EX PER CASA

$$p + p \rightarrow \pi^+ + n + p$$

fascio su bersaglio

poi $\quad \pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$

(a) fascio $I_p = 0.05\ mA$ $\quad$ sezione $S = 10\ cm^2$

BERSAGLIO: $A = 184 \quad Z = 74 \quad (Tg)$

$\rho = 0.0193\ kg/cm^3$

$d = 2\ cm$

⚠ METTERE IN GRAMMI!

$\rho = 19.3\ g/cm^3$

$\sigma(pp \rightarrow \pi^+ n p) = 1.5\ mb$

$\dot{N}_\pi = ?$

$$\dot{N}_\pi = \underbrace{\sigma}_{= 1.5\,mb}\ \dot{\Phi}_p\ N_b$$

$$\dot{\Phi}_p = \frac{I_p}{e S}$$

$$\left(\dot{N}_p = \frac{I_p}{e}\right)$$

$$N_b = \frac{N_A}{A} Z \cdot M =$$

"quali sono i bersagli?"

$$= \frac{N_A}{A} Z \rho V =$$

$$= \frac{N_A}{A} Z \rho\, d \cdot S$$

$$\Rightarrow \dot{N}_\pi = \sigma \frac{I_p}{e\cancel{S}} \frac{N_A}{A} z \rho d \cancel{S} =$$

La superficie si cancella (bene!)

in cm^2

DATO SUPERFLUO

$$= 1.5 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-24} \cdot \frac{0.05 \cdot 10^{-3}}{1.6 \cdot 10^{-19}} \cdot \frac{6.022 \cdot 10^{23}}{184} \cdot 74 \cdot 19.3 \cdot 2 =$$

$$= 4.38 \cdot 10^{12} \ s^{-1}$$

(b) i pioni cominciano a decadere

$$\pi^+ \to \mu^+ \nu_\mu$$

$$t_\pi = 2.6 \cdot 10^{-8} s$$

$$\beta_\pi = 0.98$$

lunghezza tunnel t.c. $I_\mu = 0.5 \mu A$

$$N_\pi(t) = N_0 e^{-t/\tau_0} \Rightarrow N_\pi(x) = N_0 e^{-x/\beta\gamma c\tau}$$

$$\Leftrightarrow \dot{N}_\pi(x) = \dot{N}_0 e^{-x/\beta\gamma c\tau}$$

$$\Leftrightarrow I_\pi(x) = I_0 e^{-x/\beta\gamma c\tau}$$

e visto che $\pi^+ \to \mu^+ \nu_\mu$

$$\Rightarrow I_\mu(x) = I_{\pi,0} - I_\pi(x)$$

ora

$$I_{\pi,0} = \dot{N}_\pi e = 4.38\cdot 10^{12}\, s^{-1} \cdot 1.6\cdot 10^{-19}\, C = 0.7\, \mu A$$ $\boxed{2}$

$\Rightarrow$ per avere $I_\mu(d) = 0.5\, \mu A$

bisogna avere $I_\pi(d) = 0.2\, \mu A$

$$\Rightarrow \quad 0.2\, \mu A = I_0 \, e^{-d/\beta\gamma c\tau}$$

$$\Rightarrow \quad d = -\beta\gamma c\tau \ln\left(\frac{0.2}{0.7}\right)$$

0.98 $\quad \gamma = \dfrac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} = 5$

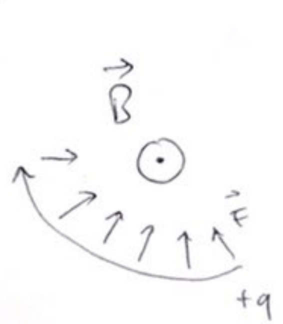
$$\Rightarrow \quad d = -0.98\cdot 5\cdot 3\cdot 10^{8}\cdot 2.6\cdot 10^{-8}\cdot 1.25 = 45\, m$$

MOTO DI PARTICELLE CARICHE IN CAMPO MAGNETICO

se c'è un campo magnetico $\vec{B}$

si ha una forza di Lorentz per modifica di

~~...~~ impulso



FORZA DI LORENTZ

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

in generale $\vec{p} = \vec{p}_\parallel + \vec{p}_\perp$ (rispetto a $\vec{B}$)

