

Fenomenele fizice din spatele aplicațiilor G4

Andreicovici Iulian Florin

Universitatea Politehnica din București - UPB

September 4, 2022



Contents

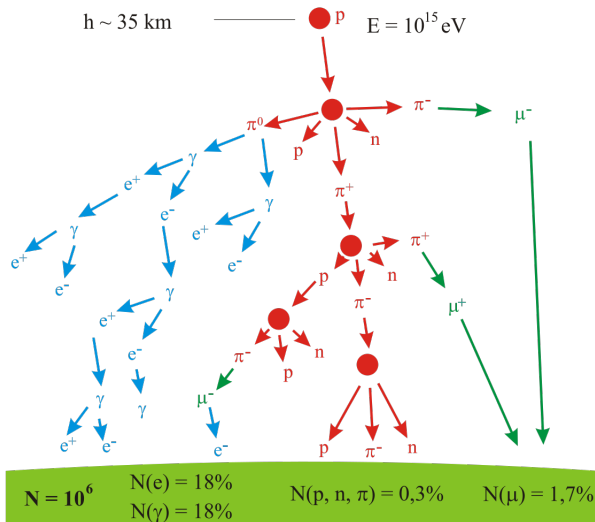
- 1 Jetul atmosferic - ce este și cum se produce
- 2 Cum funcționează detectorul cu germaniu hiperpur?
- 3 Detectorul de radiație Cherenkov
- 4 Finalul prezentării

Jetul atmosferic - ce este și cum se produce

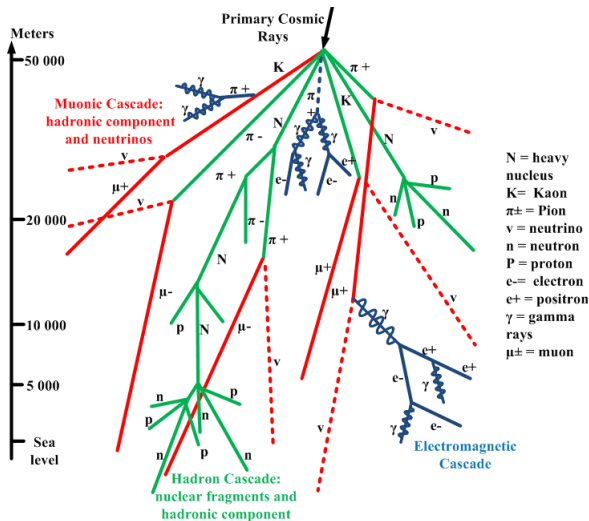
Despre Jetul atmosferic

- ✓ Este o "rețea în cascadă" de particule ionizate și radiație electromagnetică care se formează atunci când radiația cosmică pătrunde în atmosferă și interacționează cu moleculele gazelor atmosferice.
- ✓ Desemnează un jet de numeroase particule, multe de natură hadronică - în special sub formă de pioni, kaoni și barioni care se formează la interacția dintre o moleculă sau un atom din atmosferă cu o particulă incidentă.
- ✓ Particula incidentă poate fi: p^+ , n^0 , e^- , un nucleu, o rază gamma sau chiar un e^+ .
- ✓ Particulele secundare pot interacționa la rândul lor cu alte particule, formând o cascadă "în lanț" de produse secundare care sunt expulzate în mai toate direcțiile.

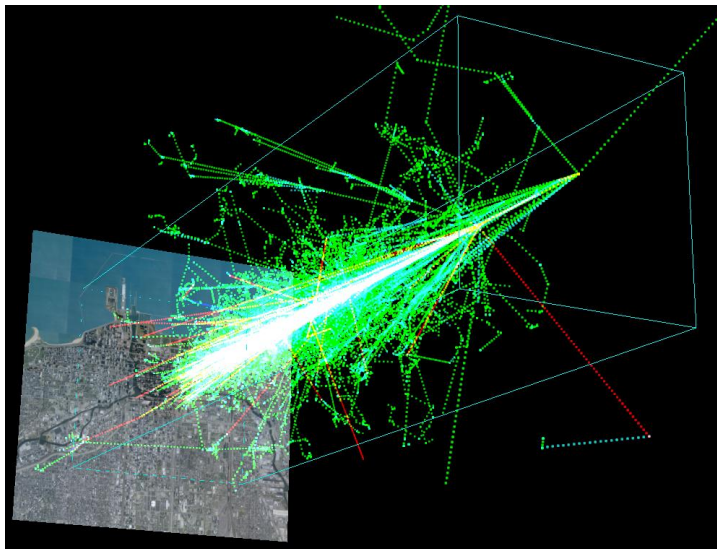
Cum arată jetul atmosferic



Ce fel de particule conține

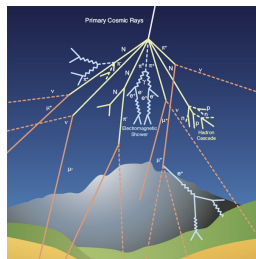
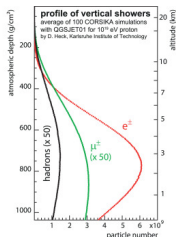
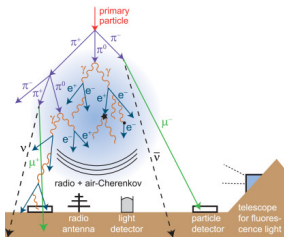


