Interazione nella Materia

Abbiamo visto interazioni EM
nucleare (forte)
debole (teoria di Fermi)

- misurare impulso di α, p, e^-
- misurare l'energia dei fotoni
- rivelare neutroni

Misure richiedono l'esistenza di un rivelatore

Dispositivo per misure quantitative di qualche forma di informazione o traccia delle particelle

Spesso come traccia usiamo l'energia rilasciata dalle particelle.

Idealmente una particella non dovrebbe perdere energia per essere rivelata.

se una particella ha l'energia E.

- particella cede una frazione $\frac{\Delta E}{E}$ (oppure $\frac{\Delta p}{p}$) energia rilasciata
  piccola
  ignoriamo le perdite
  (tracciatori di particelle cariche)

- $\frac{\Delta E}{E}$ significativo: possibile stimare questa frazione $\Rightarrow$ risalire a E corretta.

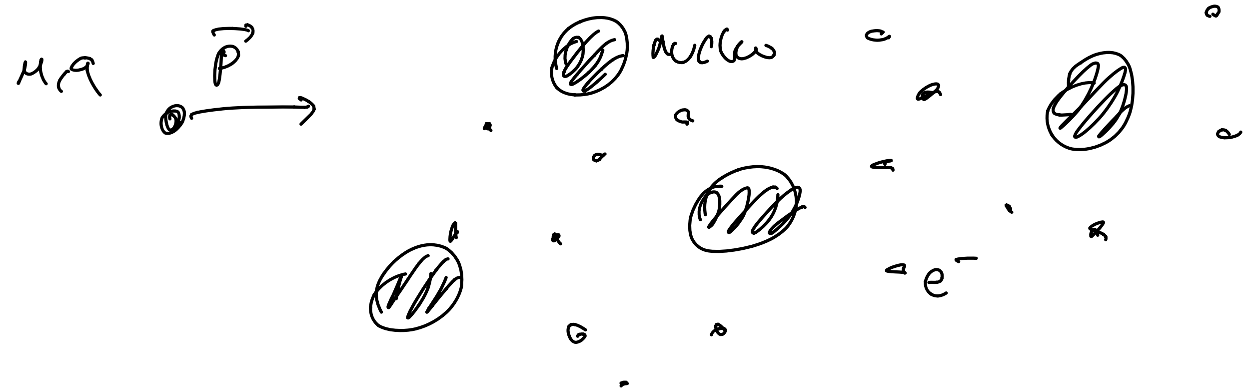
- $\frac{\Delta E}{E} = 100\%$ cede tutta l'energia
  si parla di Calorimetria
  e^-, e^+, γ

Rivelatore interagisce con proiettile (particella d'interesse)

EM: raggio infinito d'interazione

Forte: richiede param. d'impatto ~ fm

debole: troppo debole e quindi quasi trascurabile



$$\sigma_{EM} >> \sigma_{strong} >> \sigma_{debole}$$

Rivelatori basati su EM.

strategie diverse per $q \neq 0$ e $q = \emptyset$

Rivelatore fatto di materia: e^-, p, n

Particelle Cariche

$q \neq 0 \Rightarrow$ interazione di Coulomb con e^-, N.

adroni: particelle che interagiscono forte

leptoni: non interagiscono forte

urti elastici alla Rutherford

Energia rilasciata maggiore per e^-, N?

- urto contro nucleo (muro)

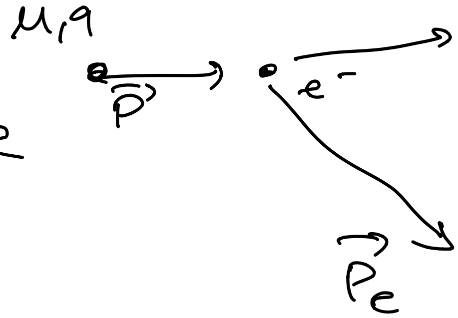
  $\Delta\vec{p}$ grande

  $M_N \gg 1 \Rightarrow \Delta E$ piccolo.

  $$\Delta E = \frac{\Delta p^2}{2M_N}.$$

- urto contro e^- (palline):

  $m_{proiettile} = M \gg m_e$

  ΔE_e grande.

