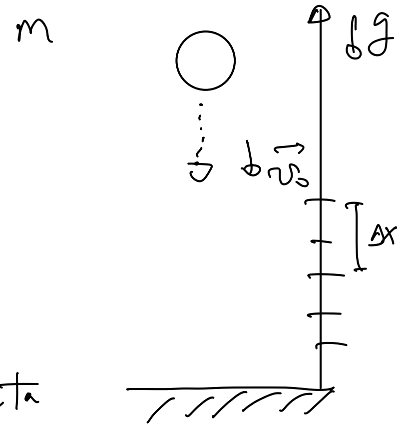
EM: $\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) = m\vec{a}$

thomson: $\frac{q}{m}$ si misura per elettrone $\qquad \frac{q}{m} = 1.76 \times 10^{11}\ C \cdot kg^{-1} \qquad q<0$

disaccoppiare le misure di q da m.



Esperimento di Millikan

si vuole misurare q $\qquad$ gocce di olio nebulizzato

$\vec{F} = mg - 6\pi\eta r v_0$ $\qquad$ η: coeff. di viscosità

v_0: v limite di caduta

F=0 si ha per velocità limite $\qquad v_0 = \frac{\Delta x}{\Delta t}$

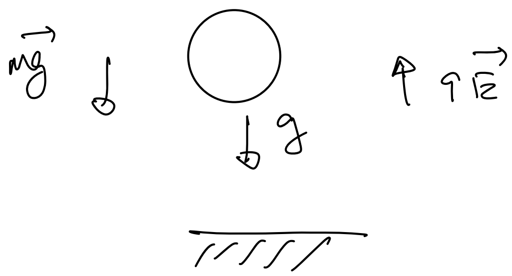
$\Rightarrow \quad mg = 6\pi\eta r v_0 \quad \Rightarrow$ raggio della sfera

$$r = \frac{mg}{6\pi\eta}\frac{1}{v_0} \qquad m = \frac{4\pi}{3} r^3 \rho$$

$$\cancel{r} = \frac{g}{6\pi\eta}\frac{1}{v_0}\,\rho\,\frac{4\pi}{3}\,r^{\cancel{3}\,2}$$

$$\Rightarrow \quad r^2 = \frac{\overset{3}{\cancel{6\pi}}\eta}{g}\,\frac{v_0}{\rho}\,\frac{3}{\underset{2}{\cancel{4\pi}}} \quad \Rightarrow \quad r \propto \sqrt{\frac{\eta v_0}{\rho}}$$

Accendo Campo Elettrico esterno $\vec{E}$



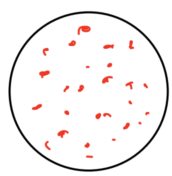
$F = mg - 6\pi\eta r v_1 - qE = \emptyset$

si muove con velocità limite v_1

$qE = mg - 6\pi\eta r v_1 = 6\pi\eta r (v_0 - v_1)$

E: conosco $\qquad v_0, v_1$: si misurano. $\qquad r = \sqrt{\frac{9}{2}\frac{\eta v_0}{\rho g}}$

$\Rightarrow$ misura diretta di q della goccia.



$\rho = \frac{m}{V}$

per un nucleo $^{A}_{Z}N$ $\quad$ mass $\simeq A \cdot m_{nucleone}$. $\quad$ $m_n, m_p \simeq 1\,\text{GeV}$

$M_{nucleo} \simeq A \cdot \text{GeV}$ $\qquad$ $(A-Z)\, m_n + Z\, m_p$

A: massa atomica in unità di massa atomica $u_A \simeq 931\,\text{MeV}$

massa molare $M_{mol} = \dfrac{m_{SI}}{A}$

$$\rho_{mol} = \frac{\rho}{A} = \frac{m}{V}\,\frac{1}{A} = \underbrace{\frac{m}{A}}_{\#\,moli}\,\frac{1}{V}$$

