particelle

$q \neq 0$

- ionizzazione
- irraggiamento
- Cherenkov
- scattering multiplo

fotone

- effetto fotoelettrico
- compton
- produzione di coppie

$\gamma + N \rightarrow N + e^{+} + e^{-}$

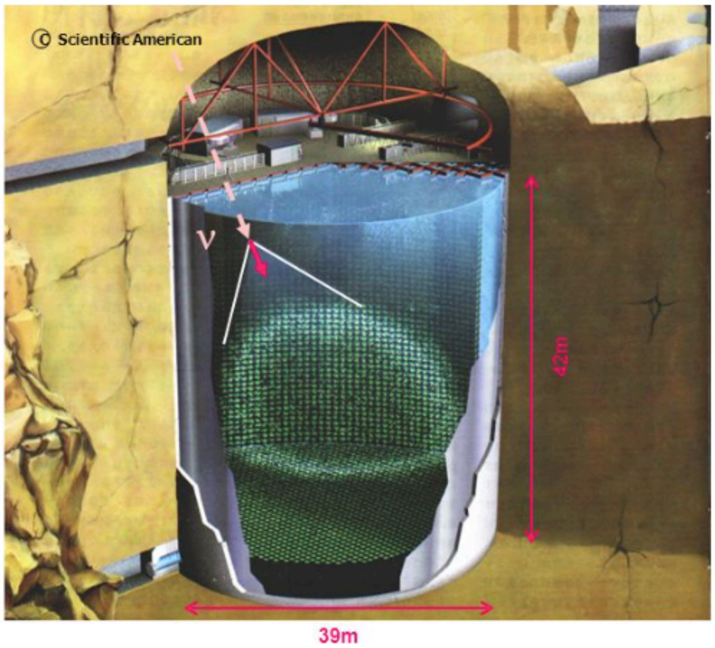
adrone

- interazioni adroniche

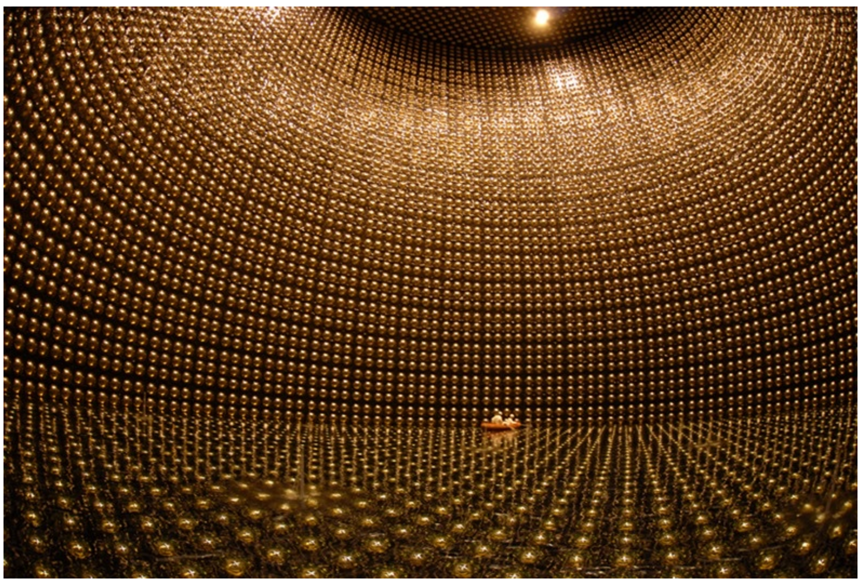
CHERENKOV

$$\cos \theta_c = \frac{1}{\beta n}$$

n del MEZZO

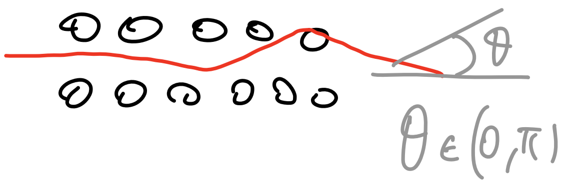


$\nu + e \to \nu + e$

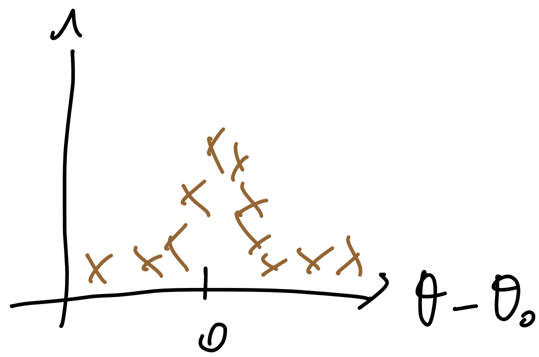


SCATTERING MULTIPLO

$$\underbrace{\frac{d\sigma}{d\Omega}}_{\substack{\text{SINGOLO}\\ \text{SCATTERING}\\ \text{RUTHERFORD}}} \propto \frac{1}{\sin^4\frac{\theta}{2}}$$



