

Rivelatori

Caratteristiche generale e concetti preliminari

Indice

➤ **Caratteristiche generali**

sensibilità, risposta, spettro d'ampiezza, risoluzione energetica, efficienza, tempo morto

➤ **Rivelatori a Scintillazione**

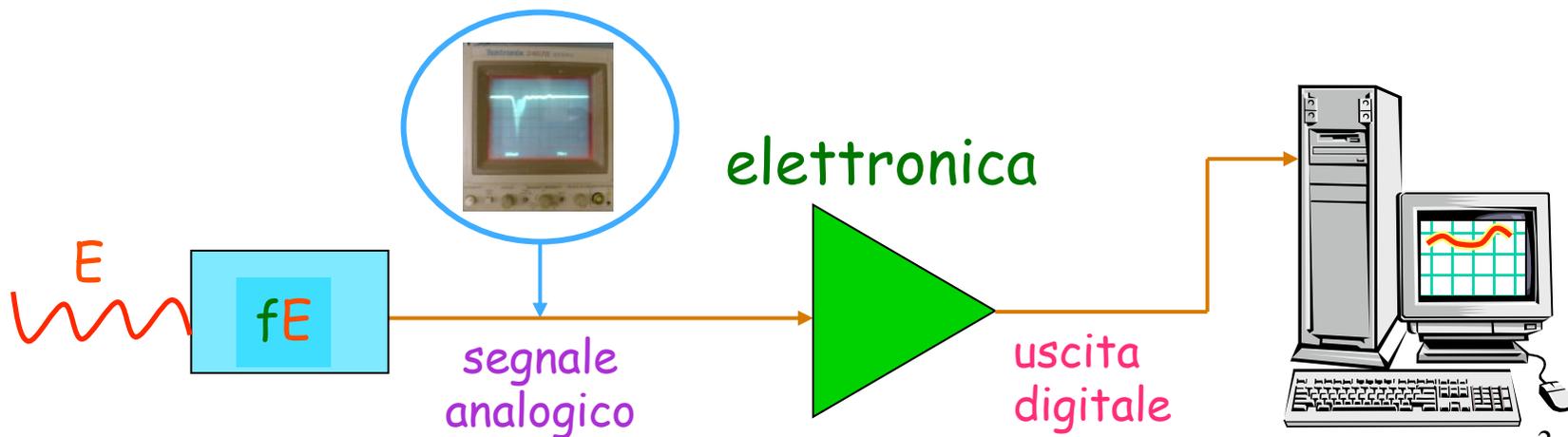
proprietà chimico-fisiche degli scintillatori
guide di luce & fotomoltiplicatori

Logica

Principio di funzionamento generale di un rivelatore

particella di energia E → trasferimento di energia $f E$ ($f \leq 1$)
al rivelatore → conversione in forma d'energia accessibile

Rivelatori moderni sono essenzialmente elettrici: $f E$ convertita in impulsi elettrici → necessaria elettronica per il trattamento dell'info



Caratteristiche Generali

A. Sensibilità

capacità di produrre segnale utilizzabile S per un dato tipo di radiazione di una data energia

(non esiste rivelatore sensibile a tutte le radiazioni di qualunque energia)

Dipende da:

- σ delle reazioni ionizzanti, i.e. probabilità di conversione di $f E$ in forma di ionizzazione
- massa del rivelatore: fissata σ , ρ e V determinano frequenza delle interazioni \rightarrow massa richiesta dipende dal tipo e dall'energia della radiazione da rivelare

Caratteristiche Generali

- rumore del rivelatore N_R : minima ionizzazione in grado di produrre segnale utilizzabile S è determinata dal rumore del sistema rivelatore \oplus elettronica \rightarrow deve essere $S \gg N_R$
- entrance window: comporta esistenza di una energia minima rivelabile

B. Risposta

interazione di una particella nel rivelatore \rightarrow rilascio (quasi istantaneo) di carica elettrica Q nel volume sensibile del rivelatore \rightarrow raccolta tramite campo elettrico



$t_c =$ tempo di risposta

1 ps \div 1 ns in funzione
del tipo di rivelatore

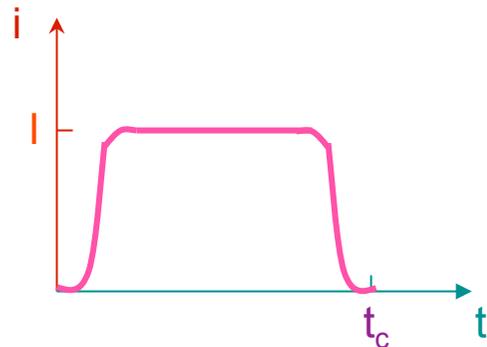
Caratteristiche Generali

t_c riflette:

- ✓ diversa **mobilità** dei portatori di carica
- ✓ diverso **cammino** percorso per arrivare all' elettrodo di raccolta



risposta del rivelatore: **impulso di corrente**



$$Q = \int_0^{t_c} dt i(t)$$

Caratteristiche Generali

Caratteristiche del segnale d' uscita:

- ❖ tempo di salita = t_c (rivelatore)
- ❖ tempo di salita = τ (circuito)
- ❖ $C = \text{costante} \rightarrow V_{\max} \propto Q \propto \text{energia rilasciata}$

N.B. – regime impulsivo è più conveniente:

- sensibilità più elevata (registro ogni singolo impulso)
- ampiezza impulso contiene info più importanti ai fini delle applicazioni (quando $\tau \gg t_c$)

nel regime corrente
queste info sono perdute



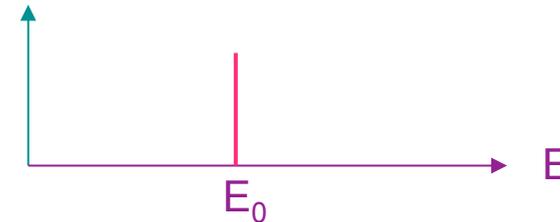
modo d' operazione più
comune: impulso $\oplus \tau \gg t_c$

Caratteristiche Generali

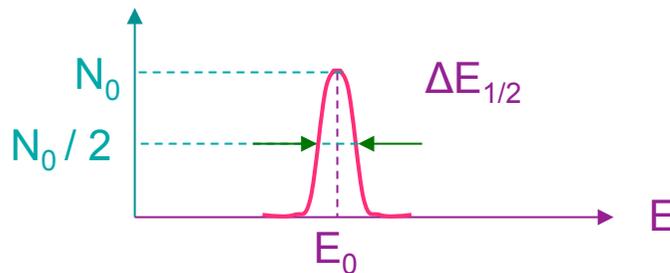
- C. Risoluzione Energetica** capacità del rivelatore di discriminare energie vicine

Misura: fascio monocromatico (E_0) di particelle che incide sul rivelatore → osservazione dello spettro d'ampiezza risultante:

- Caso ideale: δ di Dirac



- Caso reale: fluttuazioni nel n. di ionizzazioni → gaussiana



$$R = \frac{\Delta E_{1/2}}{E_0} \quad (\text{FWHM})$$

Caratteristiche Generali

ϵ = energia media richiesta per una ionizzazione: funzione solo del tipo di materiale di cui è realizzato il rivelatore \rightarrow particella che deposita energia E compie, in media, $J = E / \epsilon$ ionizzazioni !!

Natura poissoniana del processo di ionizzazione \rightarrow fluttuazione nel n. di ionizzazioni = $J^{1/2}$



$$R \propto J^{1/2} / J = J^{-1/2}$$



$$R \propto E^{-1/2}$$

risoluzione energetica migliora al crescere dell' energia della radiazione da rivelare

Caratteristiche Generali

Ulteriori sorgenti di fluttuazione:

- rumore associato all' elettronica
- deriva delle caratteristiche del sistema

Ipotesi : fluttuazioni indipendenti

$$\longrightarrow (\Delta E_{1/2}^{\text{tot.}})^2 = (\Delta E_{1/2}^{\text{stat.}})^2 + (\Delta E_{1/2}^{\text{elet.}})^2 + (\Delta E_{1/2}^{\text{der.}})^2 + \dots$$

Esempio: fotoni da 1 MeV

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{NaI : } R \sim 8 \% \\ \text{GeLi : } R \sim 0.1 \% \end{array} \right.$$

Caratteristiche Generali

D. Efficienza

2 tipi d'efficienza:

i. assoluta

$$\epsilon_T = \frac{N_R}{N_s}$$

n. impulsi rivelati

n. particelle emesse
dalla sorgente

funzione di:

- geometria del rivelatore
- probabilità d'interazione nel rivelatore

Caratteristiche Generali

ii. intrinseca $\epsilon_i = \frac{N_R}{N_i}$ ← n. particelle incidenti sul rivelatore

funzione solo probabilità d'interazione nel rivelatore, i.e. dipende da:

- tipo & energia della radiazione
- materiale di cui è composto il rivelatore

N.B. – $\epsilon_T \rightarrow \epsilon_i$ elimina dipendenza geometrica: permane debole dipendenza dalla distanza sorgente - rivelatore

emissione isotropa $\longrightarrow \epsilon_T = \epsilon_i \Delta\Omega / 4\pi$

Concetti preliminari

1. Grandezze fondamentali

Energia E [eV] – energia acquisita da un elettrone sottoposto alla d.d.p. di 1 Volt

$$1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J} \quad \text{Multipli: keV, MeV, GeV, TeV, ...}$$

Massa a riposo m [eV/c²] – misurata tramite $E = mc^2$

$$1 \text{ eV}/c^2 = 1.78 \times 10^{-36} \text{ kg}$$

Impulso p [eV/c] – misurata tramite $E^2 = p^2 c^2 + m^2 c^4$

$$1 \text{ eV}/c = 0.535 \times 10^{-27} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

Concetti preliminari

2. Sorgenti radioattive

2 parametri fondamentali:

❖ **Attività** – n. di decadimenti al secondo → Becquerel (Bq)

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ dec./s}$$

N.B. – vecchia unità: Curie (Ci) → $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ dec./s}$