\# atomi $\quad$ densità atomica $\rho_A = \dfrac{\rho}{A} N_A$ $\qquad$ $\dfrac{\#\,\text{atomi}}{\text{volume}}$

$\rho_{carica} = \dfrac{\rho}{A} N_A \cdot Z$ $\qquad$ A, Z: prop. del materiale

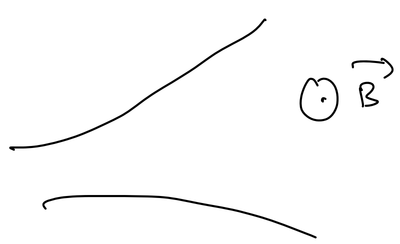
$m = \rho \cdot V$

$q_{tot} = N_{int} \times e$

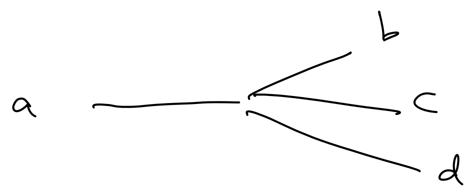
- variare materiale: ρ, η
- variare di r: raggio della sfera di olio

$e = 1.59 \times 10^{-19}\,\text{C}$ $\quad$ entro 1% con misure attuali

$\vec{F}_{Lorentz} = q\, \vec{v} \times \vec{B}$



Finora solo esperimenti di conteggio



$\underline{P_a} = \underline{P_b} + \underline{P_c} + \underline{P_d}$

Se misurate $\underline{P_b}, \underline{P_c}, \underline{P_d}$ $\quad$ (E_b, P_b) $\quad$ (E_c, P_c) $\quad$ (E_d, P_d)

$|P_a|^2 = m_a^2$

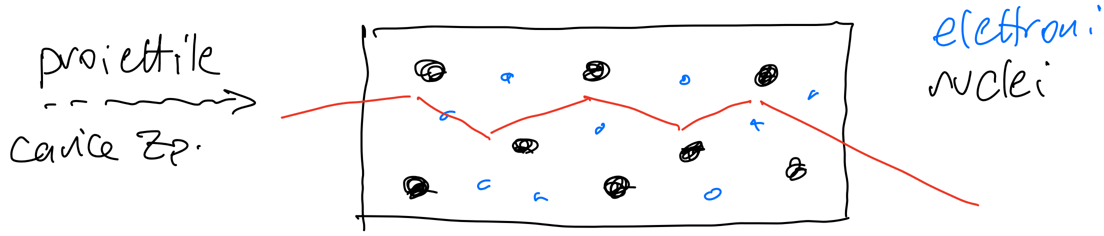
$\Rightarrow$ trovare metodo sperim. per misure di E, momento $|\vec{p}|$

Forze di Lorentz $\Rightarrow$ misure di $|\vec{p}|$

Misure di calorimetrie $\Rightarrow$ misure di E

$\Rightarrow$ Rivelatori basati sull'interazione fra particelle e la materia di cui sono fatti i rivelatori

$\Rightarrow$ Si basano solo su interazione EM



Interazione con Nuclei

$m_N \simeq A \cdot M_{nucleo} \simeq A \cdot$ GeV

$m_N >> M_{proiettile}$

proiettili: e^- 0.511 MeV

p 1 GeV

μ 106 MeV

π 140 MeV

α 3.7 GeV

Nessuna perdita di energia

solo $|\Delta\vec{p}|$ variazione di direzione dell'impulso,

urto elastico $|\vec{P}_{in}| \simeq |\vec{P}_{out}|$

Multiple scattering di Coulomb

Interazione con gli e^- in materia

$m_e \simeq 0.511$ MeV $\quad E_e \simeq 10$ eV & e^- più energetici

I en. ionizzazione media

urto contro e^- atomici $\Rightarrow$ ionizzazione

e^- del mezzo acquiste energia > en. legame

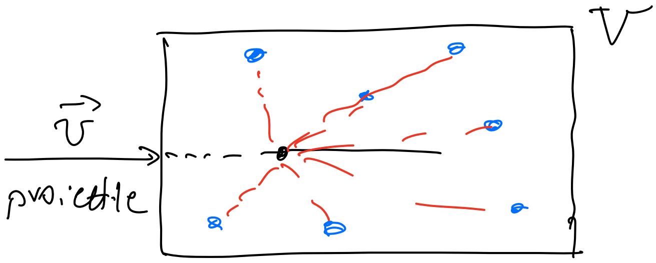
$$n_e = \frac{N_e}{V} = \frac{\rho}{A} N_A \cdot Z$$