Interazione con e^- domina.

1) e^- acquista energia: atomi, molecole si eccitano.

   diseccitazioni $\rightarrow$ emissione di γ

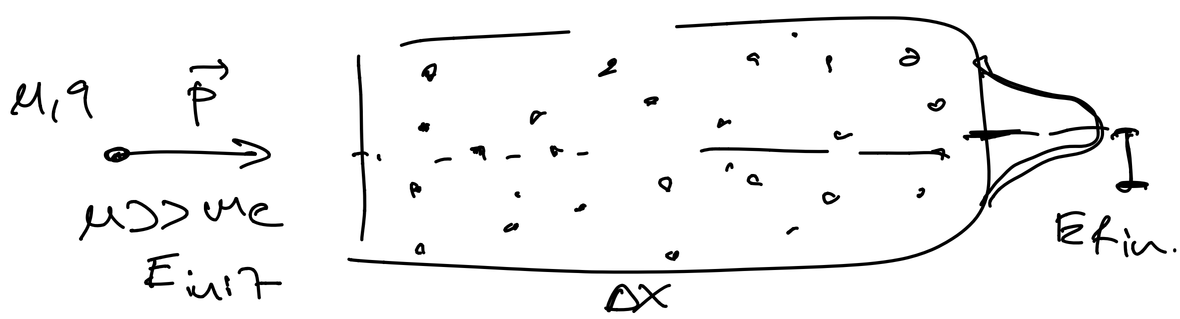
2) se $M \gg m_e$, ΔE grande

   e^- strappato $\Rightarrow$ ionizzazione

   $\Rightarrow$ possiamo raccogliere carica Q.

   $Q \propto \Delta E$ trasferita dal proiettile $\propto E(\vec{p})$ proiettile

Meccanismo principale di perdita di energia per particelle cariche $q \neq 0 \Rightarrow$ ionizzazione.



$$\Delta E = f(\rho, \vec{p}, E, q, \vec{P}_e, \bar{I})\, \Delta x$$

$$n_e = \frac{\rho}{A} N_A \cdot Z \qquad cm^{-3}$$

$\bar{I}$ = energia media di ionizzazione

$\frac{\Delta E}{\Delta x}$: perdita di energia media per lunghezza

parleremo di $\frac{dE}{dx}$ perdita di energia per unità di lunghezza

processo EM, si sa calcolare con alta precisione

Elettrodin. quantistica QED

Calcolo fatto Bethe-Bloch nel 1930

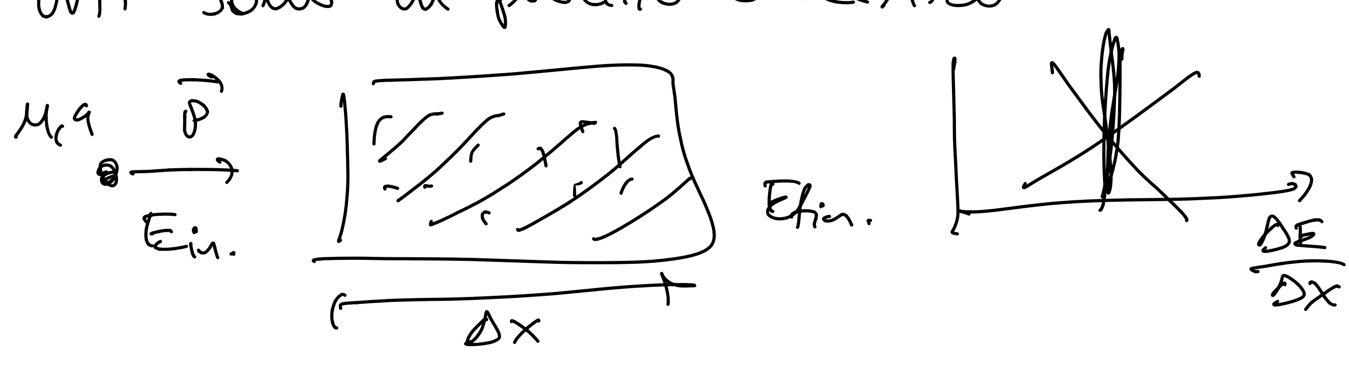
potete trovarlo nel libro di Jackson.