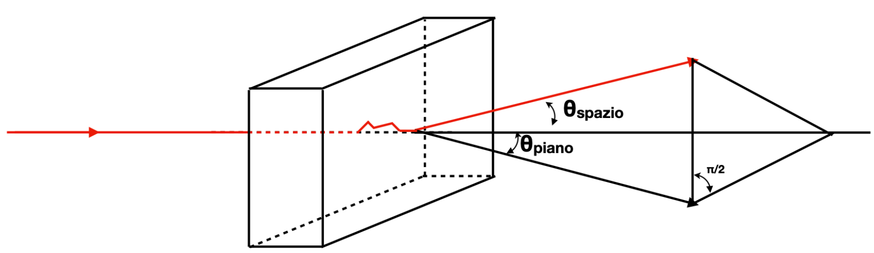
$$\langle\theta\rangle = 0$$

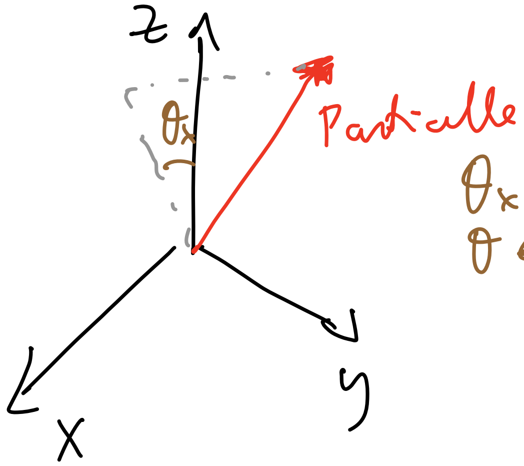


$$\theta_{spazio} = \sqrt{\langle\theta^2\rangle} = Z\,\frac{21\ \text{MeV}}{\beta c|p|}\sqrt{\frac{X}{X_0}}$$

MATERIALE

PARTICELLA





$\theta_x \in [-\pi, \pi]$

$\theta \in [0, \pi]$

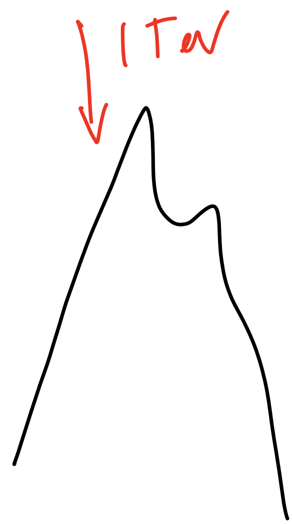
$\theta_x = \theta$ sul piano xz

$$\sqrt{\langle \theta^2 \rangle_x} = \sqrt{\langle \theta^2 \rangle_y} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\langle \theta^2 \rangle_{spazio}}$$

$$\sqrt{\langle \theta_x^2 \rangle} = \sqrt{\langle \theta_y^2 \rangle} = z \, \frac{13.6 \text{ MeV}}{\beta c |p|} \sqrt{\frac{x}{X_0}}$$

Un muone di 1 TeV di energia incide verticalmente su una montagna.

1. Quanta energia perde dopo il primo cm di roccia attraversata?



$E = 1$ TeV

$E \ll E_c^{(\mu)}$

PER IPOTESI

$\rho \sim 3 \text{ g/cm}^3$

$Z/A = 1/2$

$\langle I \rangle = 200$ eV

$T = E - m_\mu = 1 \text{ TeV} - 105.6 \text{ MeV}$

$$\Delta E \simeq \underbrace{\Delta x}_{1\,cm} \cdot \frac{dE}{dx} = \Delta x \cdot \underbrace{C}_{\substack{0.307 \\ MeV/g\,cm^2}} \cdot \rho \left(\frac{Z}{A}\right) \cdot \left(\frac{z}{\beta}\right)^2$$

$$\left[\ln \frac{2 m_e c^2 (\beta\gamma)^2}{\langle I \rangle} - \beta^2\right]$$