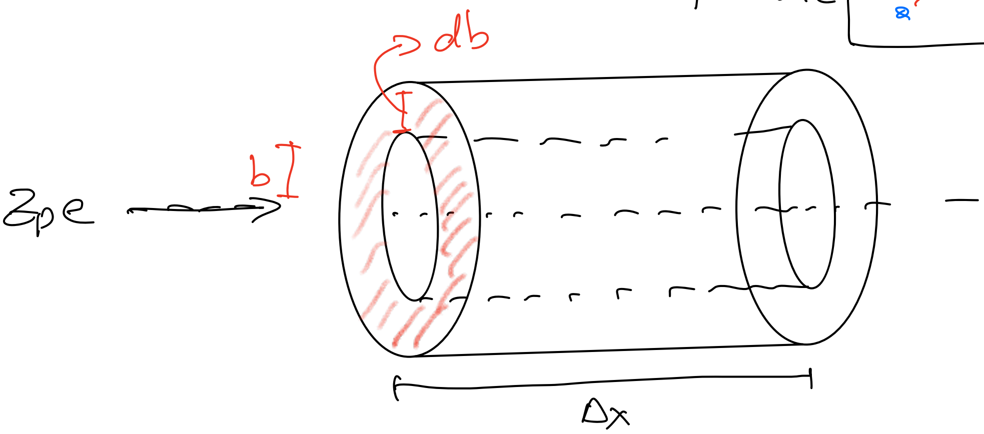
$$\Delta E_{proiettile} = \underbrace{-}_{\text{perdite di energia del proiettile}} \overline{\Delta E} \cdot N_e = -\overline{\Delta E} \cdot n_e \, V$$

En. persa media
variazione media
di En. cin. dell' e^-

Forza di Coulomb

$$F = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{z_p \cdot e^2}{r^2}$$





Δx: lunghezza di materiale attraversato.

$$V = \underbrace{2\pi b \cdot db}_{\text{corona}} \cdot \Delta x$$

$$\Delta E = -\overline{\Delta E} \cdot 2\pi b \, db \, \Delta x \, \frac{\rho}{A} N_A \, Z$$

$$-\frac{\Delta E}{\Delta x} = \rho \frac{Z}{A} N_A \, 2\pi \, \overline{\Delta E} \, b \, db$$

Energia persa per ioniz.

Interazione con e^- $\Rightarrow$ perdite di energia di proiettile

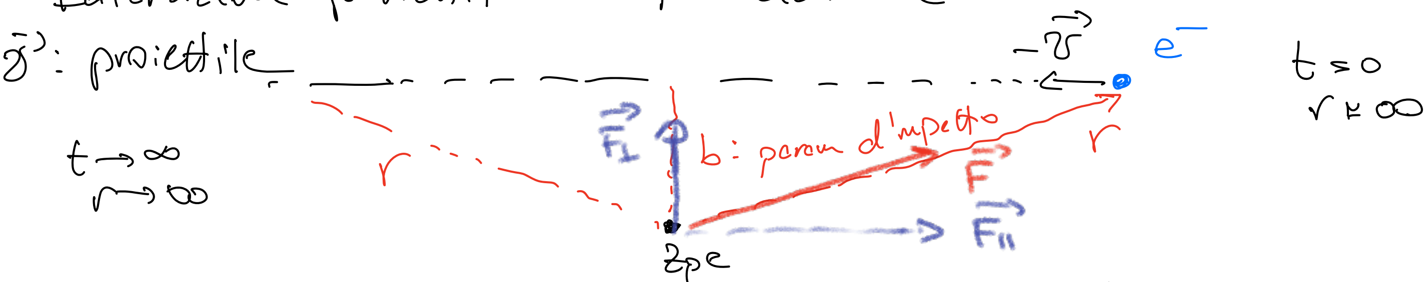
Calcolo classico: elettroni sono fermi rispetto al proiettile inizio da Fermi ⇒ completato da Bohr 1915

Conto completo tiene conto sia della mecc. quantistica

moto relativistico del proiettile.