Fattene per caso non relativistico, conto classico fattibile con elettrone di Bohr.

Formula di Bohr (1914)

$\langle \frac{dE}{dx} \rangle$: energia media persa per unità di lunghezza.

urti sono un processo stocastico.



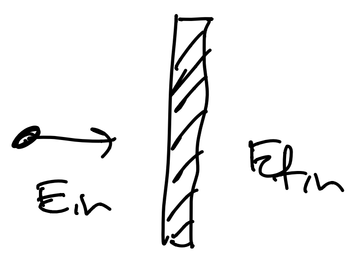
Δx grande: $\rightarrow$ teorema di limite centrale

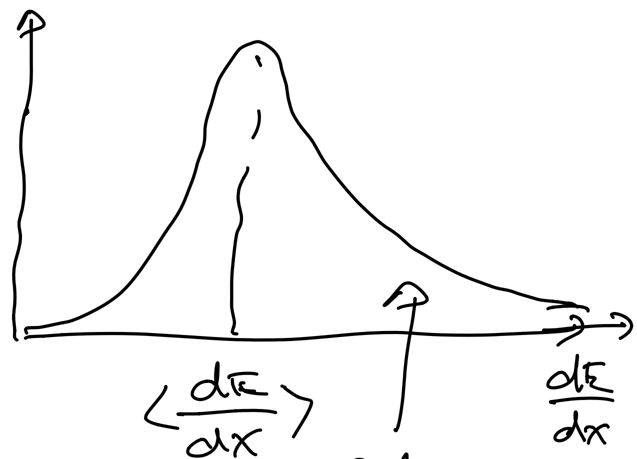
$\Rightarrow$ distrib. Gaussiana.

Bohr

Bethe-Bloch $\longleftarrow \left\langle \frac{dE}{dx} \right\rangle$

Per bersagli sottili Δx piccolo.



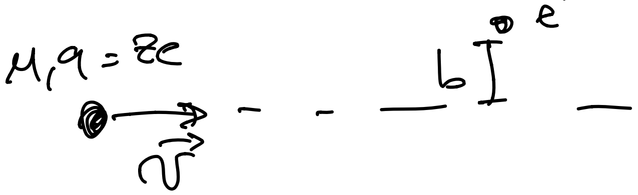


Distribuzione di Landau.

eventi rari
con grande perdita di energia $\longleftarrow$ code lunghe

prevale la statistica di Poisson

Formula di Bohr $\frac{dE}{dx}$



Atomo di Bohr:
$m_N \gg m_e$

$$E_n = -\frac{m_e c^2}{2n^2}\left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 \hbar c}\right)^2 = -\alpha^2 \frac{m_e}{2n^2}$$

in unità naturali

Transizioni nell'atomo di Bohr.

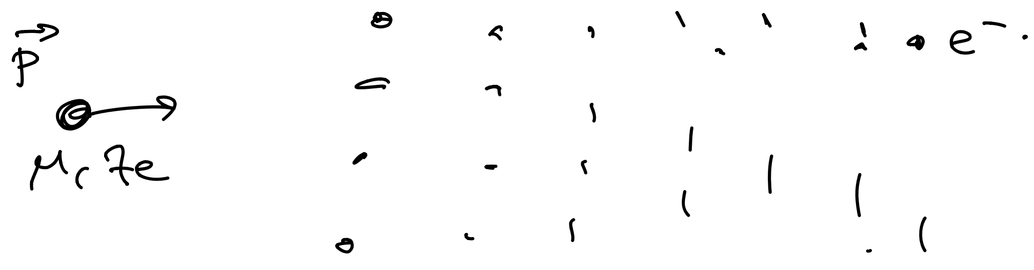
$\Delta E_{n\to m} \equiv h\nu_{n\to m} = h(\nu_n - \nu_m)$

raggio classico dell'elettrone.

