

Esercitazione di Meccanica 4

Studio di un contatore Geiger-Mueller e di un “pallinometro”

Scopo dell'esperienza:

- Misura dei conteggi di rumore per un contatore Geiger-Mueller;
- Misura della *rate* di radiazioni emesse da un blocco di tufo;
- Stima della *rate* di raggi cosmici;
- Studio di un “pallinometro” reale e simulato.

La distribuzione di probabilita' di Poisson:

La densita' di probabilita' che descrive il numero di conteggi per Poisson segue l'andamento:

$$P(x_i) = \frac{\lambda^{x_i}}{x_i!} e^{-\lambda}$$

con valore atteso di conteggi e varianza

$$E(x) = \lambda$$

$$Var(x) = \lambda$$

I tempi di attesa per misurare un conteggio sono descritti dalla densita'

$$f_1(t) = \frac{1}{\tau} e^{-t/\tau}$$

I tempi di attesa per misurare due conteggi (convoluzione di due esponenziali, come visto a lezione) segue invece

$$f_2(t) = \frac{1}{\tau^2} t e^{-t/\tau}$$

La distribuzione di probabilita' binomiale:

I processi in cui ho solo due possibilita', successo (1) o insuccesso (0) e al successo posso associare una certa probabilita' p seguono la distribuzione di probabilita' binomiale con

$$P(x_i) = \binom{N}{x_i} p^{x_i} (1-p)^{N-x_i}$$

e poi

$$E(x) = Np$$

$$Var(x) = Np(1 - p)$$

Contatore Geiger-Mueller:

Si tratta di un rivelatore di particelle sensibile alle radiazioni alfa (2 protoni e 2 neutroni), beta (elettroni e positroni) e gamma (fotoni) e a particelle cariche ionizzanti (ad esempio muoni energetici). Ogni volta che una particella ionizzante passa per il volume sensibile del rivelatore e rilascia un'energia superiore a quella di soglia, viene misurato un conteggio.

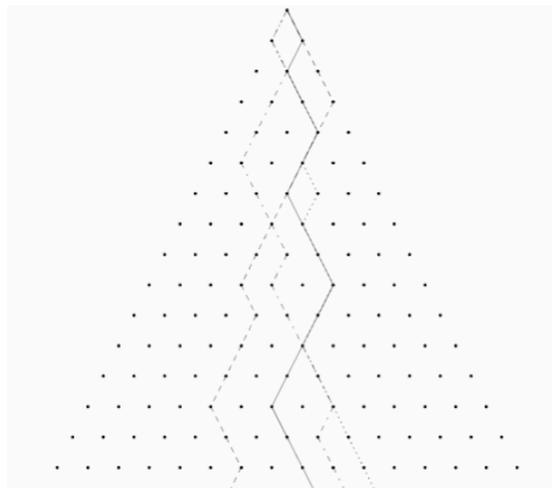
Anche in assenza di una sorgente di radiazioni, il contatore misura un certo numero di conteggi che sono dovuti a:

1. Radiazione di fondo dell' ambiente. Esistono vari materiali naturalmente radiattivi nell' ambiente, come i mattoni di tufo oppure radon nell' aria.
2. Raggi cosmici. Le particelle che arrivano dallo spazio interagiscono con l'atmosfera e, dopo decadimenti in cascata, producono altre particelle energetiche tra cui anche muoni. Le particelle cadono per lo più in modo verticale. La rate di muoni per un rivelatore piano orizzontale è di 1 particella/(cm² s), mentre per un rivelatore verticale dovrebbe essere meno della metà (conseguenza del fatto che le particelle cadono verticalmente).
3. Conteggi "falsi" dovuti al rumore elettronico del contatore.

Tutti questi processi seguono la statistica di Poisson.

Pallinometro:

Il pallinometro è costituito da N file di chiodi, disposte in modo tale che la k-esima fila è costituita da k chiodi spostati di mezzo passo rispetto ai k-1 chiodi della fila immediatamente superiore. Una pallina che cade dalla sommità del pallinometro farà N-1 urti con i chiodi. Per ciascun urto la pallina può cadere a destra del chiodo con una certa probabilità p. È facile verificare che la posizione (tra le N) nella quale finirà la pallina dopo gli urti segue la distribuzione binomiale.



Apparato sperimentale:

- Un contatore Geiger-Mueller. La superficie sensibile e' di 15 cm^2
- Un blocco di tufo
- Un pallinometro
- Un livella
- Un computer con a disposizione un programma che simula il pallinometro



Operazioni:

1. Prendere 50 misure di conteggi per i seguenti intervalli di tempo: 1s, 2s, 3s, 4s, 5s, 6s, 10s con il contatore Geiger-Mueller
2. Prendere 20 misure di conteggi per 30s con il contatore Geiger-Mueller
3. Mentre si prendono le misure, fare gli istogrammi del numero di conteggi per ciascun intervallo nei punti 1 e 2 e confrontarlo con l'andamento teorico (sovrapporlo all'istogramma)
4. Calcolare la frazione di 0 conteggi e di 0 conteggi + 1 conteggio per i casi 1s -> 6s. Fare il grafico di queste frazioni in funzione del tempo (con errore binomiale stimato in ciascun bin). Confrontare il grafico con l'andamento atteso (si tratta di $1 - e^{-\lambda t}$ cumulativa del tempo atteso per un conteggio e per due conteggi). Calcolare il chi quadro del confronto.
5. Prendere i conteggi per un intervallo di 599 s (il massimo consentito dal contatore) nei seguenti tre casi:
 - a. Contatore orizzontale (lontano dal blocco di tufo)
 - b. Contatore verticale (stessa posizione del caso precedente, con il rivelatore appoggiato su un fianco)
 - c. Contatore sul blocco di tufo
6. Dalle misure fatte nel punto 5, estrarre:
 - a. La rate di radiazione di fondo dell' ambiente
 - b. La stima della rate dovuta ai raggi cosmici confrontando le misure in orizzontale e in verticale
 - c. La rate dovuta alla radiazione che proviene dal tufo
7. Mentre si prendono i dati (punti 1, 2 e 4) un componente di ciascun gruppo prende le misure con il pallinometro (2 turni da 5 persone che lavorano insieme). Il piano del pallinometro deve essere leggermente inclinato per ridurre la velocita' di caduta delle palline. Fare cadere circa 200 palline per ciascuna delle 3 posizioni possibili nei seguenti casi:
 - a. Pallinometro con le file di chiodi orizzontali. Verificare con la livella. La probabilita' che la pallina cada a destra in questo caso e' 0.5
 - b. Pallinometro con le file di chiodi leggermente inclinate a sinistra. La probabilita' e' < 0.5 in questo caso.
8. Riprodurre i casi a e b con 10^6 palline con la simulazione. Per il caso b usare la probabilita' p, ottenuta dal pallinometro reale.
9. Confrontare tra loro le distribuzioni ottenute in 7 e 8 e confrontarle con la binomiale teorica.