

# Sciame Elettromagnetico

Uno sciame elettromagnetico [https://it.wikipedia.org/wiki/Sciame\\_di\\_particelle](https://it.wikipedia.org/wiki/Sciame_di_particelle) è un fenomeno prodotto da un elettrone o un fotone di alta energia mentre attraversa la materia generando una serie di particelle prodotte a cascata nel materiale fino a dissipare completamente l'energia della particella primaria.

Il processo dominante per un elettrone (o positrone) di alta energia nella materia è quello del Bremsstrahlung per cui la particella carica perde energia emettendo radiazione gamma. Il libero cammino medio per tale processo viene chiamato lunghezza di radiazione ( $X_0$ ).

$X_0$  costituisce anche l'unità di misura per la perdita di energia per radiazione, in media si avrà ad una profondità  $x$  che l'energia residua sarà  $E(x) = E_0 e^{-\frac{x}{X_0}}$ .

$X_0$  dipende dal materiale ma corrisponde ad una scala macroscopica:

- $X_0(Al) = 8.9 \text{ cm}$ ;
- $X_0(Pb) = 0.56 \text{ cm}$ ;

Come tutte le particelle cariche gli elettroni e i positroni perdono anche energia eccitando e ionizzando gli atomi lungo il percorso, un processo che su scale macroscopiche appare come continuo.

Il processo dominante per un fotone gamma ( $\gamma$ ) è invece la produzione di coppie  $e^+e^-$  con un libero cammino medio pari a  $\frac{9}{7} X_0$ .

Il fenomeno degli sciame elettromagnetici è utilizzato per misurare l'energia di fotoni ed elettroni in praticamente tutti i casi sperimentali con particelle di alta energia come in fisica delle particelle, esperimenti per neutrini, missioni spaziali o esperimenti da terra che sfruttano l'atmosfera come materiale di rivelazione.

## Modello di Rossi

Un modello semplificato dello sviluppo di uno sciame elettromagnetico è quello di Rossi, schematizzato in figura, e che vede i seguenti passi:

- ogni interazione avviene esattamente dopo una lunghezza di interazione;
- ogni particella secondaria eredita esattamente metà dell'energia della particella madre;
  - l'interazione di un  $e^\pm$  con energia  $E$  porta ad un  $\gamma$  ed un  $e^\pm$  entrambi di energia  $\frac{E}{2}$ ;
  - l'interazione di un  $\gamma$  di energia  $E$  genera un  $e^+$  ed un  $e^-$ , entrambi di energia  $\frac{E}{2}$ ;
- il processo si arresta quando l'energia degli elettroni scende sotto il valore dell'energia critica  $E_c$ , che dipende dal materiale.

L'energia critica corrisponde all'energia per cui la perdita per ionizzazione eguaglia quella per radiazione.

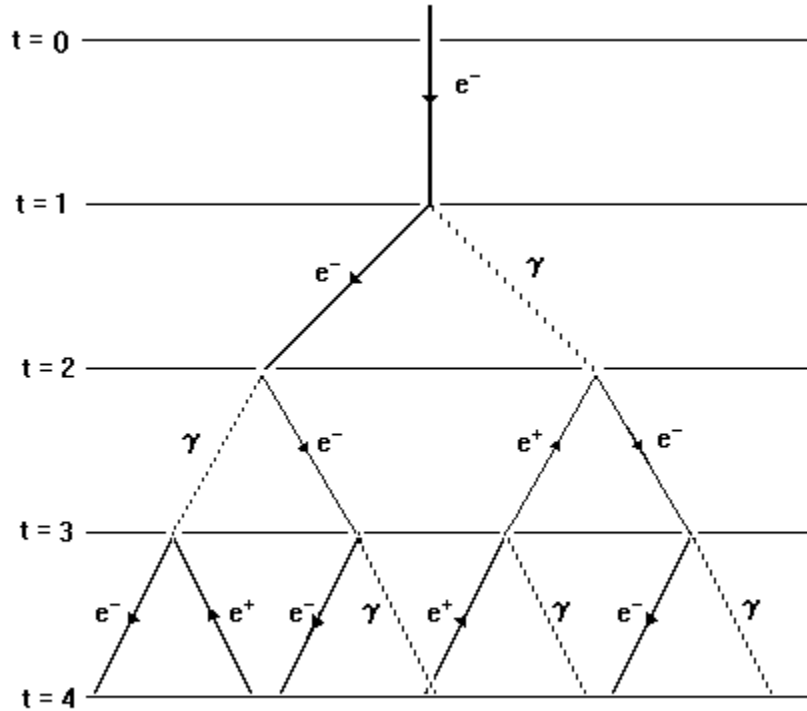
Esprimendo il percorso all'interno del materiale ( $x$ ) in unità di lunghezze di radiazione  $t = \frac{x}{X_0}$  abbiamo che durante lo sviluppo dello sciame:

