

Esame del corso di Fisica Nucleare e Subnucleare 1

AA 2015/2016

23 Giugno 2016

1. Un fascio di particelle di energia pari a $E = 1.4 \text{ GeV}$ e' prodotto dalla collisione di protoni su una targhetta fissa. Il fascio prodotto contiene protoni ed elettroni. L'identificazione delle particelle avviene attraverso l'uso del tempo di volo misurato da due scintillatori plastici distanti fra loro 10 m. Determinare:
 - (a) determinare il tempo di volo misurato dai due scintillatori per entrambe le particelle (si assuma il vuoto fra i due scintillatori);
 - (b) determinare l'energia perduta dalle due particelle nei 10 m di volo, assumendo, in questo caso, fra i due scintillatori una lastra di materiale di densità $\rho = 2.10 \text{ g cm}^{-3}$, lunghezza di radiazione $X_0 = 20 \text{ cm}$ e spessore 10 cm.
 - (c) determinare l'angolo medio di deviazione dovuto allo scattering multiplo Coulombiano per entrambe le particelle nell'attraversare lo spessore di materiale messo tra i due scintillatori.
 - (d) Proporre una metodologia alternativa alla misura del tempo di volo per l'identificazione delle due particelle, attraverso rivelatori Cherenkov.

$$m_p = 938 \text{ MeV}/c^2$$

$$\langle I \rangle = 300 \text{ eV}, \frac{Z}{A} = 0.5, m_e = 0.511 \text{ MeV}/c^2$$

Soluzione:

$$\gamma_p = \frac{E}{m_p} = \frac{1.4}{0.938} = 1.49$$

$$\beta_p = \sqrt{1 - \frac{1}{\gamma^2}} = 0.74$$

$$\gamma_e = \frac{E}{m_e} = \frac{1400}{0.511} = 2739.72$$

Per i protoni la perdita di energia avviene per ionizzazione ed è data dalla formula di Bethe e Block:

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

dove $C = 0.3 \frac{\text{MeV cm}^2}{g}$ e si considera trascurabile la correzione di densità.

$$\frac{dE}{dx} = 4.47 \frac{\text{MeV}}{\text{cm}} \text{ quindi la perdita di energia nei 10 cm: } 44.7 \text{ MeV}$$

L'energia finale del protone sarà 1.35 GeV.

Per gli elettroni, la perdita di energia avviene per Bremsstrahlung, ed è data dalla:

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

$$E(10\text{cm}) = 0.85 \text{ GeV}$$

$$\Delta E = 0.55 \text{ GeV}$$

Per calcolare il tempo di volo totale si assume:

- primo tratto 0-5 m:

$$\text{tempo di volo}_{\text{protone}} = \frac{5\text{m}}{0.74 \times 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}} = 22.5 \text{ ns}$$

- terzo tratto 4.9-10 m:

$$\beta_p = \sqrt{1 - \frac{1}{\gamma^2}} = 0.71 \quad \text{dopo scintillatore}$$

$$\text{tempo di volo}_{\text{protone}} = \frac{5\text{m}}{0.71 \times 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}} = 23.0 \text{ ns}$$

- secondo tratto 5-5.10 m (scintillassero):

$$\text{tempo di volo}_{\text{protone}} = \frac{0.1\text{m}}{0.725 \times 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}} = 0.46 \text{ ns}$$

$$\text{tempo di volo totale}_{\text{protone}} = 46 \text{ ns.}$$

Nel caso dell'elettrone il valore di β è circa 1 anche dopo lo scintillassero, si può considerare:

$$\text{tempo di volo totale}_{\text{elettrone}} = \frac{5\text{m}}{3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}} = 33 \text{ ns} \quad (\text{assunto } \beta = 1)$$

Lo scattering Coulombiano produce una variazione nell'angolo data dalla formula:

$$\langle \bar{\theta} \rangle = 21.2 \text{ MeV} \frac{z}{\text{pc}\beta} \sqrt{\frac{x}{X_0}}$$

sostituendo $z=1$ e β e p ottenute per le due particelle si ottiene:

$$\langle \bar{\theta} \rangle_{\text{protone}} = 0.019 \text{ rad}$$

$$\langle \bar{\theta} \rangle_{\text{elettrone}} = 0.010 \text{ rad}$$

Considerando la deflessione del protone:

$$R = \tan(\theta) * L \approx \theta * L \approx 9 \text{ cm}$$

Considerando la deflessione dell'elettrone:

$$R = \tan(\theta) * L \approx \theta * L \approx 5 \text{ cm}$$

Come alternativa minimale si propone un rivelatore Cherenkov avente come soglia β un valore minore di quello dell'elettrone, in modo da avere un segnale per l'elettrone ma non per il protone.

2. Stabilire quali delle reazioni e decadimenti sotto indicati sono permessi e quali sono proibiti.

- per quelli proibiti, indicare tutti i numeri quantici (o le leggi di conservazione) che sono violati;
- per quelli permessi, indicare la forza che media l'interazione.

- | | |
|----|----|
| a. | g. |
| b. | h. |
| c. | i. |
| d. | j. |
| e. | k. |
| f. | l. |

Soluzione:

- | | |
|----|----|
| a. | g. |
| b. | h. |
| c. | i. |
| d. | j. |
| e. | k. |
| f. | l. |