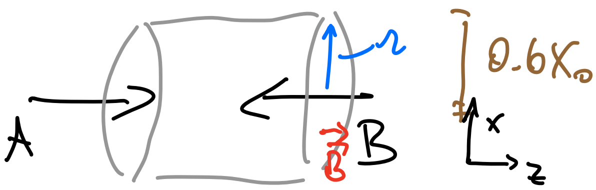
## Esercizio 29 Secondo esonero 2011/2012, es. A1

In una macchina a fasci incrociati, sono prodotti elettroni e muoni i cui impulsi vengono misurati in una camera tracciante, con simmetria cilindrica intorno alla direzione dei fasci, di raggio $r = 1.6\,\mathrm{m}$, immersa in un campo magnetico $B = 1.2\,\mathrm{T}$ parallelo alla direzione dei fasci. Il materiale dei rivelatori della camera ha uno spessore totale di 0.6 lunghezze di radiazione, che si può considerare uniformemente distribuito tra la zona di interazione e la superficie esterna del cilindro. Trascurando le perdite per ionizzazione e la radiazione di sincrotrone:

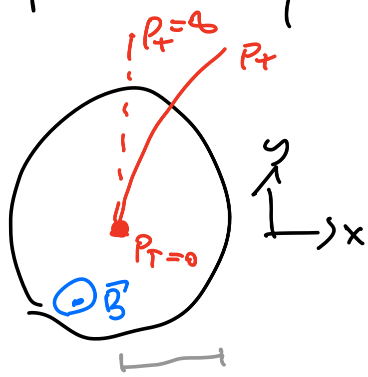
1. si calcoli il minimo valore dell'impulso trasverso (ossia la componente dell'impulso sul piano ortogonale alla direzione dei fasci) per il quale i muoni fuoriescono dalla camera;
2. si calcoli il raggio di curvatura iniziale degli elettroni prodotti con impulso $p = 45\,\mathrm{GeV}$ sul piano ortogonale alla direzione dei fasci, e quello all'uscita dalla camera.

(1)




$$A + B \to e^- + X$$
$$A + B \to \mu^- + X$$

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




$|\vec{B}| = 1.2\,\mathrm{T}$  $r = 1.6\,\mathrm{m}$

la particella $\mu^-$ esce dalla camera $\iff R \geq r/2$

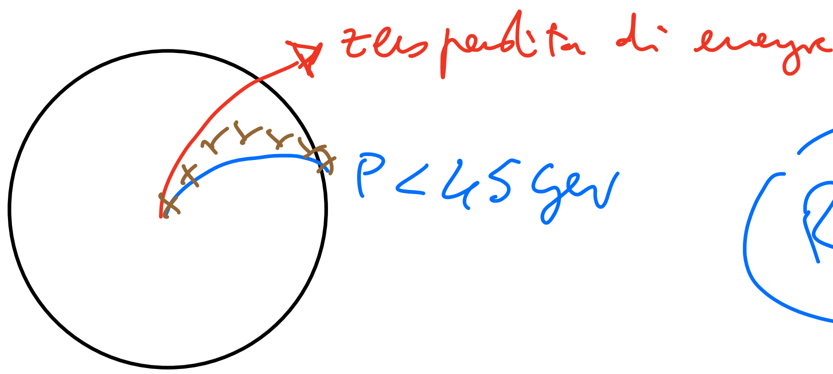
TRASVERSO A $\vec{B}$

$$\vec{P} = z \cdot 0.3\,B \cdot R$$
$$(\mathrm{GeV}/c) \qquad (\mathrm{T})\ (\mathrm{m})$$

$$\vec{P}_{\text{PER USCIRE}} = 1 \cdot 0.3 \cdot 1.2\,\mathrm{T} \cdot 1.6\,\mathrm{m}/2$$

$\simeq 288$ MeV

(2) $\vec{P}_e = 45$ GeV




$R_2 = ?$

- $e^-$ parte da $E_1 \equiv P_1 = 45$ GeV
- perde E per irraggiamento

$$E_2 = E_1 \cdot e^{-\frac{x}{X_0}} \qquad x \equiv 0.6 X_0$$

$$= E_1 \cdot e^{-0.6} = 24.7 \text{ GeV}$$

- $P_2 = z\, 0.3 \cdot B \cdot R_2$

$$= 0.3 \cdot 1.2T \cdot R_2 \overset{m_e \sim 0}{=} E_2$$

$$R_2 = \frac{E_2}{0.3 \cdot 1.2T} = \frac{24.7}{0.3 \cdot 1.2} \simeq 68.6 \text{ m}$$

$$R_1 = \frac{E_1}{0.3 \cdot 1.2\,T} = 125\,m$$

Cherenkov: $\frac{1}{\beta n}$ è $\leq 1$?