$\beta\gamma = \frac{p}{m} \sim \frac{1\,TeV}{105.6\,MeV} \sim 9500$

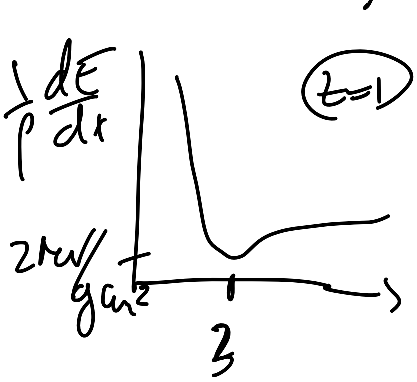
$$= 1\,cm \cdot 0.307\,MeV/g\,cm^2 \cdot 3\,g/cm^3 \left(\frac{1}{2}\right) \cdot \left(\frac{1}{1}\right)^2$$

$$\times \left[\ln \frac{2 \cdot 511\,keV \cdot (9500)^2}{200\,eV} - 1^2\right]$$

$$\simeq 12\,MeV$$

2. Quanto deve essere spessa la montagna per fermare il muone? (rispondere in maniera approssimata)

Se il μ è MIP



(scala log-log)

APPROX ROZZA

$$\frac{dE}{dx} \sim \rho \cdot 2\,MeV/g\,cm^2 = 6\,MeV/cm$$

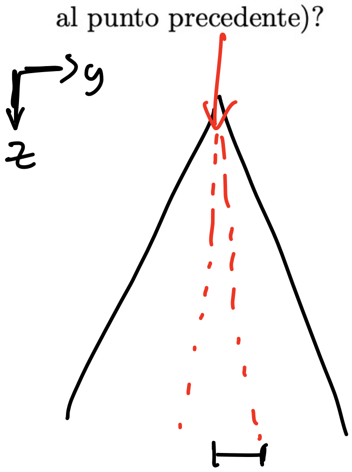
$\boxed{\text{APPROX MENO ROZZA}}$

$$\frac{dE}{dx} \sim \left.\frac{dE}{dx}\right|_{\beta\gamma=3} = \rho C \frac{Z}{A}\left(\frac{z}{\beta}\right)^2\left(\log\left(\frac{2m_ec^2(3)^2}{\langle I\rangle}\right) - \beta^2\right)$$

fingiamo che $\frac{dE}{dx} \sim 6$ MeV/cm

$$\Delta x\Big|_{\text{per fermarlo}} \sim 1600 \text{ m}$$

3. Quanto si allarga il fascio di muoni che incide verticalmente sulla montagna (dello spessore identificato al punto precedente)?



$$\langle\theta_y^2\rangle = z \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{21 \text{ MeV}}{\beta c|p|} \cdot \sqrt{\frac{X}{X_0}}$$

$$\tilde{X}_0 = 25 \text{ g/cm}^2$$

$$\rho = 3 \text{ g/cm}^3$$

$$X_0 = \frac{\tilde{X}_0}{\rho} = \frac{25 \text{ g/cm}^2}{3 \text{ g/cm}^3}$$

$$\simeq 8.5 \text{ cm}$$

$$\beta = \frac{p}{E} \sim \frac{1\,\text{TeV}}{1\,\text{TeV}} \simeq 1$$

$$p \sim 1\,\text{TeV}$$

$$\sqrt{\langle \theta_y^2 \rangle} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 1 \cdot \frac{21\,\text{MeV}}{1 \cdot (1\,\text{TeV})} \cdot \sqrt{\frac{h}{X_0}}$$

$$h = 1600\,\text{m}$$

$$X_0 \simeq 8.5\,\text{cm}$$

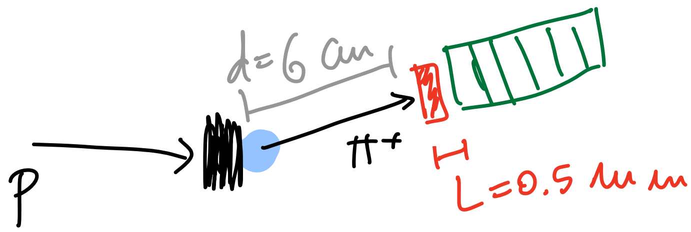
$$\sqrt{\langle \theta_y^2 \rangle} \simeq 2.1\,\text{mrad}$$

