

II Esonero di Fisica Nucleare e Subnucleare 1 - AA 2018/2019

7 Giugno 2019

NOME E COGNOME:	CANALE:

1. Un fascio di muoni ed elettroni attraversa una serie di rivelatori disposti come in Figura 1 (non in scala), composta da:

- un tracciatore di particelle cariche, realizzato da tre strati di silicio spessi $d_1 = 1$ cm;
- un calorimetro, realizzato da dieci blocchi di piombo di spessore $d_2 = 1$ cm, ciascuno intervallato da strati di argon liquido spessi $d_3 = 10$ cm, come mostrato in figura;
- uno spessore in ferro di 100 cm
- uno spettrometro per muoni, composto da una serie di stazioni di misura della posizione, di spessore complessivo di 2 m, in un campo magnetico $B = 2$ T.

Determinare (trascurando nel calcolo delle perdite di energia per ionizzazione, l'effetto densità e la correzione di shell, ed utilizzando i dati in tabella per le caratteristiche dei materiali):

- a. l'energia cinetica minima che un muone deve avere per raggiungere lo spettrometro, assumendo che la perdita di energia per ionizzazione sia costante in funzione dell'energia e pari a quella di una particella al minimo di ionizzazione;
- b. il meccanismo principale di perdita di energia per un elettrone nel calorimetro e il valore dell'energia persa nei primi 11 cm del calorimetro da un elettrone che vi incide con energia di 100 GeV.
- c. l'angolo tra le direzioni di ingresso e uscita dallo spettrometro per un muone con energia iniziale di 100 GeV.

$$[m_\mu = 105.6 \text{ MeV}; m_e = 0.511 \text{ MeV}]$$

Soluzione:

- a. Assumendo che la particella carica abbia $\beta\gamma = 3$, corrispondente ad una particella al minimo di ionizzazione, dalla formula di Bethe:

$$-\frac{dE}{dx} = 0.307 \text{ MeV/gcm}^2 \rho \frac{Z}{A} \left(\frac{z}{\beta}\right)^2 \left[\log \left(\frac{2m_e c^2 (\beta\gamma)^2}{\langle I \rangle} \right) - \beta^2 \right]$$

si hanno le seguenti perdite di energia:

materiale	densità [g/cm ³]	Z	A	$\langle I \rangle$ [eV]	X_0 [cm]	energia critica [MeV]
silicio	2.3	14	28	173	9.4	40
argon liquido	1.4	18	40	188	14	33
piombo	11.4	82	207	823	0.56	7
ferro	7.9	26	56	286	1.76	22

Table 1: Caratteristiche dei materiali

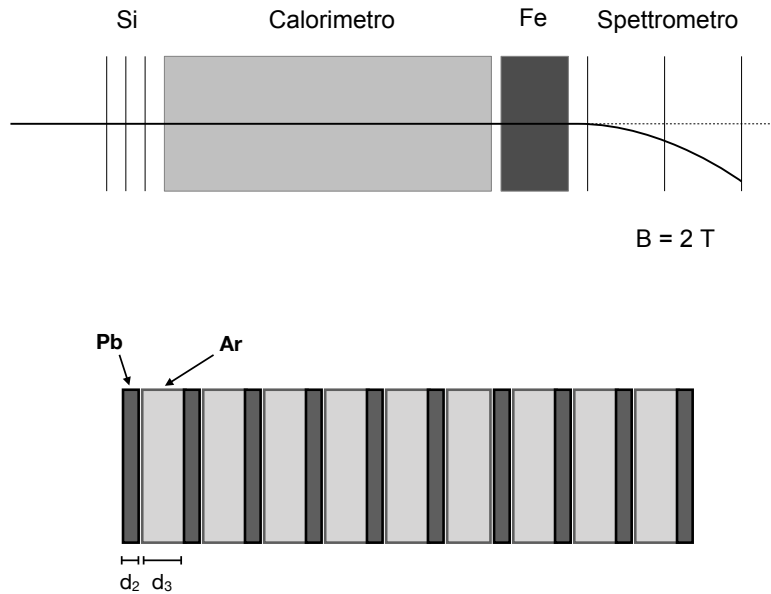


Figure 1: Schema del rivelatore (in alto) e dettaglio del calorimetro (in basso).

- Si: 4 MeV per strato (12 MeV totali);
- Pb: 13 MeV per strato (130 MeV totali);
- Ar: 21 MeV per strato (191 MeV totali);
- Fe: 1186 MeV,

per cui la perdita di energia totale è di circa 1.5 GeV. Il muone deve avere almeno questa energia cinetica per arrivare allo spettrometro.

b. L'elettrone perderà energia prevalentemente per irraggiamento:

$$E = E_0 e^{-\frac{l}{L_0}}$$

Nel piombo, $l = 1$ cm, $L_0 = \frac{6}{11.4}$ cm ~ 0.53 cm, e l'elettrone esce con un'energia pari a 14.96 GeV. Nel LAr, $l = 10$ cm, $L_0 = \frac{20}{1.4}$ cm ~ 14.3 cm, e l'elettrone che entra con un'energia di 14.96 GeV esce con un'energia di 7.43 GeV.

c. Un muone arriva allo spettrometro con un'energia pari a $100 \text{ GeV} - 1.5 \text{ GeV} = 98.5 \text{ GeV}$. Essendo nel limite ultrarelativistico, $p \sim E/c = 98.5 \text{ GeV}/c$. Il raggio di curvatura è:

$$R[\text{m}] = \frac{p[\text{GeV}/c]}{0.3B[\text{T}]} = 164.2 \text{ m}$$

E in approssimazione di piccoli angoli, $\theta = L/R = 12.2 \text{ mrad}$.

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

Soluzione:

- | | |
|--------------------------------|-------------------|
| a) No, L_e, L_μ | g) No, L_e |
| b) No, $\Delta S = 2$ | h) Si, debole |
| c) Si, forte | i) No, B |
| d) No, forte ma $\Delta S = 1$ | l) Si, debole |
| e) Si, debole | m) No, Δm |
| f) No, Q, L_μ, L_e | n) No, Δm |