Esame del corso di Fisica Nucleare e Subnucleare 1 - AA 2015/2016

14 Luglio 2016

1. In un esperimento a bersaglio fisso si studia la reazione $\bar{p} + p \rightarrow \Lambda + \bar{\Lambda}$ con un fascio di antiprotoni che hanno un'energia doppia rispetto a quella di soglia, assumendo che i protoni del bersaglio siano fermi.

   1) Calcolare l'energia degli antiprotoni del fascio.
   2) Calcolare l'energia minima misurata nel laboratorio per una Λ prodotta nella reazione.
   3) Calcolare l'energia misurata nel laboratorio per una Λ prodotta a angolo massimo rispetto all'angolo del fascio.
   4) Calcolare la lunghezza media di decadimento di una Λ prodotta a angolo massimo rispetto all'angolo del fascio.

   $m_p = 938$ MeV/c^2.
   $m_\Lambda = 1116$ MeV/c^2, $c\tau_0(\Lambda)$ =7.9 cm

Soluzione:

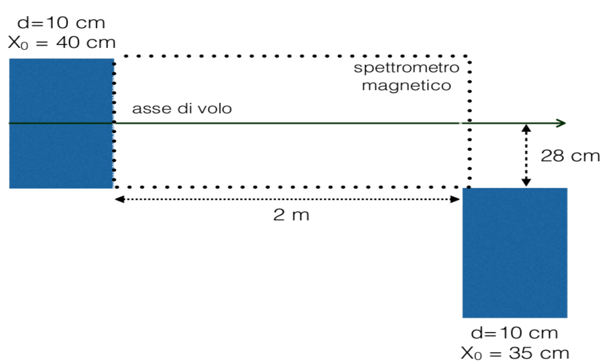
Nella soluzione si utilizzano le unitá di misura naturali.
Il protone incidente a soglia ha quadrimpulso (E_p^{th}, p_p^{th}), il bersaglio $(m_p, 0)$, il quadrimpulso totale sará $(E_p^{th} + m_p, p_p^{th})$, e l'energia del centro di massa $\sqrt{s^{th}} = \sqrt{E_p^{th,2} + m_p^2 + 2E_p^{th}m_p - p_p^{th,2}} = \sqrt{2m_p^2 + 2E_p^{th}m_p}$.
Nella condizione di produzione a soglia il quadrimpulso totale nel sistema di riferimento del centro di massa sará $(2m_\Lambda, 0)$ e quindi $\sqrt{s^{th}} = 2m_\Lambda$ =2232 MeV.
Uguagliando le due espressioni si ottiene:
$E_p^{th} = \frac{4m_\Lambda^2 - 2m_p^{th,2}}{2m_p}$.
Si pone quindi il fascio a $E_p = 2 * \frac{4m_\Lambda^2 - 2m_p^{th,2}}{2m_p} = 3435$ MeV, corrispondente a un impulso di p_p =3305 MeV e a un'energia nel centro di massa di $\sqrt{s}$ =2864 MeV.

Il centro di massa avrá $\beta_{CM} = \frac{p_{TOT}^{LAB}}{E_{TOT}^{LAB}} = \frac{p_p}{E_p + m_p}$ =0.756, $\gamma_{CM} = \frac{E_{TOT}^{LAB}}{\sqrt{s}}$ =1.527, $\beta_{CM}\gamma_{CM} = \frac{p_p}{\sqrt{s}}$ =1.154.
Nel centro di massa le Λ sono prodotte impulso p_Λ^* uguale in modulo e direzione, opposto in verso.

Varrá $P^* = (2E^*_\Lambda, 0)$ da cui $E^*_\Lambda = \sqrt{s}/2 = 1432$ MeV e conseguentemente p^*_Λ =898 MeV. Si puó calcolare direttamente il β^*_Λ =0.627 e γ^*_Λ =1.527. L'energia misurata in laboratorio si ottiene con una trasformazione di Lorentz
$E_\Lambda = \gamma_{CM}(\beta_{CM} p^* cos\theta^* + E^*)$ e sará minima per $cos\theta^* = -1$, condizione per la quale varrá E^{min}_Λ =1151 MeV.

Valendo $\beta^* < \beta^{CM}$ esiste un angolo massimo di emissione delle Λ. In tale condizione la particella ha energia
$E(\theta_{MAX}) = \frac{m_\Lambda \gamma_{CM}}{\gamma^*}$ =1328 MeV. Ció corrisponde a un $\beta_\Lambda\gamma_\Lambda = E(\theta_{MAX})/m_\Lambda$ =1.19.
La sua lunghezza di decadimento media sará
$x = v\tau = c\beta_\Lambda\gamma_\Lambda\tau_0 = \beta_\Lambda\gamma_\Lambda c\tau_0$ =9.4 cm.

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

$\Delta E = E_0(1 - e^{-x/X_0}) = 1.16GeV \quad Bremsstrahlung$
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. $\gamma + n \rightarrow \Sigma^0 + \pi^+$

b. $\pi^- + p \rightarrow \Lambda + K^0$

c. $K^- + p \rightarrow \Xi^- + K^+$

d. $\bar{\nu}_\mu + n \rightarrow \mu^+ + n + \pi^-$

e. $e^- + p \rightarrow \bar{\nu}_e + \pi^0$

f. $\bar{p} + p \rightarrow \pi^0 + \Lambda + K^0$

g. $\pi^0 \rightarrow \mu^- + e^+$

h. $K^+ \rightarrow \pi^0 + e^+ + \nu_e$

i. $n \rightarrow p + \nu_\mu + \bar{\nu}_\mu$

j. $\Delta^0 \rightarrow n + \gamma$

k. $\Sigma^0 \rightarrow \Lambda + \gamma$

l. $\Xi^- \rightarrow \Lambda + \pi^-$

Soluzione:

a. no

b. si

c. si

d. si

e. no

f. no

g. no

h. si

i. no

j. si

k. si

l. si