Jetul atmosferic generate un proton relativist

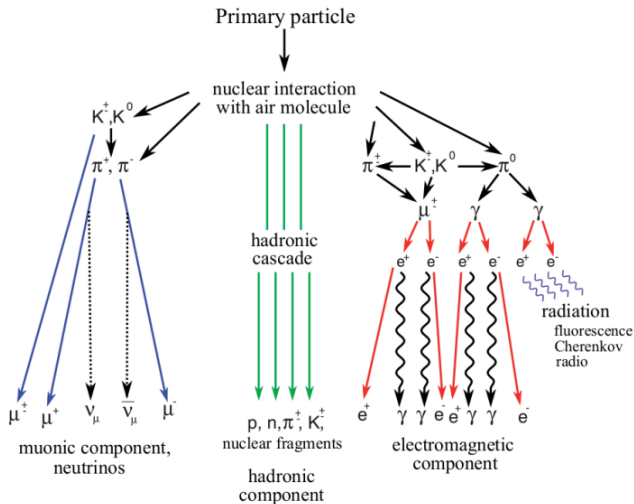


Detalii relevante

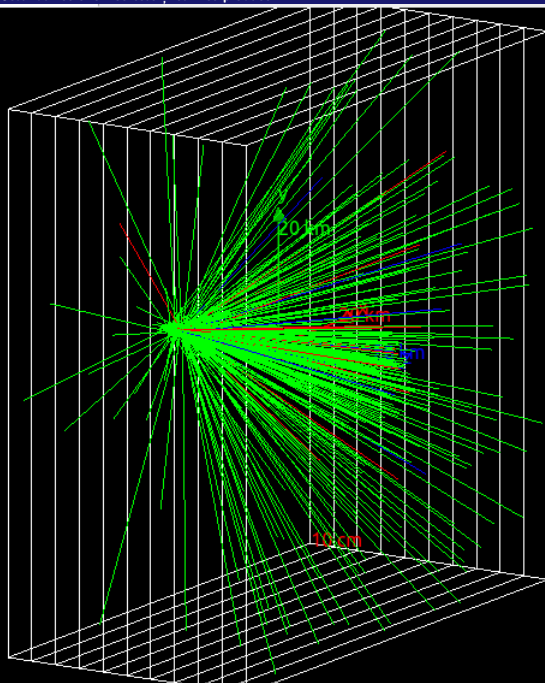
- ✗ Diverse interacțiuni hadronice au loc iar în baia de particule rezultate mare parte au tendința de a se mișca pe aceeași direcție cu particula primară.
- ✗ Produsele secundare formează ramurile unui mănunchi ramificat și interacționează cu alte molecule de gaze, generând excitarea acestora.
- ✗ Diverse canale de dezintegrare sunt reperate prin detectarea la sol a radiațiilor rezultate.
- ✗ Particulele secundare pot interacționa la rândul lor cu alte particule, inducând un jet de alte produse.



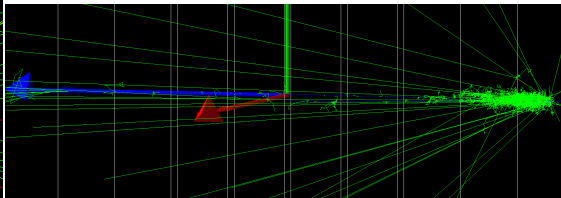
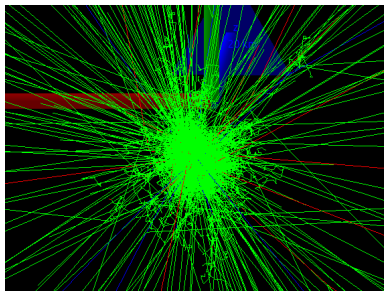
Numeroase canale de dezintegrare



1 event, 1 kept)



Simularea mea



Simularea grafică a jetului de particule care rezultă din interacțiunea unui proton cu $E_c = 100 \text{ GeV}$ și 10 straturi de atmosferă. Multiple ramificații sunt alocate unor radiații gamma rezultate din dezintegrarea pionilor (tracks-urile verzi).

Output grafic

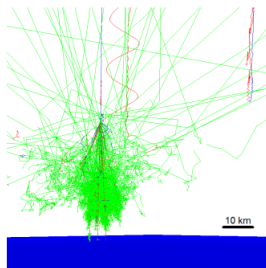
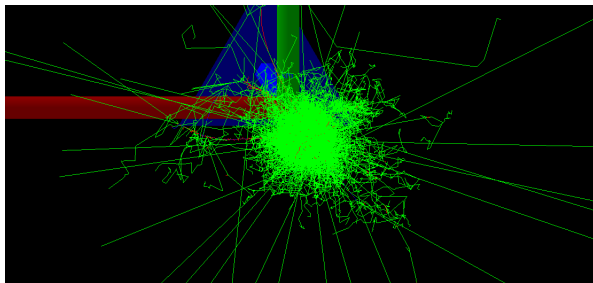






Figure 4: Cosmic ray shower event display from a 50 GeV primary proton launched toward the polar region. The blue, red, and green color trajectories represent positive, negative, and neutral (gamma) particles, respectively. The curved trajectories are due to the magnetic field effect.



