Prova scritta del corso di Fisica Nucleare e Subnucleare 1 - AA 2016/2017

12 Febbraio 2018

1. Un fascio di neutrini muonici che interagisce con un bersaglio di materia può produrre muoni attraverso la reazione:

$$\nu_\mu + n \to \mu^- + p$$

   a. Si determini l'energia di soglia dei neutrini per produrre la reazione su neutroni fermi.
   b. Si determini l'impulso nel laboratorio del muone e del protone prodotti da un neutrino a soglia su un neutrone fermo.
   c. Si determini la velocità del muone e quella del protone prodotti come nel punto b.
   d. Si determini l'energia che dev e avere il neutrino perché nella reazione il protone sia prodotto fermo.

Soluzione:

$$K_{soglia} = \frac{(m_\mu + m_p i)^2 - m_n^2}{2m_n} = \frac{(105.7\ MeV + 938.3\ MeV)^2 - (939.6\ MeV)^2}{2 \cdot 939.6\ MeV} = 110.2 MeV.$$

Per il neutrino vale $K = E = p$. La massa invariante a soglia sarà $\sqrt{s} = \sqrt{m_n^2 + 2E_\nu m_n} =$ 1044 MeV.

Per il centro di massa valgono $\beta_{CM} = |p_{tot}^{lab}|/E_{tot}^{lab} = 110.2\ MeV/(110.2\ MeV + 939\ MeV) = 0.1050$, $\gamma_{CM} = E_{tot}^{lab}/\sqrt{s} = (110.2\ MeV + 939.6\ MeV)/1044\ MeV = 1.0056$.

Nella produzione a soglia, $p_p^* = p_\mu^* = 0$, $E_p^* = m_p$, $E_\mu^* = m_\mu$. Nel laboratorio quindi $p_\mu = \gamma_{CM}(p_{\mu,par.}^* + \beta_{CM} E_\mu^*) = \beta_{cm}\gamma_{CM} m_\mu = 11.2$ MeV, mentre $p_p = \beta_{CM}\gamma_{CM} m_p = 99.1$ MeV.

L'impulso sarà tutto lungo la direzione dei fasci, perché l'impuso trasverso è invariante, $p_{\mu,perp.} = p_{\mu,perp.}^* = 0$. Si verifica correttamente $p_\mu + p_p = p_\nu$. Le particelle avranno velocità $\beta_p = p_p/E_p = 0.105$ e $\beta_\mu = 0.105$, si muoveranno infatti concordemente al centro di massa.

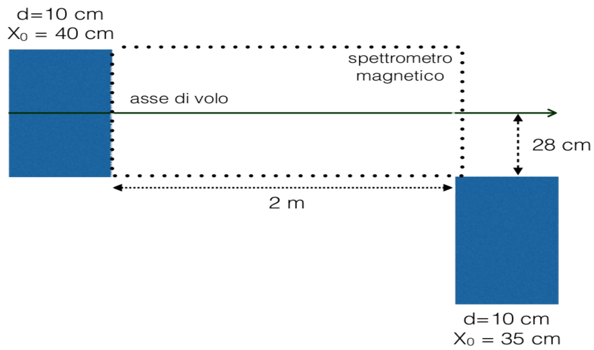
La condizione di produzione di protone a riposo nel sistema del laboratorio comporta $p_\nu = p_\mu$. La conservazione dell'energia si scrive $E_\nu + m_n = E_\mu + m_p$. Da cui $E_\mu^2 = m_\mu^2 + p_\mu^2 = m_\mu^2 + p_\nu^2 = E_\nu^2 + m_n^2 + m_p^2 + 2E_\nu m_n - 2E_\nu m_p - 2m_n m_p$. Utilizzando $p_\nu = E_\nu$ e risolvendo si trova:

$$E_\nu = \frac{m_\mu^2 - m_n^2 - m_p^2 + 2m_n m_p}{2(m_n - m_p)} = 4296\ MeV.$$

2. Un fascio di particelle, contenente positroni e protoni di impulso 5.0 GeV, attraversa due blocchi di materiale diverso di spessore d=10 cm cadauno e di lunghezza di radiazione $X_0 = 40$ cm e $X_0 = 35$ cm. Le perdite di energia per ionizzazione nei due materiali sono 2 MeV/cm per i protoni e 2.5 MeV/cm per i positroni (nel primo blocco) e 2.2 MeV/cm per i protoni e 3.0 MeV/cm per i positroni (nel secondo blocco). I due blocchi sono separati da 2 m di vuoto dove è presente un campo magnetico costante ed uniforme di 2 T (spettrometro magnetico).