❖ **Costante di decadimento** – velocità di decadimento

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad [\lambda] = t^{-1}$$

Concetti preliminari

Grandezze derivate da λ :

- **vita media** τ - intervallo di tempo dopo il quale il n. iniziale di nuclei si è ridotto di un fattore **e**

$$\tau = \lambda^{-1}$$

- **tempo di dimezzamento** $t_{1/2}$ - intervallo di tempo dopo il quale metà dei nuclei iniziali è decaduta

$$t_{1/2} = \tau \ln 2 \cong 0.693 \tau$$

Fasci di particelle \rightarrow **Flusso** Φ - n. particelle al secondo

$$[\Phi] = t^{-1}$$

Concetti preliminari

3. Sezione d'urto

misura della **probabilità** che si verifichi un certo processo d'interazione

Fascio di particelle che incide su un bersaglio :

Ipotesi – fascio molto + esteso del bersaglio;

– particelle distribuite in modo uniforme nello spazio e nel tempo


$$\sigma = \frac{\Phi \text{ diffuso}}{\Phi \text{ incidente} / \text{Superficie unitaria trasversa}}$$

i.e. \perp alla direzione del fascio

Concetti preliminari

- ✓ natura **casuale** del processo → **valori medi** su un numero elevato di intervalli di tempo di durata finita;
- ✓ $[\sigma] = L^2$ → posso immaginarla come l'area del centro di diffusione proiettata sul piano \perp alla direzione del fascio;
- ✓ **ordini di grandezza:**
 - $\sigma_{\text{atomica}} \approx 10^{-24} \text{ cm}^2$ (= 1 barn)
 - nucleo di raggio r → $\sigma_{\text{geom.}} = \pi r^2$
 $r \approx 10^{-13} \text{ cm}$ (= 1 fm) → $\sigma_{\text{geom}} \approx 3 \times 10^{-26} \text{ cm}^2 = 30 \text{ mb}$

Concetti preliminari

Bersaglio reale: dimensioni finite → molti centri diffusori

Ipotesi – centri diffusori distribuiti uniformemente;

- bersaglio sottile (spessore = dx) → piccola probabilità che un centro diffusore sia esattamente dietro un altro



N = n. centri/Volume → n. centri su superficie $S \perp$ alla direzione di propagazione del fascio = $N S dx$



Probabilità di 1 collisione nello spessore dx :

$$dp = \frac{\Phi \text{ diffuso}}{\Phi \text{ incidente}} = \frac{\sigma \Phi_0 / S}{\Phi_0} N S dx = \underbrace{N \sigma}_{w} dx$$

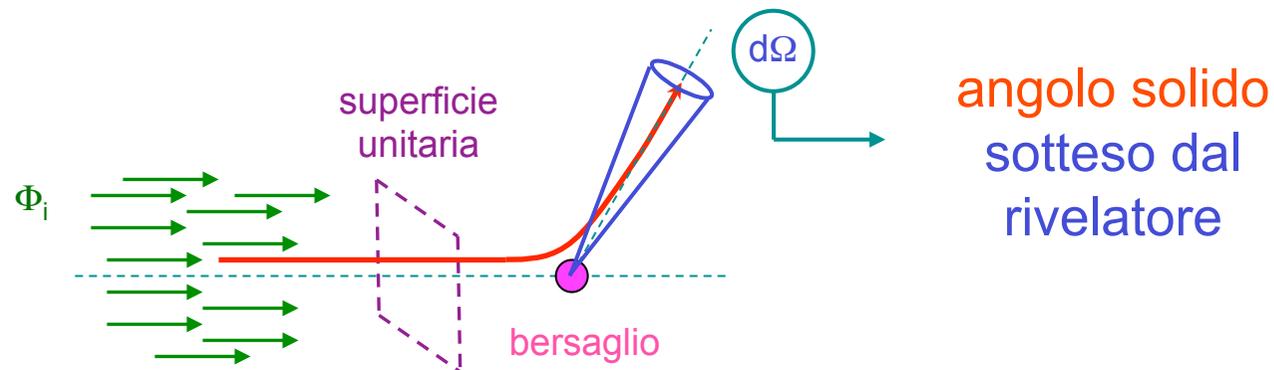
Concetti preliminari

N.B. – densità centri diffusori N $\left\{ \begin{array}{l} \text{nucleo} \rightarrow \rho N_0 / A \\ \text{elettroni} \rightarrow \rho N_0 Z / A \end{array} \right.$

- ρ = densità materiale;
- N_0 = n. di Avogadro (6.02×10^{23});
- A = n. di massa (n. protoni + n. neutroni);
- Z = n. atomico (n. elettroni)

Concetti preliminari

Rivelazione particelle **diffuse** → apparato di dimensioni **finite**



sezione d'urto differenziale

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{\Phi \text{ diffuso in } d\Omega}{\Phi_i / \text{Superficie unitaria trasversa}}$$

Concetti preliminari

Coordinate polari

$$x = r \sin\theta \sin\varphi$$

$$y = r \sin\theta \cos\varphi$$

$$z = r \cos\theta$$