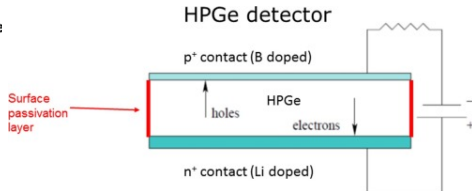
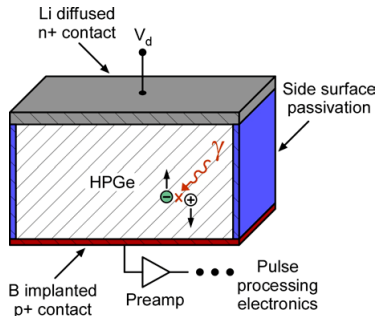
Ramificațiile ilustrează producerea în lanț a multor fluxuri secundare de particule(multiple vertexuri), majoritatea orientate în aceeași direcție cu particula primară.

Cum funcționează detectorul cu germaniu hiperpur?

Detectorul HPGe - principii

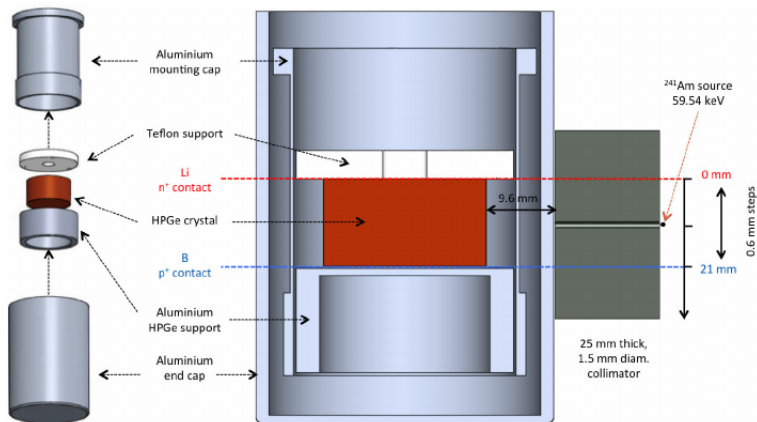
-  - Reprezintă un detector cu semiconductor(Ge) ca zonă activă și are o bună rezoluție energetică - motiv pentru care este folosit în spectrometria gamma.
 -  - Ge are o energie mai mică(față de Si) necesară formării unei perechi electron-gol cât și o probabilitate mai mare de interacție cu radiația gamma(deoarece posedă un număr de masă mai mare.)
 -  - Radiația gamma are o energie suficientă pentru a ioniza atomii de Germaniu; pe măsură ce pătrunde în stratul de material va genera numeroase perechi electron-gol.
 -  - Sub influența unui câmp electric exterior, atât golurile cât și electronii se vor deplasa spre electrozi de unde se poate obține un impuls electric măsurabil printr-un circuit exterior.
-

Schema detectorului

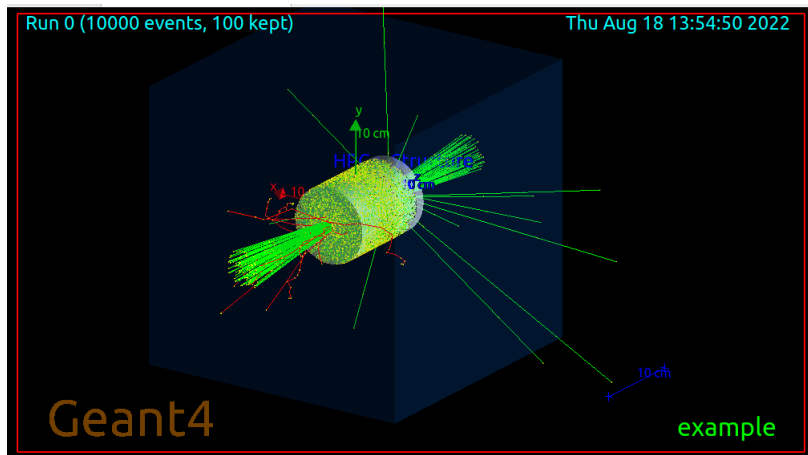


! Zona din germaniu activ este căptușită la interior cu un strat din Bor și la exterior cu unul din Litiu - se formează o joncțiune p-n iar electronii odată trecuți în banda de conducție vor fi dirijați spre zona din litiu(zona n) și golurile spre zona p(din B) - polaritate inversă.

Părțile unui detector HPGe



Geometria detectorului meu HPGe



Schița detectorului meu HPGe

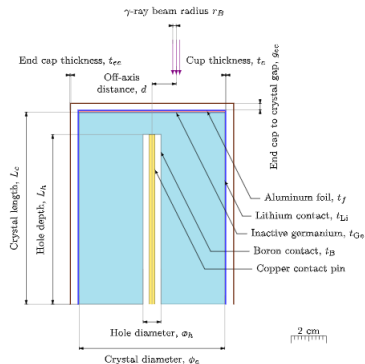
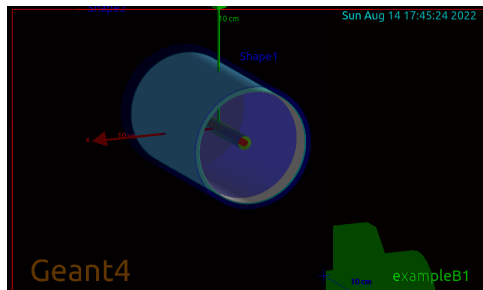