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

Ipotizziamo che del bosone $Z$, di massa $M_Z = 91.188(2)\,\mathrm{GeV/c^2}$ e vita media $\tau_Z = 2.64 \times 10^{-25}\,\mathrm{s}$, abbiamo misurato le larghezze dei due modi di decadimento visibili: decadimento in adroni, $\Gamma_h = 1744\,\mathrm{MeV}$; decadimento in leptoni, $\Gamma_l = 84\,\mathrm{MeV}$. Una nuova misura dà come risultato indiretto per i modi di decadimento invisibili (neutrini o altro) $\Gamma_{\mathrm{inv}} = 900\,\mathrm{MeV}$.

1. Calcolare il valore della larghezza totale $\Gamma$ dello $Z$;
2. dire se la nuova misura è compatibile con i risultati precedenti e perché;
3. dire quanto è grande la incertezza intrinseca, definita come larghezza a mezza altezza, sul valore della massa dello $Z$.

$Z$ $\quad m_Z \sim 90\,\mathrm{GeV}$

$\tau_Z \simeq 2.6 \cdot 10^{-25}\,s$

- $Z \to X + X'$ $\quad (Z \to q + \bar{q})$

$\Gamma_H = \Gamma(Z \to q\bar{q}) = 1744\,\mathrm{MeV}$

- $Z \to l + l'$ $\quad (Z \to e^+ + e^-)$ $\quad (Z \to \mu^+ + \mu^-)$

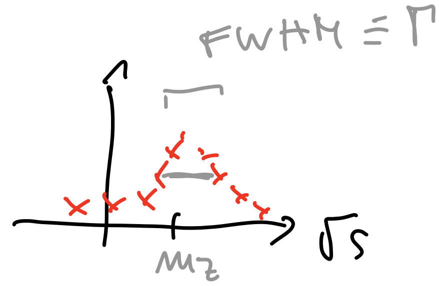
$\Gamma_l = 84\,\mathrm{MeV}$

• $Z \to$ altri

$\Gamma_{inv} = 900\ \text{MeV}$

$$\tau \longleftrightarrow \Gamma$$

$$\Gamma = \frac{\hbar}{\tau}$$




$$e^+ + e^- \to Z \to e^+ + e^-$$

$$Z \to ?$$

$Z \to q + \bar{q}$    $i=0$

$Z \to l^+ + l^-$    $i=1$

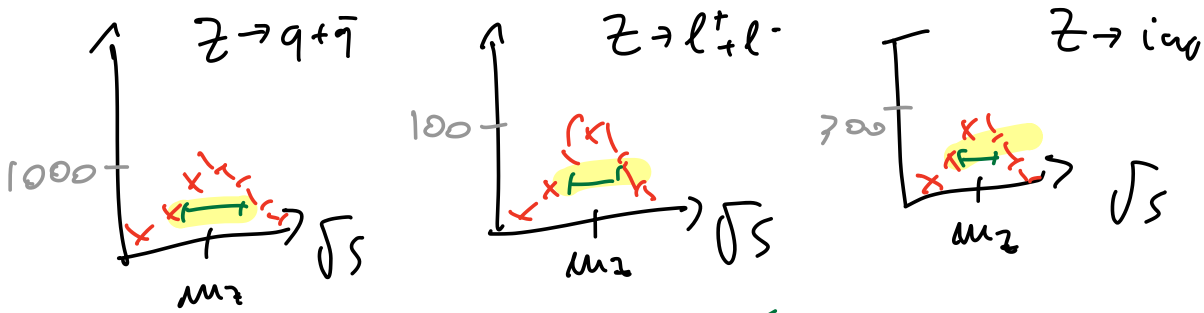
$Z \to$ invisible    $i=2$

$$BR_i \equiv \frac{\Gamma_i}{\Gamma}$$

$$\Gamma_{MIS} = \sum \Gamma_i = 1744\ \text{MeV} + 84\ \text{MeV} + 900\ \text{MeV}$$

$$= 2728\ \text{MeV}$$

$e^+ + e^- \to Z$
$\to$ qualcos




$$\vdash\!\dashv = \Gamma \quad (\equiv \Gamma_{Tot})$$

torna con $\tau$?

$$\tau = 2.6 \cdot 10^{-25}\,s$$

$$\Gamma = \frac{\hbar}{\tau} = \frac{\hbar c}{\tau c}$$

$$= \frac{197\ \text{MeV}\cdot\text{fm}}{2.6\cdot 10^{-25}\,s \cdot 3\cdot 10^{8}\,m/s}$$

$$= \frac{197\ \text{MeV}\cdot 10^{-15}\,m}{2.6\cdot 10^{-25}\,s \cdot 3\cdot 10^{8}\,m/s}$$