- il numero di particelle sarà pari a  $n = 2^t$
- data l'energia della particella incidente  $E_0$ , l'energia di ogni particella sarà  $E(t) = \frac{E_0}{2^t}$

Lo sciame raggiungerà il massimo di particelle, e quindi il massimo di energia depositata, per  $E(t) = E_c$ , dopo di che la moltiplicazione si arresterà.

Al momento della profondità al massimo dello sciame ( $t_{max}$ ) possiamo quindi dire che  $\frac{E_0}{E_c} = 2^{t_{max}}$

da cui  $t_{max} = \frac{\ln(E_0/E_c)}{\ln 2}$ .



## Richieste

Si chiede di sviluppare in *python* una simulazione con un modello derivato da quello di Rossi secondo le seguenti specifiche:

1. l'utente deve poter scegliere:
  - energia iniziale della particella ( $E_0$ )
  - energia critica ( $E_c$ ) del materiale;
  - perdita per ionizzazione in una lunghezza di radiazione ( $dE_{X_0}$ ) del materiale;
  - il passo di avanzamento, *step* ( $s$ ), della simulazione in frazioni di  $X_0$  ( $s \in [0, 1]$ )
2. ad ogni step:
  - un  $e^\pm$  con  $E > dE_{X_0} \cdot s$  perde un'energia pari a  $dE_{X_0} \cdot s$  per ionizzazione;
  - un  $e^\pm$  con  $E > E_c$  ha una probabilità pari a  $1 - e^{-s}$  di emettere un fotone di bremsstrahlung;
  - un  $\gamma$  con  $E > 2m_e c^2$  ha una probabilità pari a  $1 - e^{-\frac{7}{9}s}$  di interagire per produzione di coppia;
  - un  $e^\pm$  con  $E \leq dE_{X_0} \cdot s$  deposita per ionizzazione un'energia con valore casuale nell'intervallo  $[0, E]$  e deve essere escluso dal computo per lo sviluppo successivo dello sciame;
  - un  $\gamma$  con  $E \leq 2m_e c^2$  deposita per ionizzazione un'energia con valore casuale nell'intervallo  $[0, E]$  e deve essere escluso dal computo per lo sviluppo successivo dello sciame;
3. lo sciame si arresta quando non ci sono più particelle che possono depositare energia;

4. il programma deve poter fornire in uscita le seguenti informazioni:

- l'energia totale persa per ionizzazione nel materiale;
- il numero di particelle dell'oscillazione ad ogni step;
- l'energia persa per ionizzazione ad ogni step;

Utilizzando la simulazione sviluppata si chiede di studiare, anche nelle sue fluttuazioni, l'andamento dello sviluppo longitudinale e dell'energia depositata per ionizzazione in funzione dell'energia per i seguenti materiali:

- Acqua liquida;
- Silicato di Bismuto (BSO)

SUGGERIMENTI:

- per le proprietà dei materiali si può fare riferimento al PDG:  
<https://pdg.lbl.gov/2017/AtomicNuclearProperties/>
  - controllare composti e scintillatori inorganici;
- l'unità di misura più conveniente per l'energia è il *MeV*.