Bethe – Bloch 1932

Interazione proiettile — singolo elettrone



Rif. solidale con proiettile

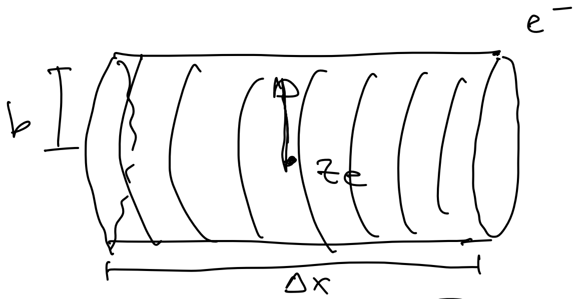
conto classico moto non relativistico $\vec{p} = m\vec{v}$

$$\Delta\vec{p} = \int_{t_{in}}^{t_{fin}} \vec{F}\cdot dt = \int_{t_{in}}^{t_{fin}} \vec{F}\,\frac{dx}{v} = \int_{t_{in}}^{t_{fin}} \vec{F}_\perp\,\frac{dx}{v} + \underbrace{\int_{t_{in}}^{t_{fin}} \vec{F}_\parallel\,\frac{dx}{v}}_{=0 \text{ per simm. tra } t\to-\infty,\ t\to+\infty}$$

$$dt = \frac{dx}{v}$$

$$\Delta\vec{p} = \int F_\perp\,\frac{dx}{v} = \int e\,E_\perp\,\frac{dx}{v}$$

$$= \frac{e}{v}\int E_\perp\,dx$$



Teorema di Gauss per calcolare $E_\perp$

$$\Phi(E) = \int \vec{E}\cdot d\vec{S} = \int_{\text{Cilindro}} E_\perp\cdot dS + \underbrace{\int_{\text{Tappi}} E_\parallel\cdot dS}_{=\emptyset}$$

$$\frac{z_p e}{\varepsilon_0} = \frac{Q}{\varepsilon_0} = E_\perp\cdot 2\pi b\cdot\Delta x$$

$$\Rightarrow E_\perp = \frac{1}{2\pi b}\,\frac{z_p\cdot e}{\Delta x}\,\frac{1}{\varepsilon_0}$$

$$\int E_\perp \cdot dx = \frac{1}{2\pi b} \frac{z_p e}{\varepsilon_0}$$

$$\Delta p = \int F_\perp dt = \frac{z_p e}{v} \int E_\perp dx = \frac{e}{v} \frac{z_p e}{2\pi b} \frac{1}{\varepsilon_0}$$

$$= \frac{(z_p \cdot e)^2}{\varepsilon_0 \, 2\pi b} \frac{1}{v}$$

$\overline{\Delta E}$ = variazione media di en. cinetica.

Nell'ipotesi moto non relativistico.

$$\overline{\Delta E} = \frac{(\overline{\Delta p})^2}{2m_e} = \underbrace{\frac{(z_p e^2)^2}{\varepsilon_0^2} \frac{1}{(2\pi b)^2} \frac{1}{v^2}}_{|\Delta p|^2} \frac{1}{2m_e}$$

$$\overline{\Delta E} \propto \frac{1}{b^2}$$

$$-\frac{\Delta E}{\Delta x} = \rho \frac{Z}{A} N_A \, 2\pi \underbrace{\overline{\Delta E} \, b \, db}_{\sim \frac{db}{b}}$$