Prova in itinere 23 Aprile 2021

Un fascio di elettroni di energia E_e = 2.5 MeV viene diretto contro un bersaglio fisso (trascurare l'impulso di Fermi dei nucleoni). Dire quali reazioni sono possibili e motivare la risposta

a. $e^- + p \rightarrow n + \nu_e$ (2pt)
b. $e^- + n \rightarrow$ anti-p $+ \nu_e$ (2 pt)

Supponiamo ora che l'intensità del fascio sia di 10 milioni particelle/secondo e l'energia E_e = 1 GeV e che il bersaglio sia fatto di ferro di spessore 10 cm (ρ = 7874 kg/m^3, A = 56, Z = 26), e consideriamo la reazione:

$e^- + p \rightarrow n + \nu_e$

calcolare:

c. Il numero di neutrini prodotti in un anno, sapendo che la sezione d'urto del processo è 1 pb e che il fascio di neutrini è interamente contenuto nel bersaglio (3 pt)

d. L'energia minima del neutrino nel laboratorio (3 pt)

Dati utili:
m_e = 511 keV, m_p = 938.3 MeV, m_n = 939.6 MeV, m_ν = 0 MeV

Soluzioni:

a. K_{soglia} = ($(m_n + m_v)^2$ - $(m_e + m_p)^2$) / $2m_p$ = 0.8MeV. numeri quantici e carica elettrica conservati. reazione avviene
b. violazione numero barionico. processo non avviene

c. L'intensita` di neutrini (rate o frequenza) di neutrini prodotti si ottiene dalla:

 $N_v' = N_e' \sigma n_b d$

 con:

 N_e' = 10 MHz = 1E7 s^{-1}
 d = 10 m = 1000 cm
 σ = 1 pb = 1E-12 * 10^{-28} m^2 = 10^{-40} m^2 = 10^{-36} m^2

 e invece la densità dei bersagli è data da:

 $n_b = N_A \rho$ (Z/A) = 6.022E23 * 7.87 * (26/56) = 2.2E24 cm^{-3}

 dove ci siamo ricordati di mettere la densità in grammi, e di moltiplicare per Z visto che i bersagli sono i protoni (non i nuclei). Dunque otteniamo:

 $N_v' = N_e' \sigma n_b d$ = 1E7 * 1E-36 * 2.2E24 * 1000 = 22 mHz

 Quindi, in un anno si avranno:

 $N_v = N_v'$ * 3600 * 24 * 365 = 693792 = 69 x 10^4 eventi

d. L'energia minima del neutrino nel laboratorio si ha quando il neutrino e' emesso all'indietro nel centro di massa (θ^* = 180°). Calcoliamo prima $\sqrt{s}$ nello stato iniziale, per comodità nel sistema di riferimento del laboratorio:

 $\sqrt{s}_{(s.i.,lab)} = \sqrt{(E_e + m_p)^2 - p_e^2} = \sqrt{(m_e^2 + m_p^2 + 2E_e m_p)}$ = 1.66 GeV

 Nel centro di massa, il neutrino avrà energia:

 $E^*_v = (s - m_n^2) / 2\sqrt{s}$ = 0.56 GeV = p^*

 dove abbiamo usato le formule del decadimento in due corpi, con M = $\sqrt{s}$ e ricordando che $m_v = 0$.

 Per ottenere l'energia nel laboratorio bisogna calcolare prima i parametri del boost:

$p_e = \sqrt{(E_e^2 - m_e^2)} \sim E_e = 1$ GeV

$\beta_{cm} = p_{tot} / E_{tot} =$
$p_e / (E_e + m_p) = 0.52$

$\gamma_{cm} = E_{tot} / \sqrt{s} = (E_e + m_p) / \sqrt{s} = 1.17$

Dunque possiamo finalmente ottenere:
$E_v^{min} = \gamma_{cm}(E^*_v - \beta_{cm} E^*_v) = 0.31$ GeV