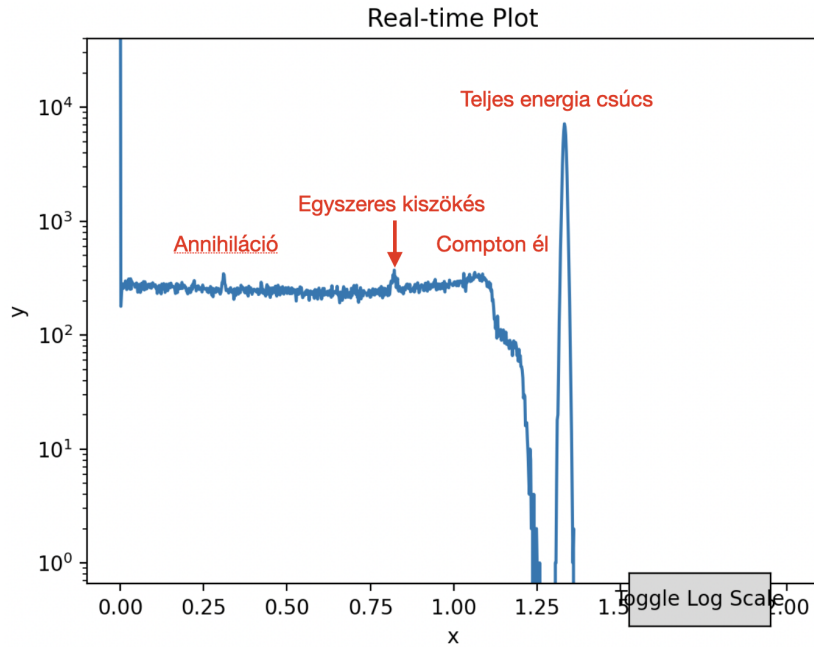


3.1. ábra. Felvett gamma spektrum "A" paraméterekkel, a spektrumon jól látszik a Compton él, Compton plató és a teljesenergia csúcs. A többszörös visszaszórások nem jelennek meg akkora amplitúdóval hogy elkülöníthetők legyenek. A compton él helyzete meg- egyezik az irodalommal [1], 477.3 keV körüli.

A Compton él és a teljes energiacsúcs közötti részért a többszörös Compton szórások felelősek.

A mérésből számított detektálási hatásfokok:  $\eta_{Tot} = 0.0130866$ ,  $\eta_{Int} = 0.0326468$ .

### 3.2. B spektrum



3.2. ábra. Felvett gamma spektrum "B" paraméterekkel, a spektrumon jól látszik a Compton él, Compton plató és a teljesenergia csúcs. A többszörös visszaszórások is elkülöníthetők a spektrumból. Megfigyelhető még az anihilációs csúcs is. A compton él helyzete megegyezik az irodalommal [2], 1.33 MeV körüli.

A Compton él és a teljes energiacsúcs közötti részért a többszörös Compton szórások felelősek.

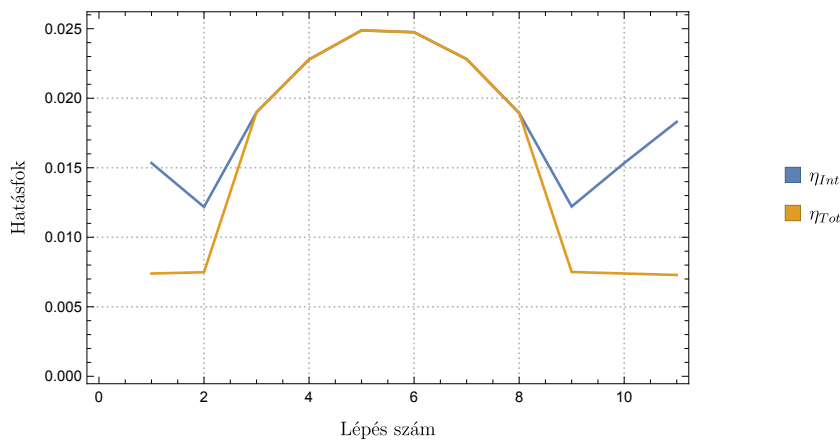
A méréből számított detektálási hatásfokok:  $\eta_{Tot} = 0.0148141$ ,  $\eta_{Int} = 0.0415978$ .

## 4. Detektor hatásfokok vizsgálata a forrás helyének függvényében

Ebben a mérésben az 1. feladat, „A” spektrumának paramétereit alapul véve vettem fel 11 darab spektrumot miközben a forrás helyét a  $(1,0; 3,5; 2,0)$  és  $(-4,0; -1,5; 2,0)$  pontok között egyenletesen változtattam.



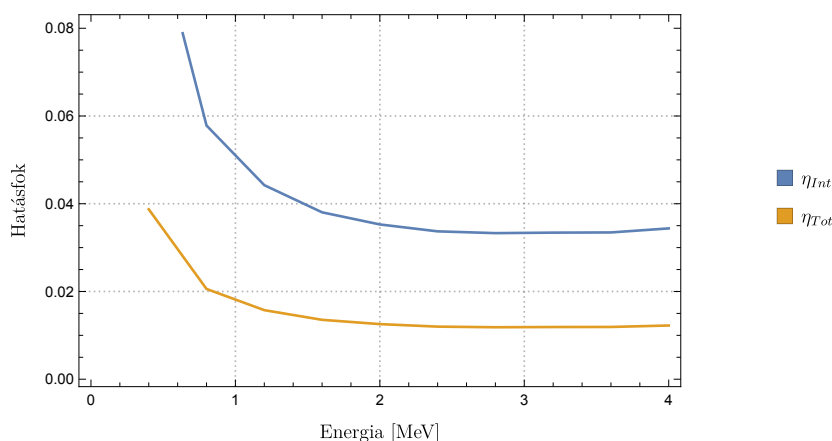
## 5. Detektor hatásfokok vizsgálata a részecskék kezdeti Energiájának függvényében



4.1. ábra. Hatásfokok helyfüggése

Látható hogy ahogy a forrás közeledik a detektorhoz nőnek a hatásfokok, és amint a forrás a detektron belül van a két hatásfok megegyezik.

## 5. Detektor hatásfokok vizsgálata a részecskék kezdeti Energiájának függvényében



5.1. ábra. Hatásfokok Kezdő energia függése

Mivel az egyes foton anyag kölcsönhatások hatáskeresztmetszetei az energia növelésével csökkennek így a hatásfokok is csökkenni fognak, a hatáskeresztmetszetelek csökkenési tendenciája határozza meg ennek mértékét. Jelen esetben exponenciális csökkenést mutatnak a detektor hatásfokok.

## Hivatkozások

- [1] *Energy Spectrum of 661.7 keV Ray Line from a  $^{137}\text{Cs}$  Source Measured with the  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ .* Accessed: June 26, 2023. URL: [https://www.researchgate.net/figure/Energy-spectrum-of-6617-keV-ray-line-from-a-137-Cs-source-measured-with-the-LaBr-3-Ce\\_fig3\\_318723775](https://www.researchgate.net/figure/Energy-spectrum-of-6617-keV-ray-line-from-a-137-Cs-source-measured-with-the-LaBr-3-Ce_fig3_318723775).
- [2] *Gamma Ray Spectrum - Structure and Features.* Accessed: June 26, 2023. URL: <https://www.nuclear-power.com/nuclear-engineering/radiation-detection/gamma-spectroscopy/gamma-ray-spectrum-structure-features/>.