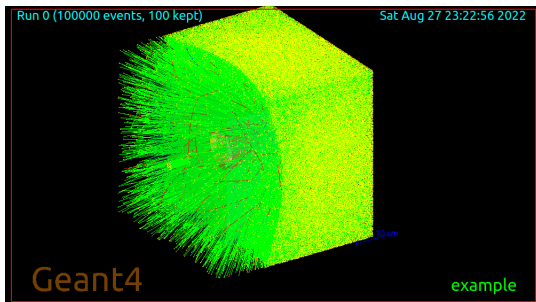
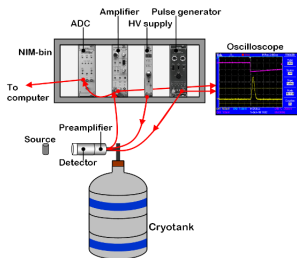
Fig. 1. Geometric configuration model of the detector.



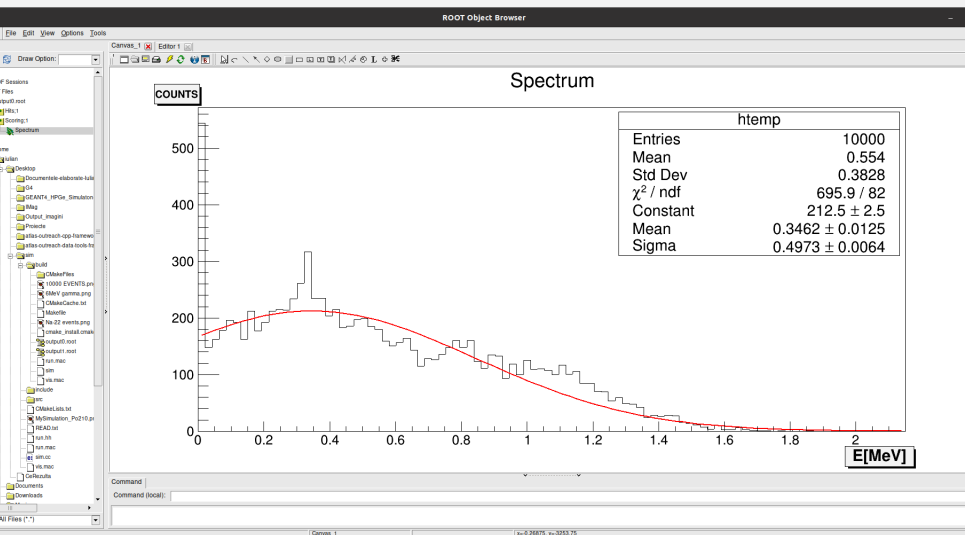
- **Numărul perechilor electron-gol formate prin ionizare este proporțional cu intensitatea radiației captate. Spre exemplu, o cantă γ cu $E = 1 \text{ MeV}$ va lăsa în urma sa cca. 10^5 perechi electron-gol.**

Ce am obținut

- Reprezentarea numărului de intrări (sau de fotoni detectați) în funcție de valorile lor energetice - spectrele surselor.
- Afișarea grafică a distribuției spațiale de fotoni/particule.
- Calculul depozitelor energetice care au fost stocate în zona activă din Ge.



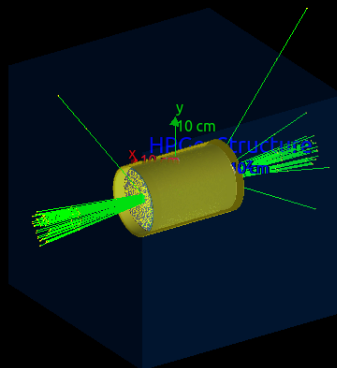
Na22 - Spectrul aferent procesării a 10.000 de evenimente



Na22 display 10.000 Events

Run 0 (10000 events, 100 kept)