$p_\parallel$ è cost

$p_\perp \to$ FdL e moto circolare uniforme

$\Rightarrow$ moto è un'elica in 3D

Assumiamo $\vec{p} \perp \vec{B}$

$$\Rightarrow F = qvB = \frac{q}{m} pB$$

ma
$$F = ma = m\frac{v^2}{R} = \frac{p^2}{mR}$$

$$\Rightarrow \frac{p^{\cancel{2}}}{\cancel{m}R} = \frac{q}{\cancel{m}} \cancel{p} B$$

$$\Rightarrow \boxed{p = qRB}$$

ora, passando alle unità naturali

$$[p] = \frac{eV}{c} = \frac{1.6\cdot 10^{-19}\,J}{3\cdot 10^{8}\,m/s}$$

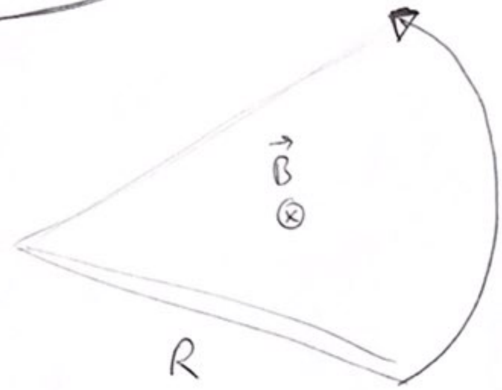
$$\Rightarrow p[eV] = 3\cdot 10^{8} \cdot q \cdot R[m] \cdot B[T]$$

(in numero intero)

$$\Leftrightarrow \boxed{p[GeV] = 0.3\cdot q RB} \longrightarrow \Rightarrow p = 0.3RB$$

