

# Interação e Detecção de Partículas

## Problema 3 - Blindagem contra raios- $\gamma$

Universidade de Coimbra, 3 de Novembro de 2021

**Teórica Prática, Turma PL1**

*Prof. Doutor Alexandre Lindote*

José Nuno da Cruz Faria - 2015252736

### 1) Determinar a espessura de Pb necessária para reduzir a intensidade de um feixe de raios- $\gamma$ em 90%

Para um feixe estreito monocromático com uma intensidade  $I_0$  que atravessa um camada de material de espessura  $x$  e densidade  $\rho$ , a intensidade do feixe emergente pode ser obtida através:

$$I = I_0 \times e^{-x\mu_m\rho} \quad (1)$$

onde coeficiente de atenuação mássico é  $\mu_m$  do material.

Figura 1 mostra o coeficiente de absorção mássico do Pb em função da energia da feixe incidente. Observa-se que para um feixe de 1 MeV, temos  $\mu_m = 7.102 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{g}$ .

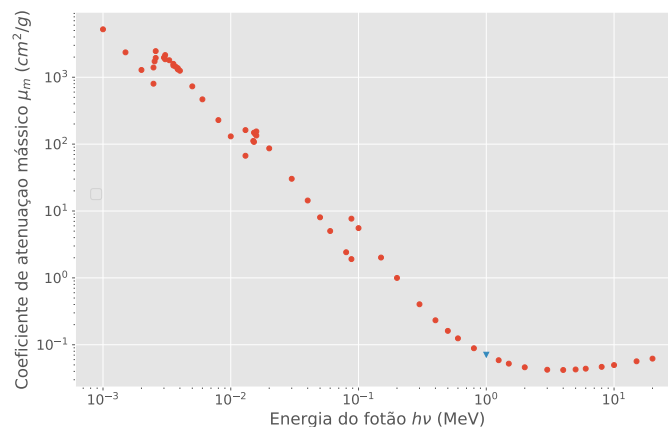


Figura 1: Coeficiente de absorção mássico do Pb em função da energia da radiação incidente. Fonte: <https://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoef/ElemTab/z82.html>

Para determinar a espessura necessária da placa de Pb para ter uma redução de 90% de energia no feixe incidente, usamos a equação 1:

$$I = I_0 \times e^{-x\mu_m\rho} \quad (2)$$

$$\Rightarrow \frac{1}{10} = e^{-x(7.102 \times 10^{-2}) \times (11.2)} \quad (3)$$

$$\Rightarrow x = \frac{\ln(10)}{7.102 \times 10^{-2} \times 11.2} \approx 2.89 \text{ cm} \quad (4)$$

## 2) Simulador

O código para o simulador de Monte-Carlo foi criado em Geant4 com base no *template* fornecido<sup>1</sup>, e encontra-se no seguinte URL: [https://github.com/jncfa/idp\\_exercices/tree/master/class4/tpc](https://github.com/jncfa/idp_exercices/tree/master/class4/tpc).

Para criar o simulador é necessário adicionar/implementar 3 componentes ao *template*:

1. Geometria da Simulação: Definir a posição e orientação de cada componente a simular, *i.e.* posição e orientação da placa de Pb e do detector (que no nosso caso, não representa um detector real mas sim um “volume artificial” usado apenas para verificar se as partículas atravessaram a placa de Pb).
2. Gerador da Partículas Primárias: Definir quais são as partículas emitidas e as suas propriedades (*i.e.* energia, posição, e orientação de cada partícula).
3. Recolha de informação para análise: Definir um mecanismo que permita a recolha dos dados da simulação.

Nas próximas secções, é explicada como é implementada cada componente.