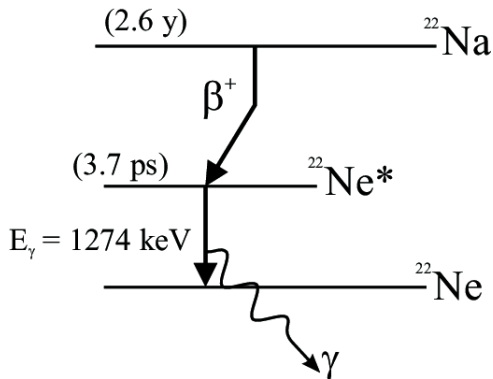
Tue Aug 30 16:17:52 2022



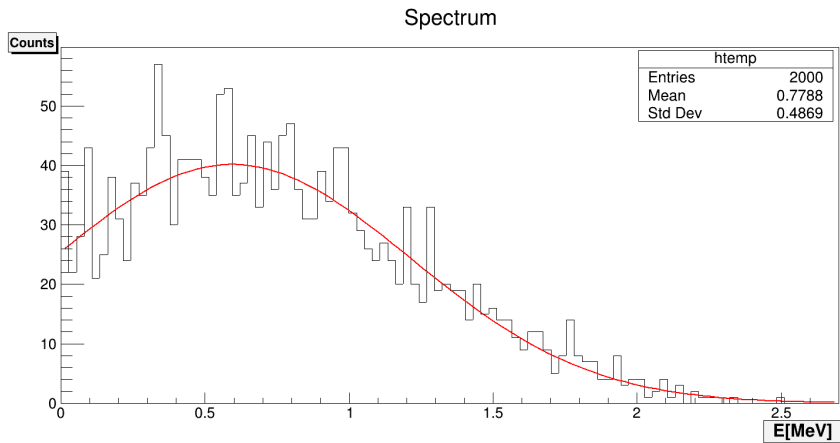
Geant4

example

Na22 canal de dezintegrare



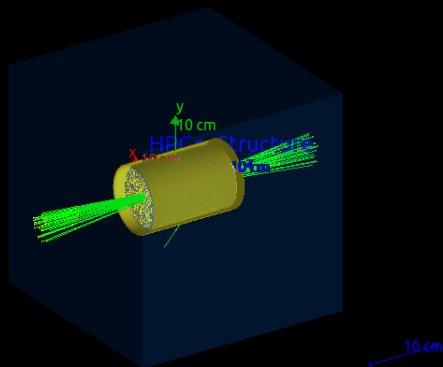
Pa234 - Spectrul aferent procesării a 2.000 de evenimente



Pa234 - afișarea celor 2.000 de evenimente

Run 0 (2000 events, 100 kept)

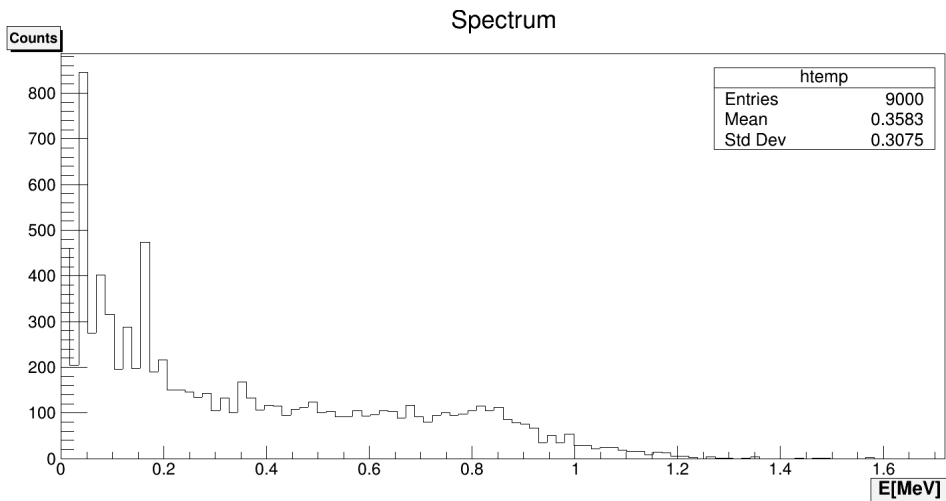
Tue Aug 30 17:55:03 2022



Geant4

example

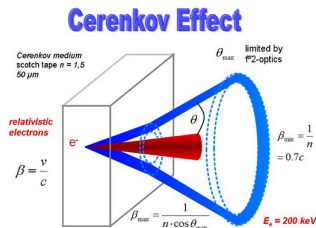
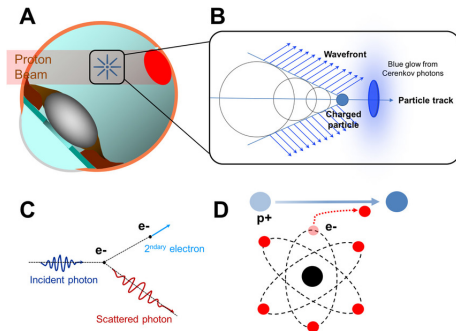
Eu152 - spectrul simulat



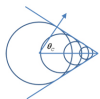
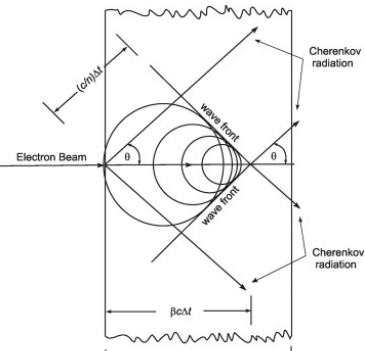
Detectorul de radiație Cherenkov

Ce este radiația Cherenkov

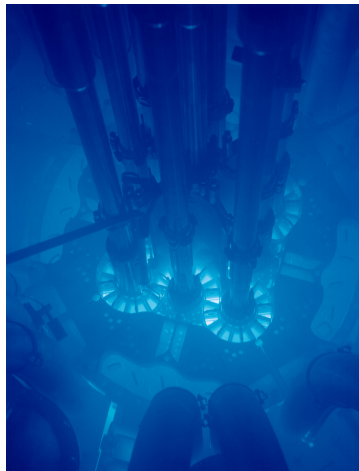
- Este radiația emisă ca urmare a depășirii vitezei de fază a luminii printr-un mediu de către o particulă materială cu sarcină electrică.
- Particula incidentă deformează norii electronici ai atomilor și induce dipoli temporari - dezexcitarea acestor dipoli este însoțită de o emisie corentă de fotoni.