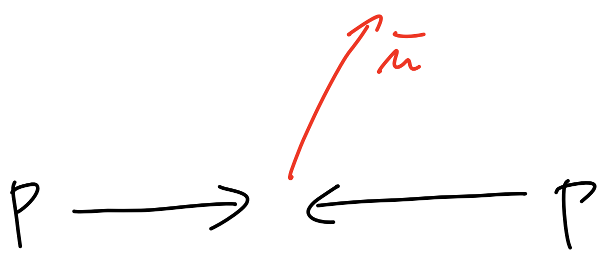
$\simeq 2480$ MeV

# INTERAZIONI

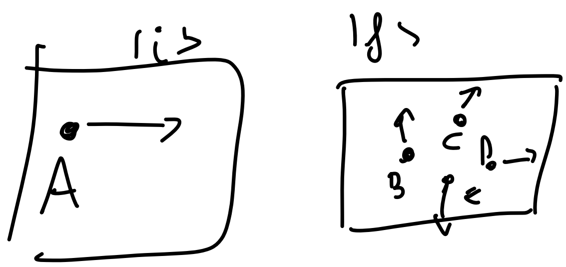
Come posso produrre $\bar{\mu}$

$H$

$\chi$




reazioni




decadimento

ES $\quad p \to \mu + e^+$

NO $\quad \sqrt{s}$ non si conserva

ES $\quad n \to p + e^+$

NO $\quad Q$ non si conserva

ES $\quad n \to p + e^-$

$L_e = 0 \qquad = 0 \qquad = +1$

$L_\mu = 0 \qquad = 0 \qquad = 0$

$L_\tau = 0 \qquad = 0 \qquad = 0$

NO $\quad s = 1/2 \quad = J_i$

$J_f: \quad \begin{matrix} 1/2 \\ 1/2 \end{matrix} \to J_f \in [0, 1]$

NO $\quad$ numero leptonico $L_e$

$\begin{pmatrix} e^- \\ \nu_e \end{pmatrix} : L_e \equiv +1$

$L_e^{(i)} \equiv L_e^{(f)}$

$\begin{pmatrix} e^+ \\ \bar{\nu}_e \end{pmatrix} : L_e = -1$

$L_e$ è ADDITIVO

e analogamente $L_\mu$, $L_\tau$

esempio $L_\mu = 1$ per $\mu, \nu_\mu$

$L_\mu = -1$ per $\mu^+, \bar{\nu}_\mu$

ES $\mu \to p + e^- + \bar{\nu}_e$

SI

$\sqrt{s}$ ok

$Q$ ok

$L_e$ ok

$L_e^{(i)} = 0$

$L_e^{(f)} = 0 + 1 + (-1) = 0$

BOSONI

mediatori delle interazioni

$\gamma$ : solo EM

$Z$ : solo DEBOLE

$W^+$ : sia DEBOLE
$W^-$ : che EM

$g$ : solo FORTE

ADRONI

interagiscono anche forte

LEPTONI

$e^-, e^+, \nu_e, \bar{\nu}_e$

$\mu^-, \mu^+, \nu_\mu, \bar{\nu}_\mu$

$\tau^-, \tau^+, \nu_\tau, \bar{\nu}_\tau$

interagiscono anche debole

negli esercizio, due catture:

$$p + p \to X + Y + Z$$

questo processo avviene con $\beta \gg$ per interazione FORTE

PRINCIPI COMUNI DELLE 3 INTERAZIONI

- $\sqrt{s}$ (nei decadimenti potrei non farcela)
- CARICA
- MOM. ANGOLARE TOTALE
- I TRE NUMERI LEPTONICI $L_e$ $L_\mu$ $L_\tau$
- IL NUMERO BARIONICO

$\to$ è associato ai barioni

$p, \bar{p}, n, \bar{n}$ ...

(sono $qqq$)

| INTERAZIONE | S (STRANEZZA) | P (PARITÀ) | C (CONIUG. DI CARICA) | T (INV. TEMPORALE) | I | $I_3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| FORTE | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| DEBOLE | $\Delta S = 0, \pm 1$ | | | | | |
| EM | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ |

P: $\vec{r} \to -\vec{r}$

C: $n \to p + e^- + \bar{\nu}_e$

$$\Downarrow$$

$\bar{n} \to \bar{p} + e^+ + \nu_e$

T: $e^+ + e^- \to \mu^+ + \mu^-$

$$\Updownarrow$$

$\mu^+ + \mu^- \to e^+ + e^-$

S: additiva

ES $e^+ + e^- \to \nu_e + \bar{\nu}_e$

SI per int. debole

↳ ci sono i neutri-

ES $e^- + \gamma \to e^- + \gamma$

↳ Solo EM!