per cariche unitarie

quando da una traccia di p.lle curva in $\vec{B} \neq 0$

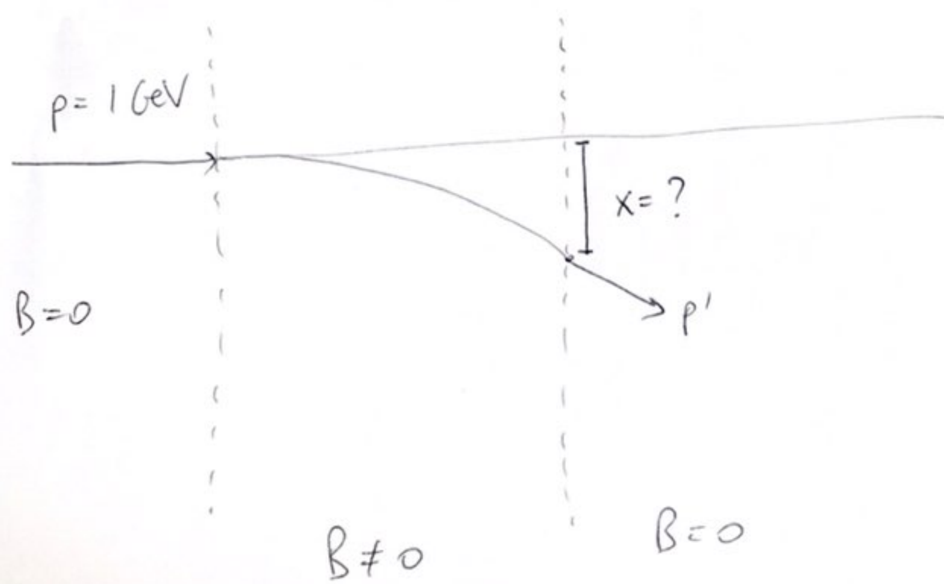


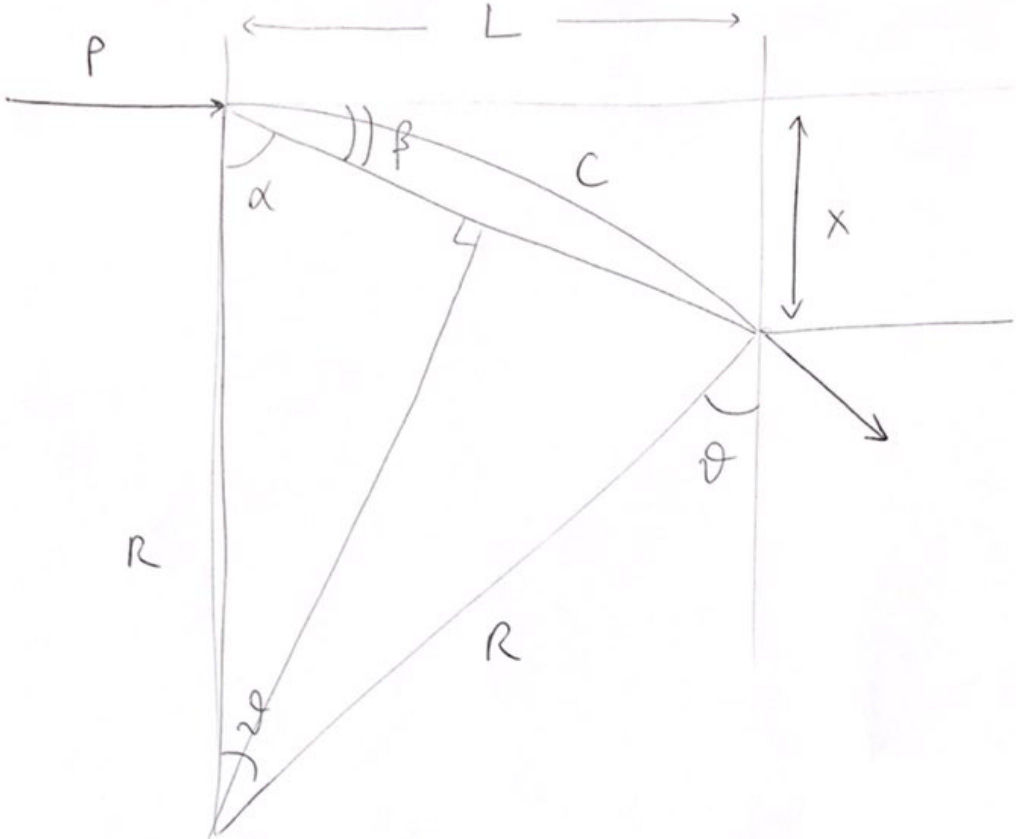
B noto

$\Rightarrow p = qRB$

q unitaria ma si ottiene segno dal <u>verso</u> di curva

$\boxed{\text{EX}}$ Una particella con $q=+1$ viaggia con $p = 1$ GeV nella direzione delle x. Entra in una regione con $B = 0.5\,T$ nella direzione z ($\vec{B} = B\hat{z}$), lunga 10 cm. Di quanto si è discostata dalla linea di volo all'uscita dal campo B?





$$\boxed{p = qRB} \rightarrow \quad p\,[\mathrm{GeV}] = 0.3 \cdot B\,[\mathrm{T}] \cdot R\,[\mathrm{m}]$$

$$\boxed{\frac{C}{R} = \vartheta} \quad \text{se } \vartheta \ll 1 \Rightarrow \quad C \sim L \Rightarrow \boxed{\frac{L}{R} = \vartheta}$$

dal triangolo $\quad \alpha = \pi - \frac{\pi}{2} - \frac{\vartheta}{2} = \frac{\pi}{2} - \frac{\vartheta}{2}$

$$\Rightarrow \beta = \frac{\pi}{2} - \alpha = \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{2} + \frac{\vartheta}{2} = \frac{\vartheta}{2}$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{x}{L} = \tan\frac{\vartheta}{2}} \quad \text{se } \vartheta \ll 1 \Rightarrow \boxed{\frac{x}{L} \sim \frac{\vartheta}{2}}$$

Dalle ultime due

$$\vartheta = \frac{L}{R} \Rightarrow \frac{x}{L} = \frac{L}{2R}$$

e dalla prima $R = \dfrac{p}{qB}$

$$\Rightarrow \frac{x}{L} = \frac{L}{2p} qB$$

$$\Leftrightarrow x = q\,\frac{BL^2}{2p} = 0.3\,\frac{B[T] \cdot L^2[m^2]}{2\,p\,[GeV]} =$$

$$= 0.3 \cdot \frac{0.5 \cdot 0.1^2}{2 \cdot 1} = 0.00075\,m$$

$$= 0.75\,mm$$

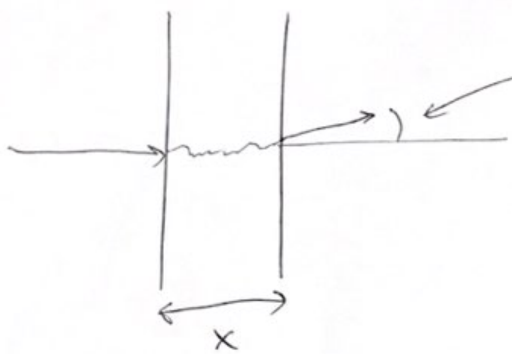
(ϑ era piccolo)

particelle cariche che passano dentro materia

→ ionizzazione

→ BREM (solo e^+/e^-)