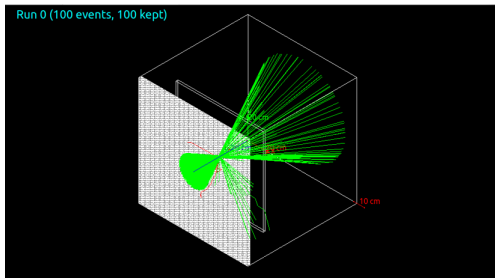
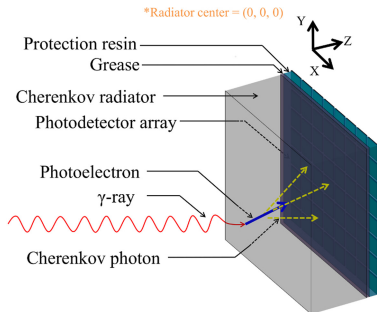
Frontul radiației Cherenkov- unghiul Cherenkov



$$\theta_c = \cos^{-1} \left(\frac{1}{\beta n} \right)$$

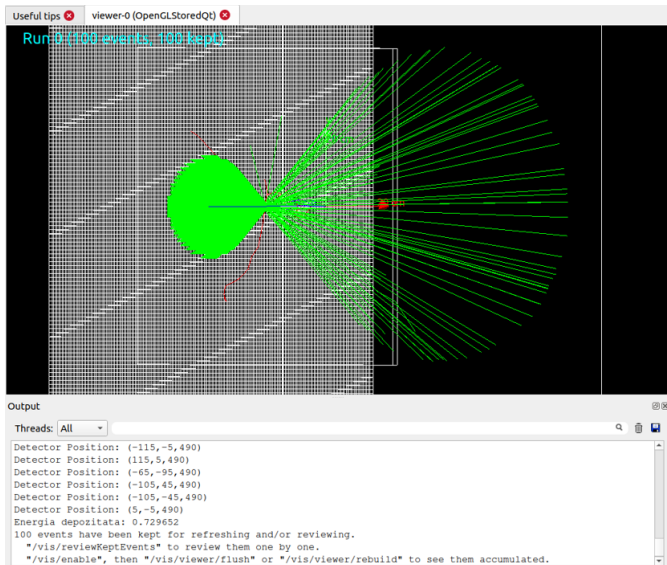


Detectorul meu de radiație Cherenkov

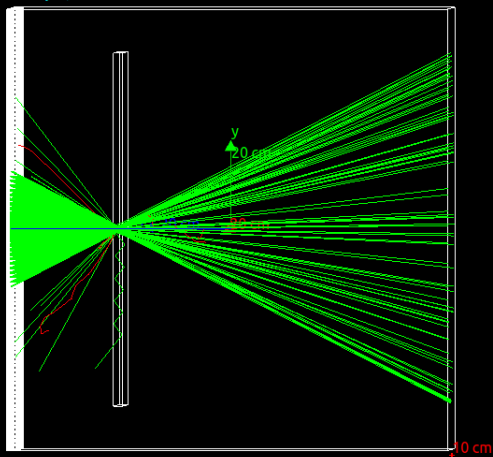


- ❶ O placă din aerogel(transparentă) este străbătută de un proton(albastru) și emite un flux conic de fotoni gamma(verzi).
- ❷ Fotoni emiși ajung pe o matrice de 100x100 detectori fotosensibili(voxeli) unde sunt detectați și contabilizați.