   Trascurando lo scattering coulombiano, calcolare:

   a. la perdita di energia totale per i positroni e per i protoni nell'attraversare il primo blocco;



b. il raggio di curvatura e la deviazione dall'asse di volo delle due particelle all'uscita dallo spettrometro magnetico.

c. Il secondo blocco da materiale è posto ad una distanza dall'asse di volo di 28 cm, quali particelle del fascio lo attraversano? Determinare la loro energia finale.

Soluzione:

La perdita di energia per il protone è data dalla semplice perdita per ionizzazione, percui nel primo blocco si avrá:

$\Delta E = 2MeV/cm * 10cm = 20MeV$

Per il positrone oltre alla perdita per ionizzazione si avrá anche la componente dovuta al Bremsstrahlung

$\Delta E = 2.5MeV/cm * 10cm = 25MeV \quad ionizzazione$

$\Delta E = E_0(1 - e^{-x/X_0}) = 1.11GeV \quad Bremsstrahlung$

$\Delta E(totale) = 1.11 + 0.025 = 1.135GeV$

Le nuove energia saranno:

E(protone) = 5.07 GeV (5.09 - 0.020)

E(positrone) = 3.87 GeV (5-0.025 -1.11)

per il protone si è calcolata l'energia iniziale 5.09 GeV, nel caso del positrone si è trascurata la massa percui E=p.

p(protone) = 4.98 GeV

p(positrone) = 3.87 GeV

Il raggio di curvatura per le due particelle è:

$R_(positrone) = \frac{p}{0.3B} = 6.45$ m

$R_(protone) = \frac{p}{0.3B} = 8.3$ m

La deviazione dall'asse di volo per le due particelle è:

$x_(positrone) = \frac{0.3BL^2}{2p} = 31$ cm (31.8 cm senza approssimazione piccoli angoli)

$x_(protone) = \frac{0.3BL^2}{2p} = 24$ cm (24.5 cm senza approssimazione piccoli angoli)

Il secondo blocco è attraversato dai positroni. La perdita di energia nel secondo blocco è:

$\Delta E = 3.0MeV/cm * 10cm = 30MeV \quad ionizzazione$

$\Delta E = E_0(1 - e^{-x/X_0}) = 1.16 GeV$ *Bremsstrahlung*
dove E_0 è 3.87 GeV
L'energia finale dei positroni risulta essere pari a E = 2.68 GeV.

3. 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) $e^- + p \to \nu_e + n$
b) $K^- + p \to \Xi^- + K^0$
c) $\nu_\mu + n \to \mu^- + p + \pi^0$
d) $\gamma + p \to \Sigma^+ + \pi^+$
e) $\pi^+ + n \to \Lambda + K^+$
f) $\bar{p} + p \to \pi^0 + \Lambda + K^0$
g) $\Delta^+ \to p + \gamma$
h) $\Xi^0 \to \Lambda + \gamma$
i) $K^0 \to \pi^- + e^+ + \nu_e$
l) $n \to p + \nu_\mu + \bar{\nu}_\mu$
m) $\Sigma^- \to \Lambda + \pi^-$
n) $\pi^0 \to \mu^- + e^+$

Soluzione:

a) Si, debole
b) No, Q
c) Si, debole
d) No, Q, $|\Delta S| = 1$
e) Si, forte
f) No, B
g) Si, EM
h) Si, debole
i) Si, debole
l) No, Q
m) No, massa
n) No, L_μ, L_e