### 2).1 Geometria da Simulação

Para definir a geometria da simulação, utiliza-se a classe `G4VUserDetectorConstruction`<sup>2</sup> para definir a posição, orientação dos materiais que compõe o nosso detector e da placa de Pb.

```
G4Element *Pb = new G4Element("Lead", "Pb", z = 82., a = 207.2 * g)
```

### 2).2 Gerador da Partículas Primárias

Para definir as partículas que são geradas na simulação, utiliza-se uma classe do tipo `G4VUserPrimaryGeneratorAction`<sup>3</sup> para definir o evento de “geração” de partículas. Nessa classe, é criada uma `G4ParticleGun`<sup>4</sup> que emite uma partícula- $\gamma$ , com 1 MeV.

```
// criar uma particle gun de uma particula
G4ParticleGun particleGun = new G4ParticleGun(1);
// obter informacao das particulas gamma
```

---

<sup>1</sup><https://lip.pt/~alex/G4Classes/Examples/Shielding.zip>

<sup>2</sup>[https://apc.u-paris.fr/~franco/g4doxy4.10/html/class\\_g4\\_v\\_user\\_detector\\_construction.html](https://apc.u-paris.fr/~franco/g4doxy4.10/html/class_g4_v_user_detector_construction.html)

<sup>3</sup>[https://apc.u-paris.fr/~franco/g4doxy4.10/html/class\\_g4\\_v\\_user\\_primary\\_generator\\_action.html](https://apc.u-paris.fr/~franco/g4doxy4.10/html/class_g4_v_user_primary_generator_action.html)

<sup>4</sup><https://apc.u-paris.fr/~franco/g4doxy/html/classG4ParticleGun.html>

```

G4ParticleTable *particleTable = G4ParticleTable::GetParticleTable();
G4ParticleDefinition *particle = particleTable->FindParticle("gamma");
particleGun->SetParticleDefinition(particle);
// definir posicao, orientacao e momento da partícula
particleGun->SetParticleMomentumDirection(G4ThreeVector(1., 0., 0.));
particleGun->SetParticleEnergy(1.0 * MeV);
particleGun->SetParticlePosition(G4ThreeVector(-1*m, 0. * cm, 0. * cm));

```

## 2).3 Recolha informação para análise

Para recolher os dados da simulação, criamos uma classe do tipo `G4UserSteppingAction`<sup>5</sup> que é chamada a cada passo da iteração da simulação.

Em cada passo, o programa verifica se a partícula que está a ser seguida neste passo encontra-se no volume do detector, e verifica se é uma partícula- $\gamma$ . Caso estas condições se verifiquem, as propriedades da partícula (posição e energia) são registadas no ficheiro “Shielding\_Pb.out”, como se pode observar no código seguinte:

```

// Na inicializacao da classe..
std::ofstream bout;
bout.open("Shielding_Pb.out");
//Codigo chamado a cada passo
G4Track *thisTrack = thisStep->GetTrack();
G4VPhysicalVolume *theVolume = thisTrack->GetVolume();
const G4ParticleDefinition *thisParticle =
    thisTrack->GetParticleDefinition();
double kinEner = thisTrack->GetKineticEnergy();
G4ThreeVector position = thisTrack->GetPosition();

// Only check particles that hit the detector
if (theVolume->GetName() == "Detector")
{
    // Only check primary particles
    if (thisParticle->GetParticleName() == "gamma")
    {
        bout << position.x() / cm << "\t"
              << position.y() / cm << "\t"
              << position.z() / cm << "\t"
              << kinEner / MeV << G4endl;
    }
    thisTrack->SetTrackStatus(
        G4TrackStatus::fKillTrackAndSecondaries);
}

```

## 3) Resultados obtidos e Discussão

Em seguida, temos os resultados obtidos da simulação.

---

<sup>5</sup><https://apc.u-paris.fr/~franco/g4doxy/html/classG4UserSteppingAction.html>

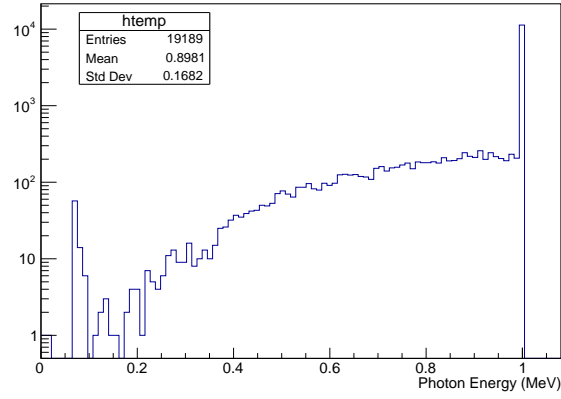


Figura 2: Histograma da distribuição de energia das partículas detetadas.

