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

Maggio 2018

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

   a. Calcolare l'energia degli antiprotoni del fascio.
   b. Calcolare l'energia minima misurata nel laboratorio per una Λ prodotta nella reazione.
   c. Calcolare l'energia misurata nel laboratorio per una Λ prodotta a angolo massimo rispetto all'angolo del fascio.
   d. 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 unità di misura naturali.
Il protone incidente a soglia ha quadrimpulso (E_p^{th}, p_p^{th}), il bersaglio $(m_p, 0)$,
il quadrimpulso totale sarà $(E_p^{th} + m_p, p_p^{th})$, 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 sarà $(2m_\Lambda, 0)$ 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 avrà $\beta_{CM} = \frac{p_{TOT}^{LAB}}{E_{TOT}^{LAB}} = \frac{p_p}{E_p + m_p}$ =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. Varrà $P^* = (2E_\Lambda^*, 0)$ da cui $E_\Lambda^* = \sqrt{s}/2 = 1432$ MeV e conseguentemente p_Λ^* =898 MeV. Si può 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 sarà minima per $cos\theta^* = -1$, condizione per la quale varrà E_Λ^{min} =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. Ciò corrisponde a un $\beta_\Lambda\gamma_\Lambda = E(\theta_{MAX})/m_\Lambda$ =1.19.
La sua lunghezza di decadimento media sarà
$x = v\tau = c\beta_\Lambda\gamma_\Lambda\tau_0 = \beta_\Lambda\gamma_\Lambda c\tau_0$ =9.4 cm.

2. Un fascio contenente muoni e pioni carichi di impulso pari a 1 GeV/c attraversa un campo magneteico di 0.57 T. Successivamente incide su due scintillatori di NaI(Tl) di spessore d = 5 cm, posti a distanza D = 5 m uno dall'altro. Calcolare:

   a. il raggio di curvatura della traiettoria nel campo magnetico;

   b. l'energia depositata nel primo scintillatore rispettivamente da pioni e muoni (si trascuri il termine $\delta(\gamma)$ nella formula di Bethe-Bloch) ed il tempo di volo tra i due scintillatori;

   c. la deviazione media rispetto alla traiettoria centrale con cui i muoni arrivano sul secondo scintillatore, a causa dello scattering multiplo nel primo scintillatore;

   d. per attenuare il fascio di pioni, si interpone un assorbitore in piombo tra i due scintillatori. Assumendo per i pioni in questione una lunghezza di interazione nel piombo di 20 cm, si determini lo spessore necessario affinché il 50% dei pioni interagisca prima di arrivare sul secondo scintillatore.

   [m_π = 139.6 MeV/c2, m_μ = 105.7 MeV/c2. NaI(Tl): ρ = 3.67 g/cm^3, I = 452 eV, X_0 = 2.59 cm, Z/A = 0.45]

   Soluzione:

3.
   a) $K^- + n \to \Sigma^+ + K^-$

   b) $\pi^- + p \to \pi^0 + \Delta^+$

   c) $\nu_\mu + n \to \mu^- + n + \pi^+$

   d) $\mu^- + n \to e^- + p$

   e) $e^+ + e^- \to K^+ + K^-$

   f) $\bar{p} + p \to \pi^- + \Lambda + K^+$

   g) $\Omega \to \Xi^0 + \pi^-$

   h) $\bar{K}^0 \to \pi^- + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$

   i) $\Delta^+ \to \pi^+ + \pi^+ + \pi^0$

   l) $\Sigma^0 \to \Lambda + \pi^0$

   m) $\pi^0 \to e^+ + e^- + \gamma$

   n) $p \to n + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$

   Soluzione: