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

14 Novembre 2017

NOME E COGNOME:	CANALE:

1. Un bersaglio di magnesio ($\rho = 1.738$ g/cm^3, massa molare 24.305 g/mol) viene colpito da un fascio di particelle α di intensità 0.2 nA. La reazione:

$$\alpha +_{12}^{24} \mathrm{Mg} \to p +_{13}^{27} \mathrm{Al} \tag{1}$$

è isotropa ed ha sezione d'urto $\sigma = 0.143$ barn.

a. Supponendo di avere un rivelatore che copre tutto l'angolo solido e misura un flusso di 4×10^4 protoni al secondo, qual è lo spessore del bersaglio di magnesio?

b. Se il rivelatore copre un angolo solido di 1 steradiante, quale dovrebbe essere lo spessore del bersaglio tale da osservare lo stesso numero di conteggi?

Soluzione:

a. La relazione che lega il numero di reazioni (che in questo caso corrisponde al numero di protoni) alle proprietà del bersaglio, al numero di proiettili (particelle α) e alla sezione dÕurto del processo è la seguente:

$$\frac{dN_p}{dt} = \frac{dN_\alpha}{dt} n_b d\sigma = \frac{dN_\alpha}{dt} \rho \frac{N_A}{A} d\sigma \tag{2}$$

dove $\frac{dN_{p,\alpha}}{dt}$ sono le intensità in s^{-1} di protoni e particelle α, n_b è la densità di nuclei di Mg del bersaglio, d è lo spessore del bersaglio e σ la sezione dÕurto del processo. Nel secondo passaggio si è usata la relazione che lega la densità n_b a quella di massa ρ che è fornita nel testo.

$$n_b = \rho \frac{N_A}{A} \tag{3}$$

Lo spessore del bersaglio d sarà:

$$d = \frac{dN_p/dt}{dN_\alpha/dt \cdot N_A/A \cdot \sigma} \tag{4}$$

Conosciamo l'intensitàdel fascio incidente in Ampere, per cui per passare a $s^{?1}$ dobbiamo dividere per la carica che è pari a 2 volte la carica fondamentale:

$$\frac{dN_\alpha}{dt} = \frac{0.2 \times 10^{?9}\ A}{2 \cdot 1.6 \times 10^{-19}\ C} = 6.25 \times 10^8 s^{?1} \tag{5}$$

Quindi, con $\sigma = 0.143$ barn $= 1.43 \times 10^{-25}$ cm^2 si ottiene:

$$d = 0.0104 \text{ cm} \tag{6}$$

b. Se il rivelatore copre solo una porzione di angolo solido $\Omega = 1$ sr e il processo è isotropo, la sezione dÕurto totale va moltiplicata per la frazione di angolo solido $\Omega/4\pi$. Quindi

$$d' = \frac{d}{\Omega/4\pi} = 0.130 \text{ cm} \tag{7}$$

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.

   [$m_\pi = 139.6$ MeV/c^2, $m_\mu = 105.7$ MeV/c^2. NaI(Tl): $\rho = 3.67$ g/cm^3, $I = 452$ eV, $X_0 = 2.59$ cm, $Z/A = 0.45$.]

Soluzione:

a.
$$R = \frac{p}{0.3B} = 5.85 \text{ m} \tag{8}$$

b. I pioni di impulso 1 GeV hanno $\beta_\pi = 0.990$ e $\beta_\pi\gamma_\pi = 7.16$, mentre i muoni $\beta_\mu = 0.994$ e $\beta_\mu\gamma_\mu = 9.47$; la loro perdita di energia nel primo scintillatore calcolata con la Bethe-Block vale:

$$-\left.\frac{dE}{dx}\right|_\pi = 5.52 \text{ MeV/cm} \tag{9}$$

$$-\left.\frac{dE}{dx}\right|_\mu = 5.76 \text{ MeV/cm} \tag{10}$$

Quindi abbiamo una perdita di energia 27.6 MeV per i pioni e di 28.8 MeV per i muoni. Il loro impulso dopo il primo scintillatore sarà pari a

$$p_\pi = \sqrt{(E_i - \Delta E)^2 - m_\pi^2} = \sqrt{(\sqrt{p_i^2 + m_\pi^2} - \Delta E)^2 - m_\pi^2} = 0.972 \text{ GeV} \tag{11}$$

Analogamente per i muoni $p_\mu = 0.971$ GeV e $\beta_\pi = 0.990$, $\beta_\mu = 0.994$. Il tempo di volo tra gli scintillatori sarà pari a

$$\Delta T_\pi = \frac{D}{\beta_\pi c} = 16.8 \text{ ns} \tag{12}$$

$$\Delta T_\mu = \frac{D}{\beta_\mu c} = 16.8 \text{ ns} \tag{13}$$

c. Lo scattering multiplo sarà mediamente di un angolo pari a

$$< \theta_{\rm MS} >= 21 \text{ MeV} \frac{z}{\beta p} \sqrt{\frac{x}{X_0}} = 29.5 \text{ mrad} \tag{14}$$

sia per i pioni che per i muoni, portando a una deviazione media all'altezza del secondo scintillatore pari a

$$< \delta x >= D \tan(\theta_{\rm MS}) \sim D\theta_{\rm MS} = 14.7 \text{ cm.} \tag{15}$$

d. Con l'assorbitore il fascio di pioni si riduce di un fattore $\Phi/\Phi_0 = e^{-x/\lambda_{int}} = 0.5$, da cui x = 13.9 cm.

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

Soluzione:

a) Si, debole
b) No, Q, $\Delta S = 2$
c) Si, EM
d) No, B, L_e
e) No, Q
f) Si, EM
g) No, B
h) Si, EM
i) Si, debole
l) No, Q, massa
m) Si, debole
n) No, Q