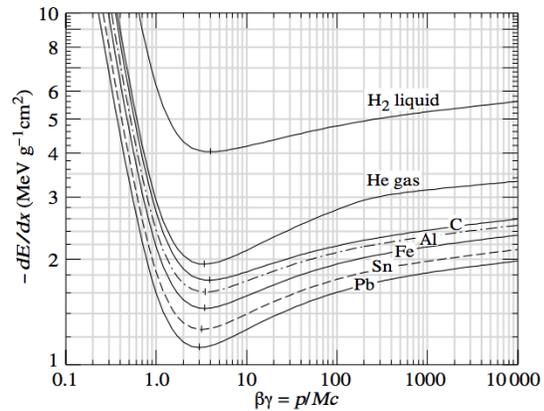
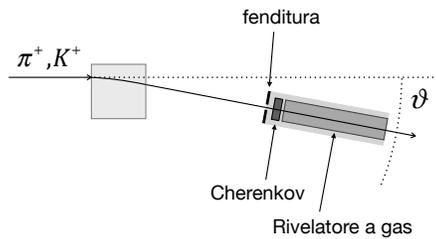


# II Esonero di Fisica Nucleare e Subnucleare 1 - AA 2017/2018

Giugno 2018

NOME E COGNOME:	CANALE:

1. Un fascio di particelle contenente  $\pi^+$  e  $K^+$  collineari e con impulsi minori di 10 GeV/c entra in uno spettrometro magnetico lungo  $L = 15$  cm con un campo magnetico  $B = 0.1$  T ortogonale alla traiettoria delle particelle. In uscita dal magnete le particelle attraversano una fenditura di spessore infinitesimo posta su un binario, la cui posizione può essere variata in modo tale da selezionare le particelle in base al loro impulso. Coerentemente alla fenditura si muovono un contatore Cherenkov con indice di rifrazione  $n = 1.33$  e un rivelatore a gas (He) di spessore  $d = 50$  cm, che rivela la ionizzazione solamente se l'energia depositata nel gas è superiore a 27 keV. Entrambi vengono attraversati dalle particelle selezionate dalla fenditura. Si veda la figura sinistra per l'apparato sperimentale.



- Quale impulso minimo devono avere rispettivamente i pioni ed i kaoni per emettere luce Cherenkov?
- Per quali valori dell'angolo  $\theta$  rispetto alla direzione iniziale della particella (si veda la figura) il contatore Cherenkov è in grado di discriminare i pioni dai kaoni?
- Qual è l'impulso massimo dei kaoni per il quale il rivelatore a gas emette un segnale e a quale angolo corrisponde? Si estrarrebbero le informazioni necessarie dalla figura di destra.
- Per quali valori dell'angolo  $\theta$  il rivelatore a gas può discriminare i pioni dai kaoni?

$$[m_{\pi^+} = 140 \text{ MeV}/c^2; m_K = 494 \text{ MeV}/c^2, \rho_{He} = 0.1785 \text{ Kg}/\text{m}^3]$$

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

**Soluzione:**

1. a) Una particella carica emette luce in un contatore Cherenkov se ha un impulso  $pc > p_{min}c = mc^2/\sqrt{n^2-1}$ . Pertanto i pioni devono avere  $p > 160$  MeV/c e i kaoni  $p > 563$  MeV/c
  - b) Per discriminare tra  $\pi^+$  e  $K^+$  utilizzando il rivelatore proposto è necessario che i pioni emettano luce Cherenkov e i kaoni, più pesanti, no. Occorre quindi selezionare particelle con impulso compreso tra di 160 MeV/c e 563 MeV/c.  
In uno spettrometro magnetico vale  $pc[GeV] = 0.3 B[T] R[m]$ , pertanto particelle cariche con impulso  $p$  si muovono su una circonferenza con raggio di curvatura  $R = \frac{pc}{0.3B}$ . L'angolo di deflessione vale  $\theta = \sin^{-1}(L/R)$ , che per piccoli angoli si può approssimare con  $\theta \sim L/R$ . Vale quindi  
 $p = 160$  MeV/c  $\rightarrow \theta = 0.028$  rad  
 $p = 563$  MeV/c  $\rightarrow \theta = 0.008$  rad  
Si noti che per questi valori ( $1.6^\circ$  e  $0.5^\circ$ ) l'approssimazione di piccoli angoli è soddisfatta. L'angolo calcolato è quello sotteso dall'arco di circonferenza che le particelle percorrono nello spettrometro magnetico e coincide con la deflessione rispetto alla traiettoria iniziale.  $\theta$  è pertanto l'angolo richiesto.  
Per il range di valori  $0.008 \text{ rad} < \theta < 0.028 \text{ rad}$  il rivelatore Cherenkov consente di discriminare pioni da kaoni.
  - c) La perdita di energia delle particelle nel rivelatore a He è  $\Delta E = |dE/dx|d$   
Affinchè l'energia depositata sia maggiore della soglia per la rivelazione nel gas deve valere  $|dE/dx| > 0.027 \text{ MeV}/50 \text{ cm} = 0.00054 \text{ MeV/cm}$ , che corrisponde a  $1/\rho \cdot dE/dx = 3 \text{ MeV cm}^2 \text{ g}^{-1}$ . Dalla figura si possono ricavare i due valori di  $\beta\gamma$  corrispondenti per l'elio,  $\beta\gamma = 1$  e  $\beta\gamma = 300$ . L'impulso corrispondente a  $\beta\gamma = 300$  è sia per i  $\pi$  che per i  $K$  superiore a 10 GeV/c, l'impulso massimo delle particelle del fascio. Consideriamo pertanto solo  $\beta\gamma = 1$ . Dal momento che  $\beta\gamma = p/mc$ , l'impulso massimo che possono avere i  $K^+$  per dare un segnale nel rivelatore è 494 MeV/c. Utilizzando le stesse relazioni del punto b) si può ricavare l'angolo a cui deve essere posta la fenditura per selezionare  $K^+$  di questo impulso:  $\theta = \sin^{-1}(0.3BL/p) = 0.009$  rad.
  - d) Nel caso dei pioni si ha  $\beta\gamma = 1$  quando  $p = 140$  MeV/c e questo è l'impulso massimo che un pione può avere per essere rivelato dal rivelatore a gas. Affinchè il rivelatore a gas possa discriminare i  $\pi^+$  dai  $K^+$  è pertanto necessario che l'impulso delle particelle sia compreso tra 140 MeV/c e 494 MeV/c. Al di sotto (sopra) di questa regione entrambe (nessuna) le particelle rilasciano un segnale e la discriminazione non è quindi possibile. La regione angolare in cui è possibile la discriminazione pertanto è  $0.009 < \theta < 0.032$  rad. Nuovamente si sono utilizzate le formule del punto b) per determinare l'angolo a cui sono deviate particelle con impulso di 140 MeV/c.
- 
2. a) No:  $L_e, L_\mu$  g) No:  $m_f > m_i$
  - b) No: Q,  $|\Delta S|=3$  h) Sì, debole
  - c) Sì, forte i) No: Q,  $L_e, L_\mu$  ( $|\Delta S|=1$ )
  - d) Sì, debole l) Sì, forte
  - e) No: B,  $|\Delta S|=2$  m) No: Q, B
  - f) No:  $L_\mu, B$  n) No:  $|\Delta S|=2$