II Bonus di Fisica Nucleare e Subnucleare 1 - AA 2017/2018

Maggio 2018

NOME E COGNOME:	CANALE:

1. Un fascio di particelle contenente positroni e protoni, tutti collineari e con lo stesso impulso, entra in uno spettrometro magnetico lungo $L = 50$ cm con un campo magnetico $B = 1$ T ortogonale alla traiettoria delle particelle. In uscita dal magnete le particelle viaggiano ad una distanza pari a 1.7 cm rispetto alla linea di volo iniziale.

   a) Determinare l'impulso delle particelle del fascio

   Le particelle attraversano due scintillatori uguali, di spessore $d = 1.5$ cm e lunghezza di radiazione $X_0 = 35$ cm, posti ad una distanza $D = 10$ m l'uno dall'altro. Sapendo che la perdita di energia per ionizzazione negli scintillatori è 2.1 MeV/cm per i protoni e 2.7 MeV/cm per i positroni, calcolare

   b) l'impulso delle due particelle in uscita dal secondo scintillatore

   c) il tempo di volo per le due particelle tra i due scintillatori

   In uscita dal secondo scintillatore è posto un contatore Cherenkov con indice di rifrazione n = 1.33, che segnala il passaggio di una particella solamente se questa emette luce ad angolo compreso tra $\theta_1 = 25°$ $\theta_2 = 38°$. Determinare se le due particelle emettono luce Cherenkov e se questa viene rilevata dal contatore.
   ($m_e = 0.511$ MeV/c^2; $m_p = 939$ MeV/c^2)

Soluzione:
Nel seguito si pone c=1.

a) Nell'attraversare uno spettrometro magnetico una particella subisce una deflessione. Se la deflessione è piccola, lo spostamento x subito dalla particella rispetto alla direzione iniziale è legato all'impulso dalla relazione $pc = 0.3\frac{BL^2}{2x}$
L'impulso delle particelle del fascio è pertanto $p = 2.206$ GeV.

b) I protoni entrano nel primo scintillatore con impulso $p = 2.206$ GeV e quindi energia $E_p = \sqrt{(p^2 + m_p^2)} = 2.398$ GeV. Nel passare attraverso ciascuno scintillatore perdono energia per ionizzazione,

$$\Delta E(p, ion) = (dE/dx)_p \cdot d = 2.1\ MeV/cm \cdot 1.5\ cm = 3.15\ MeV$$

Escono quindi dal secondo scintillatore con energia $E'_p = E_p$ - $2\Delta E(p, ion) = 2.391$ GeV e impulso $p'_p = 2.199$ GeV.

I positroni perdono energia per ionizzazione e per irraggimento.
La perdita per ionizzazione vale

$$\Delta E(e^+, ion) = (dE/dx)_{e^+} \cdot d = 2.7\ MeV/cm \cdot 1.5\ cm = 4.05\ MeV$$

ed è uguale in entrambi gli scintillatori.
L'energia persa per irraggiamento nel primo scintillatore è

$$\Delta E(e^+, irr, 1) = E_0(e^+)(1 - exp(-d/X_0))$$

essendo $E_0(e^+)$ l'energia dei positroni in uscita dallo spettrometro. Dal momento che i positroni sono ultra-relativistici è possibile approssimare l'energia con l'impulso, $E_0(e^+) = 2.206$ GeV, ottenendo quindi $\Delta E(e^+, irr, 1) = 92.5$ MeV. La perdita di energia totale dei positroni nel primo scintillatore è

$$\Delta E(e^+, 1) = \Delta E(e^+, ion) + \Delta E(e^+, irr, 1) = 96.6\ MeV$$

Tenendo conto di questa perdita, i positroni raggiungono il secondo scintillatore con energia

$$E_1(e^+) = E_0(e^+) - \Delta E(e^+, 1) = 2.109\ GeV$$

La perdita di energia per irraggiamento nel secondo scintillatore è pertanto

$$\Delta E(e^+, irr, 2) = E_1(e^+)(1 - exp(-d/X_0)) = 88.5\ MeV$$

e quindi la perdita totale di energia dei positroni nel secondo scintillatore è

$$\Delta E(e^+, 2) = \Delta E(e^+, ion) + \Delta E(e^+, irr, 2) = 92.5\ MeV$$

I positroni entrano dunque nel primo scintillatore con impulso $p = 2.206$ GeV (e la stessa energia, E 2.206 GeV) ed escono dal secondo scintillatore con energia 2.017 GeV (e lo stesso impulso).

c) I protoni escono dal primo scintillatore con energia $E'_p = E_p$ - $\Delta E(p, ion) = 2.394$ GeV e impulso $p'_p = 2.202$ GeV, quindi $\beta = p'_p/E'_p = 0.92$.
I positroni escono dal primo scintillatore con l'energia $E_1(e^+) = 2.109$ GeV calcolata al punto precedente. Sono ultra-relativistici, quindi hanno $\beta \sim 1$.
Per percorrere la distanza D tra i due scintillatori le particelle impiegano $t = D/(\beta c)$, quindi 36 ns nel caso dei protoni e 33 ns per i positroni.

d) Entrambe le particelle sono sopra la soglia $\beta_{TH} = 1/n$ per emettere luce Cherenkov, ad un angolo $\cos\theta_C = 1/\beta n$. Sostituendo i valori di β calcolati al punto c) si ottiene per il protone $\theta_C = 35°$ e per il positrone $\theta_C = 41°$. Il rivelatore pertanto rivelerà la luce emessa dal protone soltanto.

2. 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) $\bar{p} + p \to K^0$
b) $K^- + n \to \Lambda + \pi^-$
c) $\mu^- + n \to \bar{\nu}_\mu + \pi^0$
d) $\mu^- + p \to \nu_\mu + n$
e) $K^+ + p \to n + \pi^+ + K^-$
f) $e^+ + e^- \to K^0 + \bar{K}^0$
g) $K^0 \to \pi^+ + \pi^- + \pi^0$
h) $\Xi^0 \to \Lambda + \pi^0$

i) $\Sigma^0 \to K^- + \pi^+$

l) $\pi^0 \to \mu^+ + \mu^- + \gamma$

m) $p \to n + e^- + \nu_e$

n) $\mu^+ \to e^+ + e^- + \nu_\mu$

Soluzione:

a) No: massa invariante, ΔS=1

b) Sì: forte

c) No: B, n_μ, Q

d) Sì: debole

e) No: Q, ΔS=2

f) Sì: elettromagnetica

g) Sì: debole

h) Sì: debole

i) No: B

l) No: massa

m) No: Q, massa, n_e

n) No: n_μ, Q