Na distribuição de energia das partículas detetadas da Figura 2, podemos observar 2 populações: uma com 1 MeV, que corresponde às partículas que não interagiram com a placa de Pb, outra com energia inferior a 1 MeV que corresponde às partículas que sofreram espalhamento de Compton e foram detetadas à saída da placa de Pb.

Podemos observar o ângulo de dispersão destas partículas e a sua distribuição espacial nas Figuras 3 e 4.

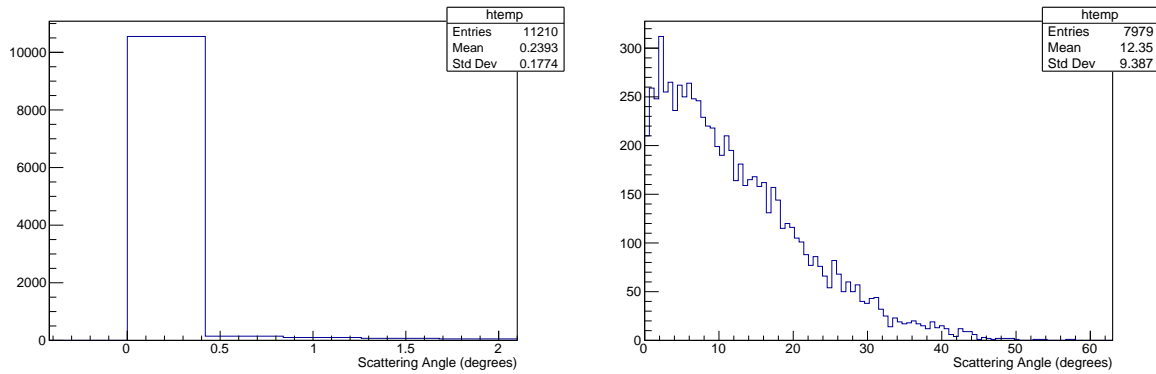


Figura 3: Histograma da distribuição angular das partículas detetadas. Para facilitar a análise, foram separadas as duas populações identificadas: à esquerda, temos a distribuição para partículas com energia igual a 1 MeV, à direita para partículas com energia inferior a 1 MeV.

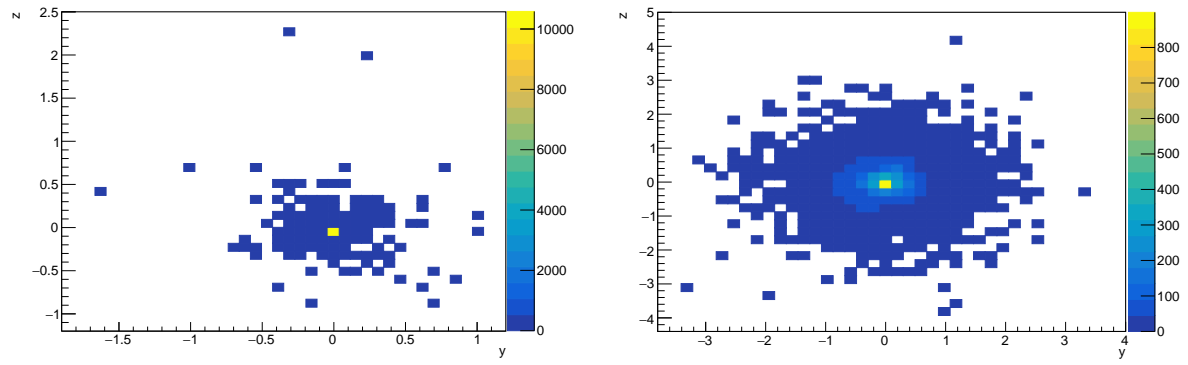


Figura 4: Histograma da distribuição espacial das partículas detetadas à saída da placa de Pb. Para facilitar a análise, foram separadas as duas populações identificadas: à esquerda, temos a distribuição para partículas com energia igual a 1 MeV, à direita para partículas com energia inferior a 1 MeV.