Secondo esonero AA 2014/2015 corso di Fisica Nucleare e Subnucleare 1

Soluzione

05/06/2015

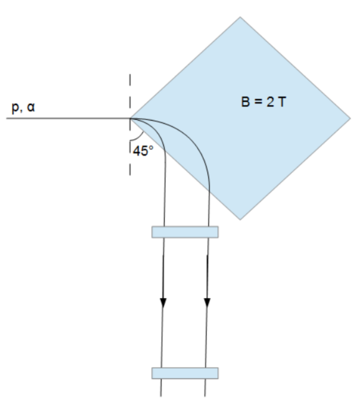
1. Un fascio di protoni e di particelle α di energia pari a 6.00 GeV viene fatto passare in uno spettrometro di massa, in cui le particelle incontrano un campo magnetico da 2 T, coprendo una traiettoria pari a un quarto di una circonferenza, come in figura. Protoni e particelle α così selezionati attraversano due scintillatori di NaI(Tl) (ioduro di sodio drogato al tallio, $Z/A = 0.45$ ρ=3.67 g/cm^3, I=452 eV, X_0=2.59 cm) spessi 2 cm, posti a 5.0 m l'uno dall'altro.

   - Calcolare la lunghezza minima dei due scintillatori necessaria a coprire i due fasci separati.
   - Calcolare l'energia depositata negli scintillatori da protoni e particelle α.
   - Calcolare il tempo di volo dei due tipi di particelle fra i due scintillatori.

   Utilizzare ove necessario la formula di Bethe-Bloch approssimata come
   $-\frac{dE}{dx} = C\rho\frac{Z}{A}\frac{z^2}{\beta^2}[ln(\frac{2m_e c^2\beta^2\gamma^2}{I}) - \beta^2]$

   con $C = 0.307\frac{MeV}{gcm^{-2}}$.

   [$m_p = 0.938$GeV/c^2, $m_\alpha = 3.727$GeV/c^2 , $m_e = 0.511$MeV/c^2]



Soluzione:

I protoni avranno un impulso pari a $p_p = \sqrt{E^2 - m^2} = 5.93$ GeV, le particelle α a p_α =4.70 GeV. Percorreranno nello spettrometro circonferenze di raggio $R_p[m] = p_p[GeV]/0.3qB[T] = 9.88$ m e $R_\alpha = 3.92$ m (tenendo conto che $q_\alpha = 2e$), che rappresentano quindi la distanza dal centro della circonferenza. Gli scintillatori dovranno essere quindi lunghi almeno $L = R_p - R_\alpha$ =6.0 m

I protoni hanno $\beta_p = p/E = 0.988$ e $\beta_p\gamma_p = p/m = 6.32$, mentre si trova β_α =0.784 e $\beta_\alpha\gamma_\alpha$ =1.26.
Sostituendo nella formula di Bethe-Bloch i valori

$(\frac{dE}{dx})_p = 0.307 MeV g^{-1} cm^2\ 3.67 g cm^{-3}\ 0.45\ \frac{1}{0.988^2}\ [ln(\frac{2*0.511 MeV*6.32^2}{0.425\cdot 10^{-3} MeV}) - 0.988^2] \approx 5.4$ MeV/cm
e
$(\frac{dE}{dx})_\alpha = 0.307 MeV g^{-1} cm^2\ 3.67 g cm^{-3}\ 0.45\ \frac{4}{0.784^2}\ [ln(\frac{2*0.511 MeV*1.26^2}{0.425\cdot 10^{-3} MeV}) - 0.784^2] \approx 25$ MeV/cm

Quindi i protoni perdono circa 11 MeV nel primo scintillatore, le particelle α circa 50 MeV.
Il loro tempo di volo tra gli scintillatori sara' determinato dal loro β. La perdita di energia dei protoni e' piccola e possiamo trascurarla, quella delle particelle α no, quindi il loro β varra' dopo il primo scintillatore $\beta_\alpha = p/E = \frac{\sqrt{(6.00-0.05)^2 - 3.727^2}}{(6.00-0.05)} = 0.780$, mentre $\beta_\alpha\gamma_\alpha = 1.24$.

Da cui il tempo di volo varra':

$t_p = L/(\beta_p c) = \frac{500 cm}{0.988*30 cm/ns} = 17$ ns , $t_\alpha = L/(\beta_\alpha c) = 21$ ns.

Nel secondo scintillatore, anche tenendo conto del cambiamento di $\beta_\alpha\gamma_\alpha$ dovuto alla perdita di energia nel primo scintillatore, effettuando i calcoli con la Bethe-Bloch si trova che la perdita di energia e' approssimativamente la stessa di quella del primo scintillatore

$(\frac{dE}{dx})_\alpha = 0.307 MeV g^{-1} cm^2\ 3.67 g cm^{-3}\ 0.45\ \frac{4}{0.780^2}\ [ln(\frac{2*0.511 MeV*1.24^2}{0.425\cdot 10^{-3} MeV}) - 0.780^2] \approx 25$ MeV/cm. Le stesso vale per i protoni.
Tenendo conto di una cifra significativa in piu' si puo' apprezzare per le particelle α la differenza tra i 25.0 MeV/cm persi nel primo scintillatore e i 25.2 MeV/cm persi nel secondo.

2. Stabilire quali reazioni e quali decadimenti delle seguenti liste sono permessi e quali sono proibiti, indicando nel primo caso l'interazione responsabile, nel secondo tutti i numeri quantici che sono violati.

a. $\mu^- + p \to \bar{\nu}_\mu + \pi^0$
b. $p + p \to \Sigma^+ + \bar{K}^0 + \pi^+$
c. $K^- + p \to \Xi^- + K^+$
d. $\pi^- + n \to \Xi^0 + K^0 + K^+$
e. $\bar{\nu}_e + e^- \to \bar{\nu}_\mu + \nu_\mu + \pi^-$
f. $e^+ + e^- \to K^+ + \bar{K}^0 + \pi^-$

a. $\Omega^- \to \Xi^0 + e^- + \bar{\nu}_e$
b. $\pi^0 \to \mu^+ + \mu^- + \gamma$
c. $K^- \to \pi^+ + \pi^- + e^- + \bar{\nu}_e$
d. $n \to p + e^- + \bar{\nu}_\mu$
e. $p \to n + \nu_\mu + \bar{\nu}_\mu$
f. $\tau^- \to e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\tau$

Soluzione:

Reazioni:

- no, L_μ, B
- no, B, $\Delta S = 2$
- si, forte
- no, Q
- si, debole
- si, EM

Decadimenti:

- si, debole
- no, $\sum m_f > m_i$
- si, debole
- no, L_e, L_μ
- no, Q, $\sum m_f > m_i$
- si, debole