$$m_e c^2 = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}\frac{1}{r_e}$$

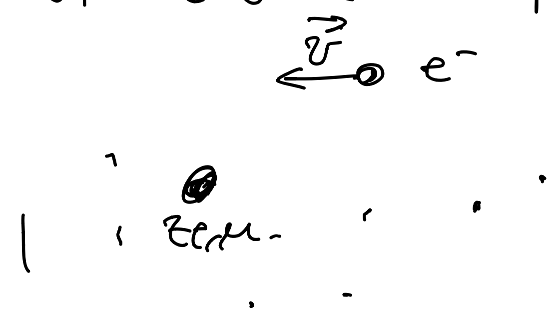
$$\Rightarrow \quad r_e = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}\frac{1}{m_e c^2}.$$

in unità naturali $\quad r_e = \frac{\alpha}{m_e}$



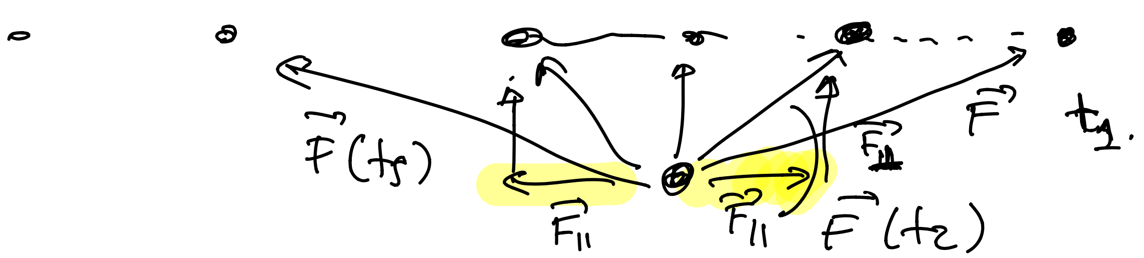
Rif LAB.

Ci mettiamo nel Rif solidale con proiettile.



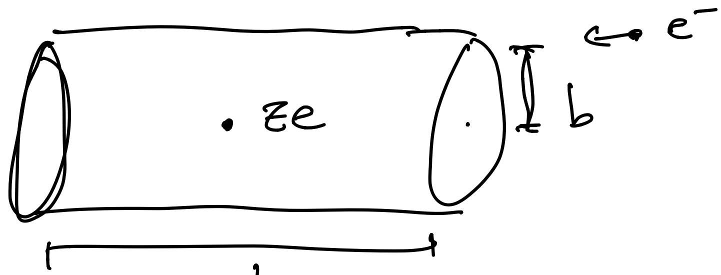
L'impulso trasferito dal proiettile a e^- (singolo)

$$\Delta\vec{p} = \int \vec{F}\,dt = \int \vec{F}\,\frac{dx}{v} = \frac{1}{v}\int F_{\parallel}\,dx + \frac{1}{v}\int F_{\perp}\,dx$$



Per simmetria $\int F_{\parallel}\,dx = \emptyset$

$$\Delta p_{\perp} = \frac{1}{v}\int F_{\perp}\,dx = \frac{q}{v}\int E_{\perp}\,dx = \frac{e}{v}\int E_{\perp}\cdot dx$$



$$\Phi(E_\perp) = \int_{\text{lato}} \vec{E}_\perp \cdot \vec{n}\, dS + \underbrace{\int_{\text{tappi}} \vec{E}_\perp \cdot \vec{n}\, dS}_{=0}$$

$$= 2\pi b \int E_\perp \, dx$$

$$\int E_\perp \, dx = \frac{1}{2\pi b} \Phi(E_\perp) = \frac{1}{2\pi b} \frac{ze}{\varepsilon_0}$$

$$\Delta p_\perp = \frac{e}{v} \frac{1}{2\pi b} \frac{ze}{\varepsilon_0} = \frac{ze^2}{4\pi\varepsilon_0} \frac{2}{bv} = z \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0} \frac{1}{b^2} \frac{2b}{v}$$

Forza costante con $r \approx b$

$\frac{2b}{v}$: $[\ ] = T$ tempo d'urto.

