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

Settembre 2016

1. Esercizio 1

Soluzione: Nel caso di produzione a soglia Σ^+ e K^+ vengono prodotti a riposo nel sistema di riferimento del centro di massa, quindi con p^* nullo. Vale quindi
$\sqrt{s} = E^*_\Sigma + E^*_K = m_\Sigma + m_K = 1683$ MeV.
Nel sistema di riferimento del laboratorio il quadrimpulso totale dello stato iniziale è $(E_\pi + m_p, p_\pi)$ da cui
$s = E_\pi^2 + m_p^2 + 2E_\pi m_p - p_\pi^2 = m_\pi^2 + m_p^2 + 2E_\pi m_p = (s)^* = (m_\Sigma + m_K)^2$ e infine
$E_\pi = \frac{(m_\Sigma+m_K)^2 - m_\pi^2 - m_p^2}{2m_p}$ =1030 MeV, per cui $p_\pi = \sqrt{E_\pi^2 - m_\pi^2}$ =1021 MeV.

In questo caso si ha $\beta_{CM} = \frac{p^{tot}_{LAB}}{E^{tot}_{LAB}} = \frac{p_\pi}{m_p+E_\pi} = 0.52$ (usando il valore già calcolato $\sqrt{s} = 1683$ MeV),
$\gamma_{CM} = \frac{E^{tot}_{LAB}}{\sqrt{s}} = \frac{m_p+E_\pi}{\sqrt{s}} = 1.17$,
$\beta_{CM}\gamma_{CM} = \frac{p^{tot}_{LAB}}{\sqrt{s}} = \frac{p_\pi}{\sqrt{s}} = 0.61$, e siccome il K^+ è a riposo nel centro di massa, nel laboratorio vale $\beta_K\gamma_K = \beta_{CM}\gamma_{CM}$ da cui $< x_K >= \beta_K\gamma_K c\tau = 2.25$ m.
Nel caso invece in cui il K^+ venga prodotto fermo nel laboratorio, si ha:
$p'_\pi = p_\Sigma$ e
$E'_\pi + m_p = E_\Sigma + m_K$. Dalla conservazione dell'impulso: $E_\Sigma^2 = m_\Sigma^2 + p_\Sigma^2 = m_\Sigma^2 + p'^2_\pi = m_\Sigma^2 + E'^2_\pi - m_\pi^2$, da quella dell'energia $E_\Sigma^2 = (E'_\pi + m_p - m_K)^2$; eguagliando si ottiene
$(E'_\pi + m_p - m_K)^2 = m_\Sigma^2 + E'^2_\pi - m_\pi^2$ da cui
$E'^2_\pi + m_p^2 + m_K^2 + 2E'_\pi(m_p - m_K) - 2m_p m_K = m_\Sigma^2 + E'^2_\pi - m_\pi^2$ e infine
$E'_\pi = \frac{m_\Sigma^2 - m_\pi^2 - m_p^2 - m_K^2 + 2m_p m_K}{2(m_p - m_K)}$ =1347 MeV.
Si può quindi calcolare $\sqrt{s} = \sqrt{m_\pi^2 + m_p^2 + 2E'_\pi m_p}$ =1851 MeV.

Come già discusso, se il K viene prodotto a riposo nel laboratorio, vale $p_\Sigma = p'_\pi = \sqrt{E'^2_\pi - m_\pi^2} =$ 1340 MeV, da cui si calcola immediatamente E_Σ =1791 MeV.

2. Esercizio 2

Soluzione:

Si ha $I = I_0 e^{-\mu d}$. Il coefficiente di assorbimento vale $\mu = n_b \sigma$. La densità di bersagli vale:
$n_b = (\rho N_A/A) \cdot Z = 1g/cm^3 \cdot 6.022 \cdot 10^{23} mol^{-1}/(18 g mol^{-1}) \cdot 10 = 3.33 \cdot 10^{23}$ cm^{-3}.
Il coefficiente di assorbimento vale allora $\mu = 3.33 \cdot 10^{-18}$ cm^{-1}.
Allora $d = \frac{1}{\mu} ln(I_0/I) = ln(2)/\mu = 0.21 \cdot 10^{18}$ cm.

Vale $\frac{dN_r}{dt} = \phi N_b \sigma$, con $N_b = n_b \cdot V = 3.33 \cdot 10^{27}$, quindi risulta
$\frac{dN_r}{dt} = 10^{13} cm^{-2} s^{-1} \cdot 3.33 \cdot 10^{27} \cdot 10^{-41} cm^2 = 0.33$ Hz. Moltiplicando per gli 86400 secondi che ci sono in un giorno si trovano $2.9 \cdot 10^4$ reazioni attese al giorno.

Per avere emissione Cherenkov, si deve avere $\beta > 1/n = .752$ e quindi l'elettrone deve avere $\gamma > \gamma_{thr} = 1.52$, corrispondente a un'energia pari a $E_e^{thr} = \gamma_{thr} m_e =$0.775 MeV.
A queste energie si può considerare fermo il neutrone di stato finale nel laboratorio, per cui la conservazione dell'energia nel laboratio vale
$E_\nu + m_p = E_e + m_n$ da cui $E_\nu^{thr} = E_e^{thr} + m_n - m_p = 0.775 + 939.6 - 938.3 =$2.1 MeV.

3. Esercizio 3

Soluzione:

Reazioni

a. Sì, debole
b. Sì, forte
c. Sì, forte
d. No, L_μ
e. Sì, EM
f. No, Q

Decadimenti

a. No, $\Delta S =$2
b. No, massa
c. No, massa
d. Sì, debole
e. No, massa
f. Sì, forte