$$\sqrt{\langle y^2 \rangle} = h \tan \sqrt{\langle \theta_y^2 \rangle}$$

$$\simeq 1600\,\text{m} \cdot \tan 2.1\,\text{mrad}$$

$$\simeq 3.5\,\text{m}$$

Un protone interagisce con un bersaglio, producendo un pione di energia $E = 300\,\mathrm{MeV}$. Con un tracciatore, posto a distanza $d = 6\,\mathrm{cm}$ dal bersaglio, è possibile rivelare la traiettoria del pione e risalire al punto di produzione del pione sul bersaglio. Determinare l'errore sulla misura della posizione di tale punto, causato dalla presenza di un piano di alluminio di spessore $L = 0.5\,\mathrm{mm}$, posto immediatamente davanti al tracciatore (quindi a distanza d dal bersaglio), nell'ipotesi che gli angoli delle tracce rispetto alla normale alle superfici del bersaglio e del piano di alluminio siano piccoli. [$m_\pi = 139.6\,\mathrm{MeV}$; Al: ($Z = 13$, $A = 27$, $\rho = 2.7\,\mathrm{g/cm^3}$)]



$$\beta_\pi = \frac{p}{E} = \frac{\sqrt{300^2-140^2}}{300\,\mathrm{MeV}} \simeq 0.885$$

$$\sqrt{\langle\theta^2\rangle} = z \cdot \frac{21\,\mathrm{MeV}}{\beta_\pi \cdot p} \cdot \sqrt{\frac{L}{X_0}}$$

$$p = \sqrt{E^2 - m^2} \simeq 266\,\mathrm{MeV}$$

$$\tilde{X}_0 = 24\,\mathrm{g/cm^2} \qquad \rho = 2.7\,\mathrm{g/cm^2}$$

$$X_0 = \frac{24\,\mathrm{g/cm^2}}{2.7\,\mathrm{g/cm^3}} \simeq 8.9\,\mathrm{cm}$$

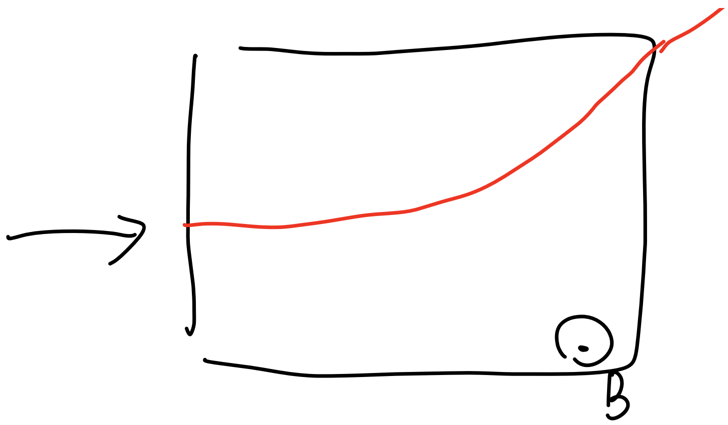
$$\sqrt{\langle\theta^2\rangle} \simeq 1 \cdot \frac{21\,\mathrm{MeV}}{0.885 \cdot 266\,\mathrm{MeV}} \cdot \sqrt{\frac{0.5\,\mathrm{mm}}{8.9\,\mathrm{cm}}}$$

$$\simeq 0.0667$$

$$\Delta x = d \cdot \tan\left(\frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 0.0667\right)$$

$$\simeq 6\,\mathrm{cm} \cdot \tan(\dots)$$

$$\simeq 0.3\,\mathrm{mm}$$

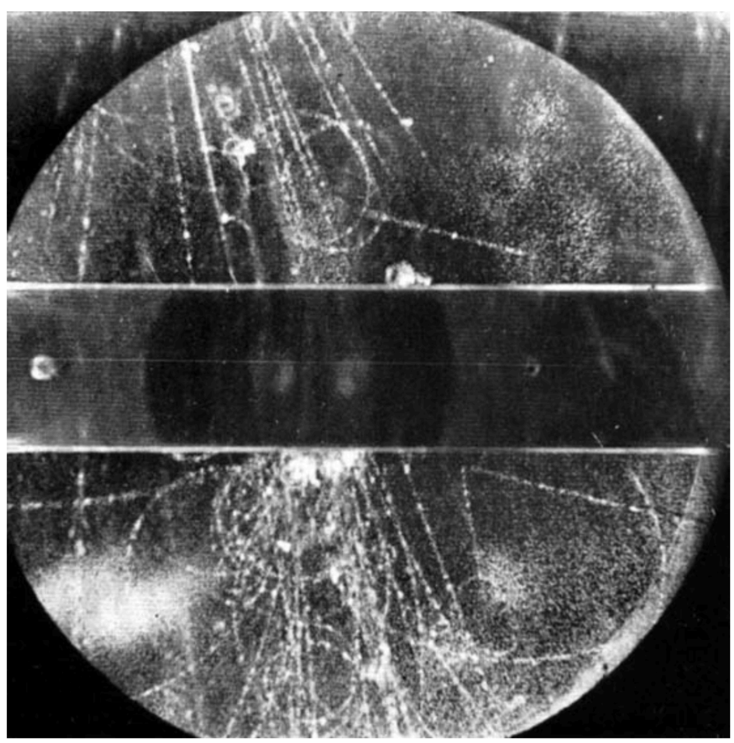


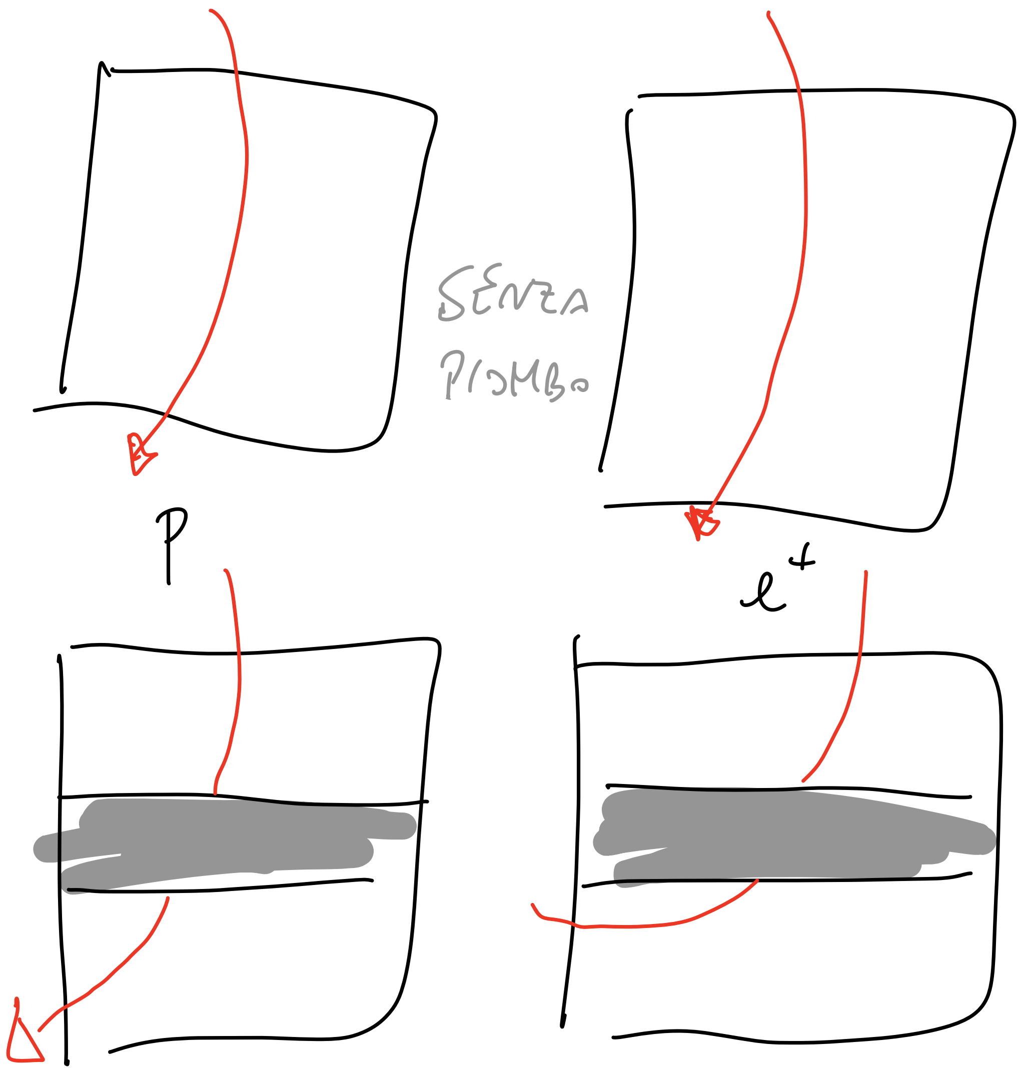
$z = ?$

<0	>0	0
	~TUTTI	NESSUNO

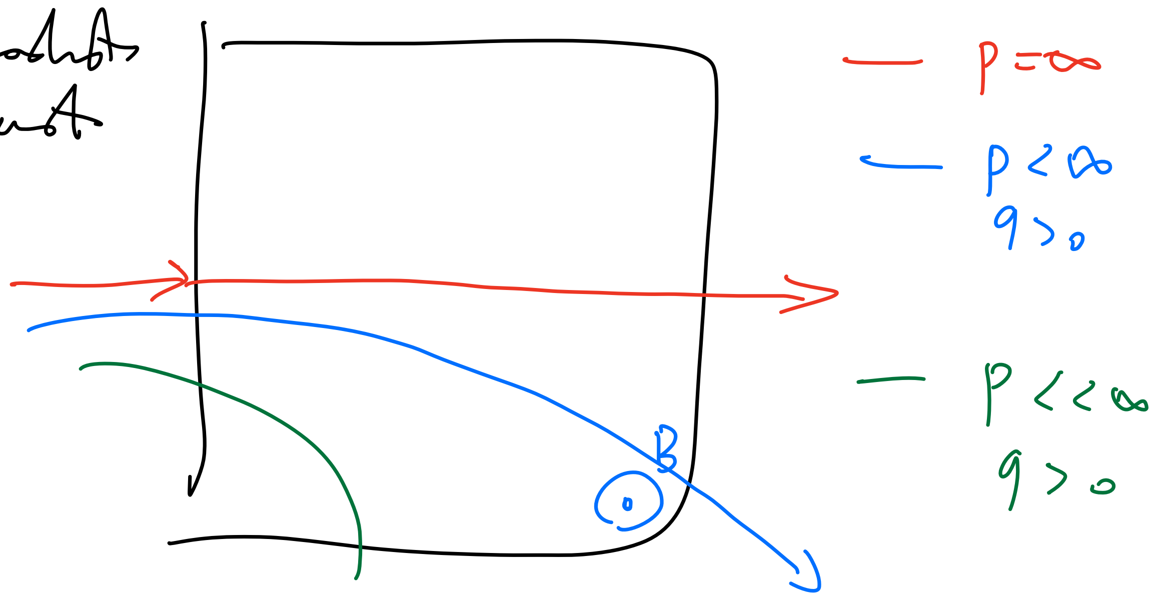