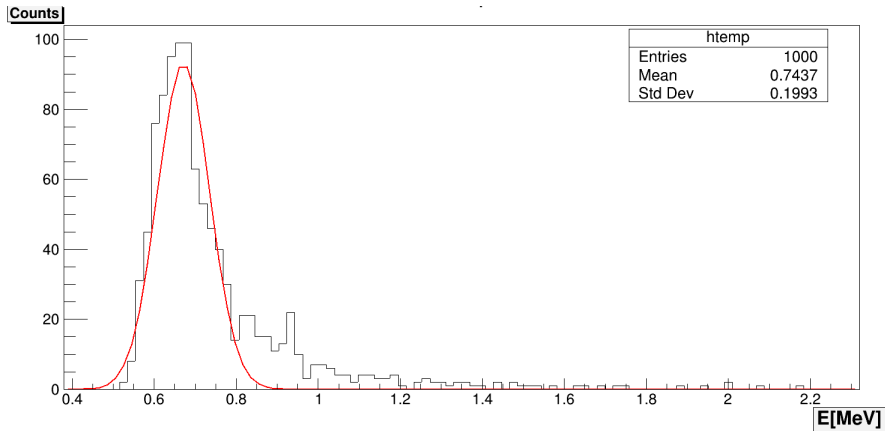
Output Grafic



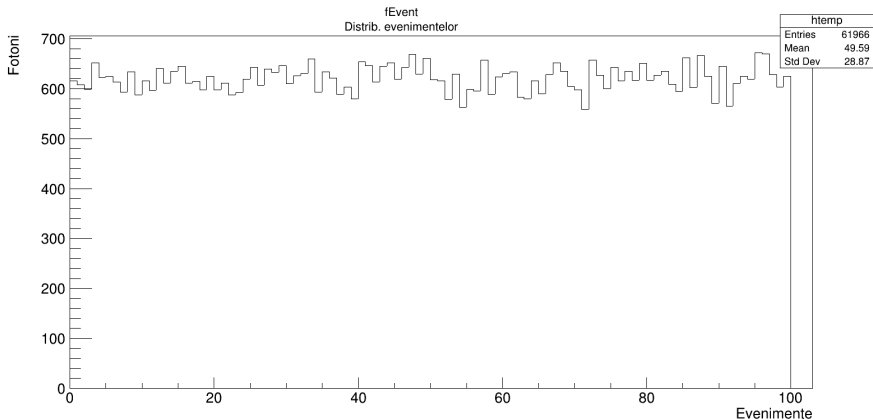
Run 0 (100 events, 100 kept)



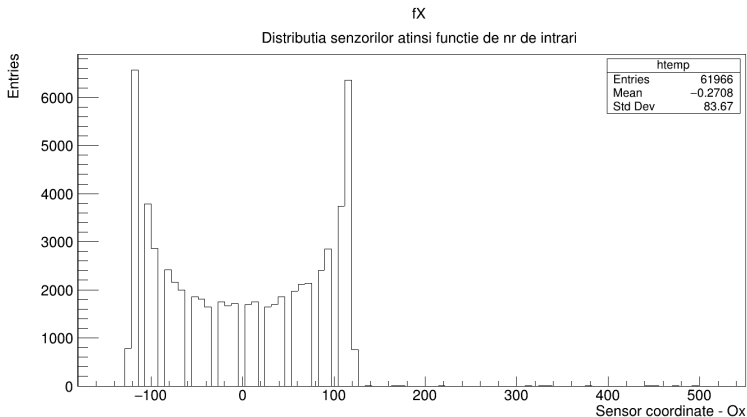
Spectrul radiației Cherenkov - histograma1



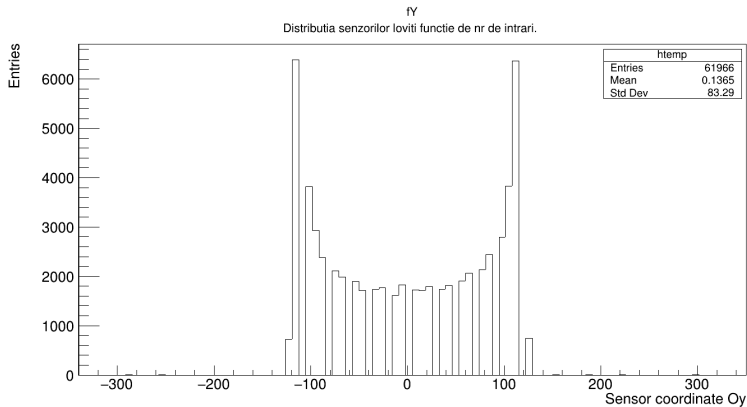
Nr de fotoni funcție de nr de evenimente - histograma2



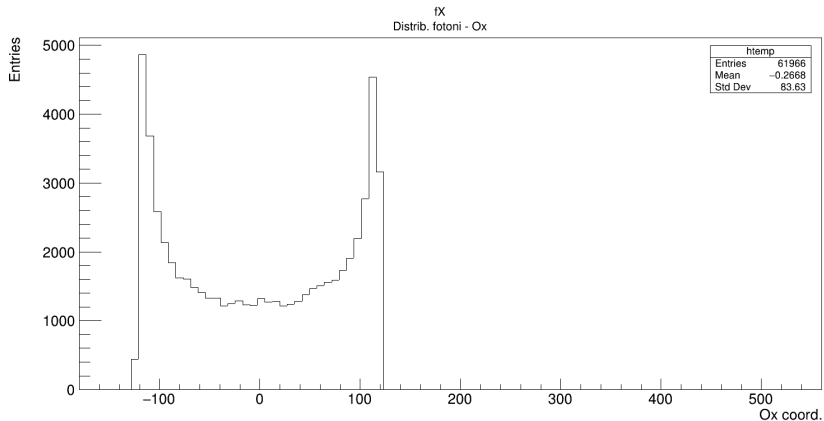
Distribuția pe OX a foto-senzorilor - histograma3



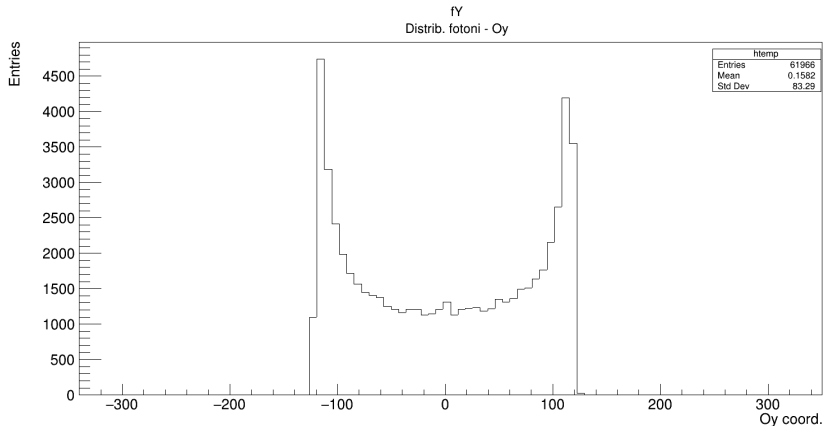
Distribuția pe OY a foto-senzorilor - histograma4