→ diffusione elastica multipla "Coulombiana"



angolo di diffusione ϑ

$\langle \vartheta \rangle = 0$

$$\sqrt{\langle \vartheta^2 \rangle} \equiv \vartheta_{rms} \sim (21\ \text{MeV}) \cdot \frac{z}{c\beta p} \sqrt{\frac{x}{X_0}}$$

lunghezza di rad.

quella di BREM

$$E(x) = E_0\, e^{-x/X_0}$$

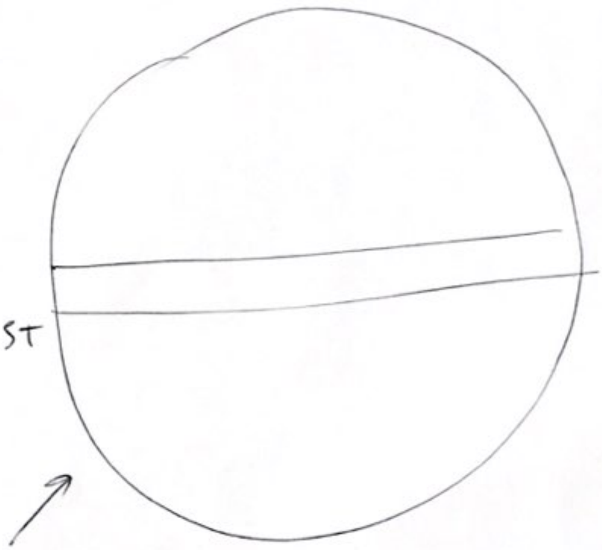
questo è angolo 3D

→ per avere angolo sul piano $\dfrac{\vartheta^{3D}_{rms}}{\sqrt{2}} = \vartheta^{2D}_{rms}$

SCOPERTA POSITRONE

1933 ANDERSON (CALTECH)

PREMESSA: TEORIA DI DIRAC



$\otimes$ $B = 1.5\,T$

6mm PIOMBO

$\rho = 11.29\ g/cm^3$

$Z = 82$

$A = 206$

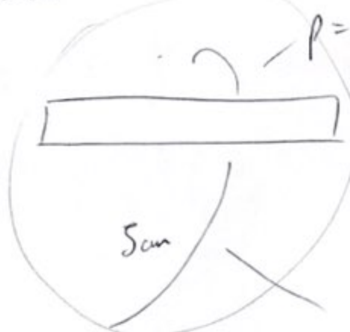
$X_0 = 0.56\ mm$

camera a nebbia. vapore sovrasaturo

tracce cariche → ionizz. → bollicine → foto

riempita di gas $\rho(gas) \sim 10^{-3}\ g/cm^3$

Cosa vedono? Traccia



$p = 23\ MeV$ da $p = qRB$

assumendo $|q| = 1$

$p = 63\ MeV$

4 possibilità:

(1) un positrone dal basso verso l'alto

(2) un elettrone dall'alto verso il basso

(3) un protone dal basso verso l'alto

(4) un fotone che fa $\gamma \to e^+e^-$ dentro al piombo

escludiamo subito (2) perché $p^{sopra} < p^{sotto}$

Per quanto riguarda (3): se fosse protone

con $p = 63$ MeV

$$\Rightarrow E = \sqrt{\underset{\substack{\uparrow \\ 938\ \text{MeV}}}{m_p^2} + p^2} = 940 \text{ MeV}$$

$$\Rightarrow \beta = \frac{p}{E} = 0.07 \qquad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} \simeq 1$$

$$-\frac{dE}{dx} = C \rho \frac{Z}{A} \boxed{\frac{z^2}{\beta^2}} \left[\ln\left(\frac{2 m_e c^2 \boxed{\beta^2 \gamma^2}}{\langle I \rangle} \right) - \boxed{\beta^2} \right]$$

$C = 0.307 \leftarrow$ se tutto espresso in MeV/g/cm

○ = dipende da materiale

□ = dipende da particella

$\langle I \rangle \sim Z$

e valori tipici $I \sim 10$ eV per un gas

~ 100 eV per i solido

Il potere dovuto al piombo

$$\left.\frac{dE}{dx}\right|_{piombo} = 0.307 \cdot 11.29 \cdot 0.5 \frac{1}{\underline{\underline{0.07^2}}} \left[\ln\left(\frac{2 \cdot 0.5 \cdot 10^6 \cdot 0.07^2}{100}\right) - 0.07^2 \right]$$

$$\cancel{= 2252 \text{ MeV/cm}} \qquad = 1.4 \text{ GeV/cm}$$

Quindi in $d = 6\text{mm} = 0.6$ cm

dovrebbe perdere $\Delta E = \frac{dE}{dx} \cdot d = (1.4 \text{ GeV}) \cdot 0.6 =$

$= 840$ MeV

Ma $E = 940$ MeV

$\Rightarrow K = 1$ MeV $\Rightarrow$ non può uscire

MA anche nel gas

$$\left.\frac{dE}{dx}\right|_{gas} = 0.307 \cdot 10^{-3} \cdot 0.5 \frac{1}{0.07^2} \left[\ln\left(\frac{2 \cdot 0.5 \cdot 10^6 \cdot 0.07^2}{10}\right) \right]$$

$= 0.2$ MeV/cm

La traccia è 5 cm $\Rightarrow$ dovrebbe perdere 1 MeV

che è tutta l'energia cinetica che ha!