$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

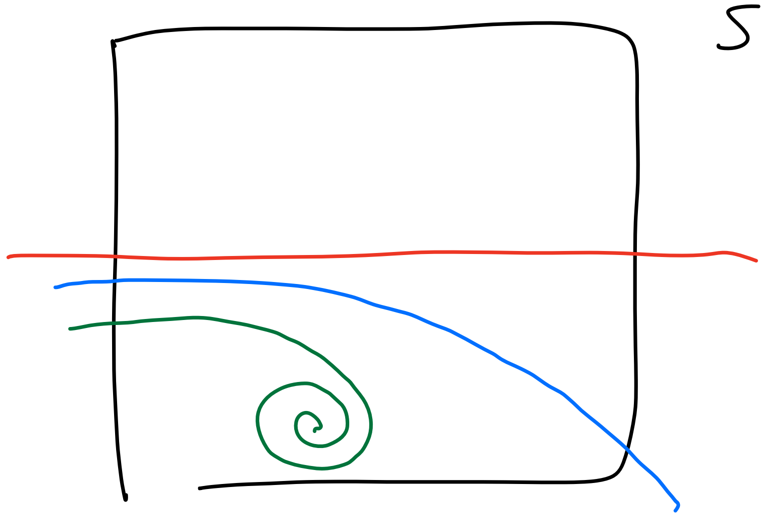
$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$





il quadrato
è vuoto





Se non c'è il vuoto (cioè c'è un materiali