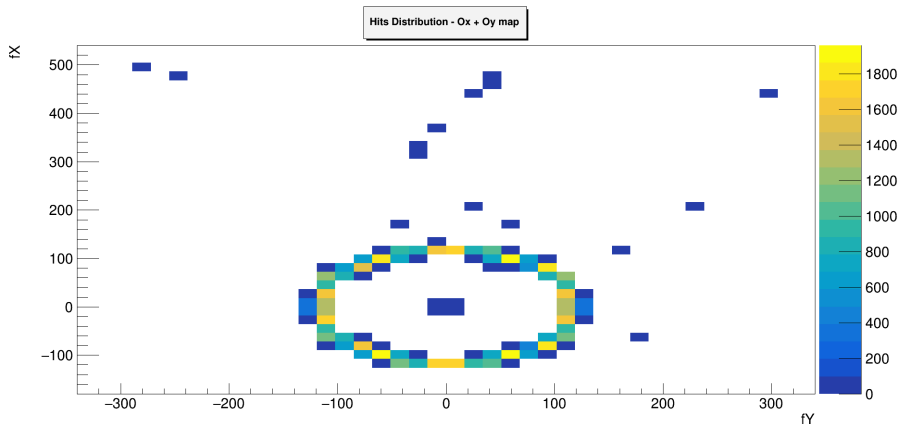
Distribuția pe OX a fotonilor receptați - Monte Carlo



Distribuția pe OY a fotonilor receptați - Monte Carlo

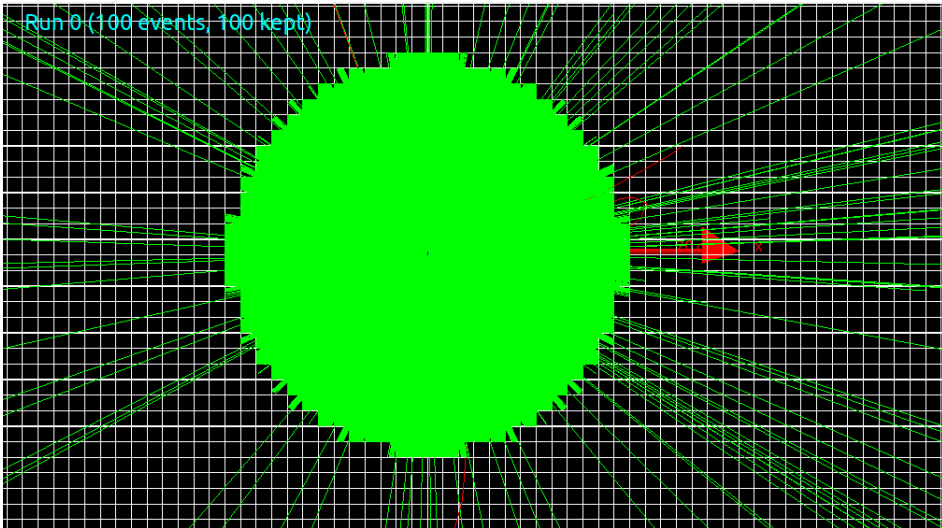


Corelarea celor două distribuții precedente - color map

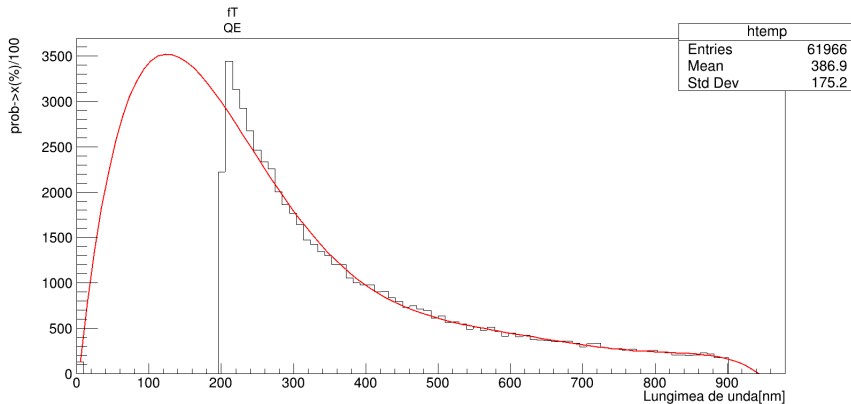


Ring pattern - din simulare

Run 0 (100 events, 100 kept)



Eficiența cuantică



Ce face aplicația

- ① Reprezintă distribuția numărului de fotoni funcție de energiile lor medii - spectrul radiației Cherenkov.

- ② Distribuția grafică a fotonilor Cherenkov emiși.

- ③ Distribuția numărului mediu de fotoni în funcție de numărul de evenimente generate.

- ④ Distribuția pozițiilor foto-senzorilor atinși de fotonii Cherenkov - hits distribution + afișarea coordonatelor lor.

- ⑤ Generarea cât mai multor evenimente și plotarea distribuțiilor lor.

Finalul prezentării



Thank you!