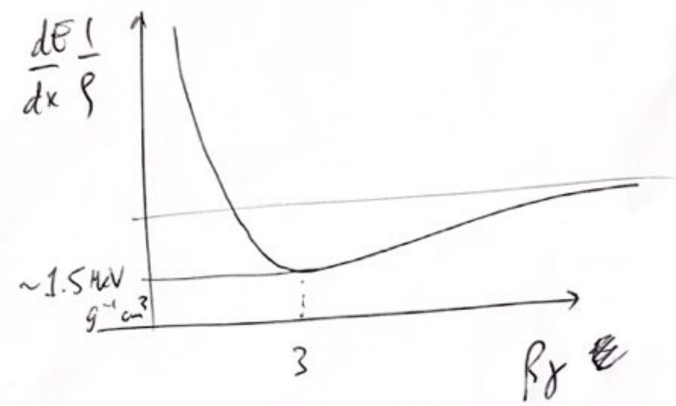
e invece no dunque si contraddice

e invece ② se fosse elettrone?

$$p = 63 \text{ MeV}$$

$$E = \sqrt{\underset{\uparrow\ 0.5\text{ MeV}}{m_e^2} + p^2} \approx p$$

$$\Rightarrow \beta \sim 1 \qquad \gamma = \frac{E}{m} \sim \frac{p}{m} = \frac{63}{0.5} \sim 126$$



$$\Rightarrow \quad \left.\frac{dE}{dx}\right|_{gas} \sim \underset{\uparrow\ 0.001}{\rho_{gas}} \cdot 1.5 \text{ MeV } g^{-1} cm^3 = 0.0015 \text{ MeV/cm}$$

in 5 cm $\Delta E \approx 0.01$ MeV
(irrilevante)

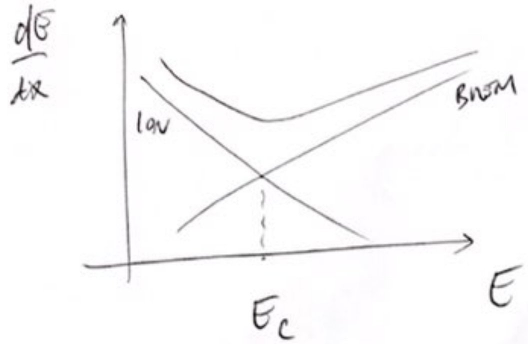
Nel piombo

$$\left.\frac{dE}{dx}\right|_{Pb} \sim \rho_{Pb} \cdot 2 \text{ MeV } g^{-1} cm^3 \sim 17 \text{ MeV/cm}$$

$\Rightarrow$ In 6 mm $\Delta E \approx 10$ MeV

Però! elettroni/positroni perdono anche E per BREM. $\boxed{12}$

$$E(x) = E_0\, e^{-x/X_0}$$



$$E_c \sim \frac{600\ \text{MeV}}{Z} \quad \text{quindi per piombo} \quad E_c \sim \frac{600\ \text{MeV}}{82} = 7\ \text{MeV}$$

$$E(e) = 63\ \text{MeV} > E_c$$

$$\Rightarrow \cancel{\left.\frac{dE}{dx}\right|_{tot} = \left.\frac{dE}{dx}\right|_{ion} + \left.\frac{dE}{dx}\right|_{rad}}$$

$$\Rightarrow \Delta E = \Delta E_{ion} + \Delta E_{rad} = \left.\frac{dE}{dx}\right|_{ion} \cdot d + \Delta E_{rad}$$

$$\Delta E_{rad} = E_0\left(1 - e^{-d/X_0}\right)$$

$$= 63\ \text{MeV}\left(1 - e^{-0.6/0.56}\right) \sim 41\ \text{MeV}$$

$\Rightarrow \Delta E_{tot} \sim 50$ MeV e loro osservano $63 - 23 \sim 40$ MeV $\boxed{\text{CI STA}}$