Approssim. non relativistica

$$T = \frac{\Delta p^2}{2m_e} = \left(\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}\right)^2 \frac{1}{b^2} \frac{4}{v^2} \frac{z^2}{2m_e}$$

$$m_e c^2 = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0} \frac{1}{r_e} \Rightarrow r_e = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0} \frac{1}{m_e c^2}.$$

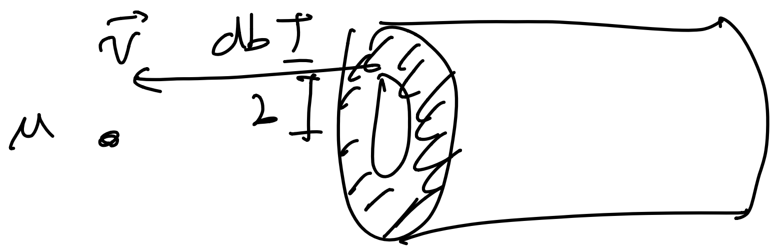
$$T = 2 m_e c^2 \frac{r_e^2}{b^2} \frac{z^2}{\beta^2} \qquad \beta = \frac{v}{c}$$

Relazione tra b (param. d'impatto) e T energia trasferita

T : en. trasf. all'elettrone $\equiv -\Delta E$ proiettile

$$b^2 = 2 m_e c^2 r_e^2 \frac{z^2}{\beta^2} \frac{1}{T}$$

Significato geom. della sezione d'urto.



$$d\sigma = 2\pi b \cdot db$$

$$2|b\,db| = 2 m_e c^2 r_e^2 \frac{z^2}{\beta^2} \frac{1}{T^2} dT$$

$$d\sigma = 2\pi m_e c^2 r_e^2 \frac{z^2}{\beta^2} \frac{1}{T^2} dT .$$

$$\frac{d\sigma}{dT} \propto \frac{1}{T^2}$$

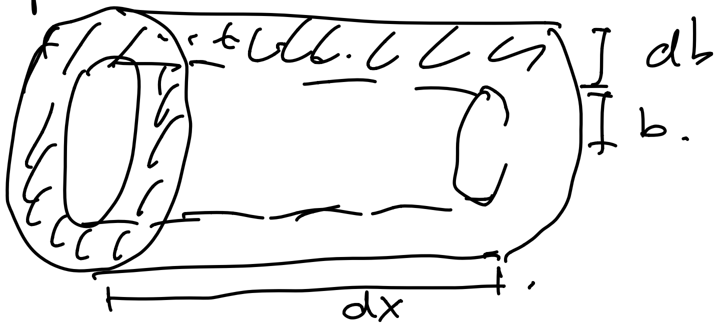
Sono rari urti con T molto grandi.

Più probabili urti con T piccolo.

$$T \propto \frac{1}{b^2}$$

$\overline{\Delta E} \equiv T$: energia media persa nel singolo urto.

Calcolo energia persa totale.



$$\Delta E_{tot} = \overline{\Delta E} \cdot N_{urti}$$

$$N_{urti} = 2\pi b \cdot db \cdot n_e \, dx$$

$$dE = \Delta E_{tot} = n_e 2\pi b \cdot \overline{\Delta E} \, db \, dx$$

$$\frac{d^2 E}{db \, dx} = 2\pi n_e b \, \overline{\Delta E}$$

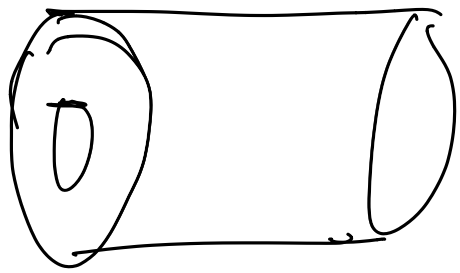
$$= \underbrace{4\pi m_e c^2 r_e^2 n_e \frac{z^2}{\beta^2}}_{A} \frac{1}{b}$$

$$\frac{dE}{dx} = \int_{b_{min}}^{b_{max}} \frac{d^2 E}{db \, dx} = A \ln \frac{b_{max}}{b_{min}}$$

Stimare

b_{max}

b_{min}



$$\frac{dE}{dx} \propto \frac{z^2}{\beta^2} \ln \frac{b_{max}}{b_{min}}$$