EM

| Part. | M [MeV/c$^2$] | $I$ | $I_3$ | $J^{P(C)}$ | $B$ | $S$ | $\tau$ [s] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\pi^+$ | 139.6 | 1 | 1 | $0^-$ | 0 | 0 | 2.6 $10^{-8}$ |
| $\pi^-$ | 139.6 | 1 | -1 | $0^-$ | 0 | 0 | 2.6 $10^{-8}$ |
| $\pi^0$ | 135.0 | 1 | 0 | $0^{-+}$ | 0 | 0 | $8.4 \times 10^{-17}$ |
| $K^+$ | 493.7 | 1/2 | 1/2 | $0^-$ | 0 | 1 | 1.2 $10^{-8}$ |
| $K^-$ | 493.7 | 1/2 | -1/2 | $0^-$ | 0 | -1 | 1.2 $10^{-8}$ |
| $K^0$ | 497.6 | 1/2 | -1/2 | $0^-$ | 0 | 1 | non definita |
| $\overline{K}^0$ | 497.6 | 1/2 | 1/2 | $0^-$ | 0 | -1 | non definita |
| $p$ | 938.272 | 1/2 | 1/2 | $1/2^+$ | 1 | 0 | stabile |
| $n$ | 939.565 | 1/2 | -1/2 | $1/2^+$ | 1 | 0 | $8.79 \times 10^2$ |
| $\phi^0$ | 1019.5 | 0 | 0 | $1^{--}$ | 0 | 0 | $1.54 \times 10^{-22}$ |
| $\rho^0$ | 770 | 1 | 0 | $1^{--}$ | 0 | 0 | $4.5 \times 10^{-24}$ |
| $\rho^+$ | 770 | 1 | 1 | $1^-$ | 0 | 0 | $4.5 \times 10^{-24}$ |
| $\rho^-$ | 770 | 1 | -1 | $1^-$ | 0 | 0 | $4.5 \times 10^{-24}$ |
| $f_2^0$ | 1275.5 | 0 | 0 | $2^{++}$ | 0 | 0 | $6.76 \times 10^{-21}$ |
| $d(pn)$ | 1875.6 | 0 | 0 | $1^+$ | 2 | 0 | stabile |
| $\alpha(^4_2He)$ | 3727.4 | 0 | 0 | $0^+$ | 4 | 0 | stabile |
| $\Lambda^0$ | 1115.7 | 0 | 0 | $1/2^+$ | 1 | -1 | $2.63 \times 10^{-10}$ |
| $\Sigma^+$ | 1189.4 | 1 | 1 | $1/2^+$ | 1 | -1 | $8.01 \times 10^{-11}$ |
| $\Sigma^0$ | 1192.6 | 1 | 0 | $1/2^+$ | 1 | -1 | $7.4 \times 10^{-20}$ |
| $\Sigma^-$ | 1197.3 | 1 | -1 | $1/2^+$ | 1 | -1 | $1.48 \times 10^{-10}$ |
| $\Xi^0$ | 1314.9 | 1/2 | 1/2 | $1/2^+$ | 1 | -2 | $2.90 \times 10^{-10}$ |
| $\Xi^-$ | 1321.7 | 1/2 | -1/2 | $1/2^+$ | 1 | -2 | $1.64 \times 10^{-10}$ |
| $\Xi^{0*}$ | 1531.8 | 1/2 | 1/2 | $3/2^+$ | 1 | -2 | $7.23 \times 10^{-23}$ |

Lo $\Xi^-(1820)$ è un iperone instabile di massa $M = 1820\,\mathrm{MeV/c^2}$ e larghezza totale $\Gamma = 20\,\mathrm{MeV}$. Decade con branching ratio di circa il 45% nel canale $\Xi^-(1820) \to \Lambda K^-$, 43% nel canale $\Xi^-(1820) \to \Sigma^0 K^-$ e nel resto dei casi decade in $\Xi^-(1820) \to \Xi^0(1320)\pi^-$. Viene prodotto nella reazione $K^- + p \to \Xi^-(1820) + K^+ + \pi^0$, ma non dalla reazione $K^- + p \to \Xi^-(1820) + K^- + \pi^+ + \pi^+$. → $|\Delta S| > 1$

1. Quale è la stranezza della $\Xi^-(1820)$ ?
2. Quale è la larghezza del decadimento in $\Xi^-(1820) \to \Xi^0(1320)\pi^-$ ?
3. Il modo di decadimento $\Xi^-(1820) \to \Lambda K^-$ è forte o debole ? Spiegare perché.

nelle int. deboli $\Delta S = 0$

$+1$

$-1$