Soluzioni scritto 29/01/08

1. Al collider simmetrico e+e- Lep2 venivano utilizzati dei fasci di 103 GeV con lo scopo di produrre, tra le altre cose, il bosone di Higgs H nella reazione e+e- →ZH. Sapendo che la massa del bozone Z è di 91. 2 GeV, si trovi qual'era il valore massimo della massa del bosone H che poteva essere cinematicamente prodotto a Lep2, assumendo che lo Z prodotto fosse reale e non virtuale.

[5 punti]

La reazione è: $e^+e^- \rightarrow ZH$

Il valore massimo della massa cinematicamente permesso si ha quando le due particelle vengono prodotte in quiete, quindi:

$$P_Z = (M_Z;0) \quad ; \quad P_H = (M_H;0)$$

Il quadrato del quadrimpulso è un invariante relativistico:

$$P^2_{in} = s = 206^2 \text{ GeV}^2 \quad ; \quad P^2_{fin} = (M_Z + M_H)^2$$

$$P^2_{in} = P^2_{fin} \Rightarrow s = M^2_Z + 2M_Z M_H + M^2_H$$

Risolvendo l'equazione di secondo grado, e scegliendo la soluzione positiva, si ha:

$$M_H = \sqrt{s} - M_Z = 206 - 91.2 = 114.8 \text{ GeV}$$

2. Dire quali reazioni sono possibili e quali no. Nel caso siano possibili indicare l'interazione responsabile e nel caso non lo siano, spiegare perché. (si tenga presente che i processi deboli al secondo ordine sono di fatto proibiti). **[6 punti]**

a) $\pi^0 \to \gamma + \gamma + \gamma$ ☐ SI ☒ NO

violazione della coniugazione di carica

b) $K^0 \to \gamma + \gamma$ ☐ SI ☒ NO

violazione della stranezza

c) $K^0 \to \pi^+ + e^- + \bar{\nu}_e$ ☐ SI ☒ NO

violazione della regola $\Delta S = \Delta Q$

d) $\bar{K}^0 \to \pi^+ + e^- + \bar{\nu}_e$ ☒ SI ☐ NO

interazione debole

e) $p+p \to \Sigma^+ + n + K^0 + \pi^+ + \pi^0$ ☒ SI ☐ NO

interazione forte

f) $p+p \to p + p + n + \bar{p} + \pi^+$ ☒ SI ☐ NO

interazione forte

g) $K^+ + n \to K^0 + p$ ☒ SI ☐ NO

interazione forte

h) $\pi^+ + p \to \Lambda + \bar{K}^0$ ☐ SI ☒ NO

violazione della stranezza

3. Spiegare perché il mesone ρ, la cui massa è di 770 MeV, non può decadere in una coppia di pioni neutri. **[5 punti]**

- Il mesone ρ ha spin 1, mentre il pione ha spin 0, quindi per la conservazione del momento angolare totale, il sistema di due pioni neutri dovrebbero avere momento angolare orbitale relativo uguale a 1; in questo caso però la funzione d’onda totale sarebbe antisimmetrica, e questo non è possibile perché i mesoni identici devono avere la funzione d’onda totale simmetrica.

4. Un esperimento al collider e^+e^- Lep ha raccolto in un certo intervallo di tempo, all'energia del centro di massa pari alla massa dello Z, 247 mila eventi nel canale $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$ (bhabha scattering) e 84 mila eventi nel canale di decadimento adronico dello Z (Z $\rightarrow$adroni). Sapendo che la sezione d'urto calcolata per il bhabha scattering è di 88.5 nb, si ricavi la sezione d'urto parziale di produzione dello Z nel canale adronico ($e^+e^- \rightarrow Z \rightarrow$ adroni). Sapendo inoltre che il B.R. dello Z nel canale adronico è del 70%, si ricavi la sezione d'urto totale di produzione dello Z. (Si assuma che l'efficienza di trigger e di selezione sia del 100% in entrambi i canali). **[5 punti]**

Ricordiamo la relazione tra sezione d'urto, luminosità integrata e numero di eventi prodotti in un dato canale:

$$N = \sigma \cdot \mathcal{L}$$

Dagli eventi Bhabha si ricava la luminosità integrata e da questa poi si misura la sezione d'urto di un dato processo.

$$\mathcal{L} = \frac{N(e^+e^- \rightarrow e^+e^-)}{\sigma(e^+e^- \rightarrow e^+e^-)} = \frac{247 \cdot 10^3}{88.5 \text{ nb}} = 2.8 \text{ pb}^{-1}$$

Ricaviamo quindi la sezione d'urto dello Z in adroni:

$$\sigma = \frac{N(Z \rightarrow \text{adroni})}{\mathcal{L}} = \frac{N(Z \rightarrow \text{adroni})}{N(e^+e^- \rightarrow e^+e^-)} \sigma(e^+e^- \rightarrow e^+e^-) =$$

$$= \frac{84 \cdot 10^3}{247 \cdot 10^3} \times 88.5 = 30 \text{ nb}$$

Dalla conoscenza del B.R. si può ricavare la sezione d'urto di produzione dello Z:

$$\sigma_Z = \frac{\sigma(Z \rightarrow \text{adroni})}{\text{B.R.}(Z \rightarrow \text{adroni})} = \frac{30}{0.7} = 42.9 \text{ nb}$$

5.. Una particella neutra V^0 decade in due particelle cariche A^+ e B^-. Le componenti misurate delle due quantità di moto dei prodotti di decadimento, in GeV/c, sono: **A^+:** (-0.488; -0.018; 2.109) , B^-: (-0.255; -0.050; 0.486).

Determinare se si tratta del decadimento *a)* $K_s^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$ oppure *b)* $\Lambda \rightarrow p\pi^-$ **[6 punti]**

$$p_A^2 = p_x^2 + p_y^2 + p_z^2 = (-0.488)^2 + (-0.018)^2 + 2.109^2 = 4.6863 \text{ GeV}^2$$

$$p_B^2 = p_x^2 + p_y^2 + p_z^2 = (-0.255)^2 + (-0.050)^2 + 0.486^2 = 0.3037 \text{ GeV}^2$$

$$m_\pi = 0.14 \text{ GeV} \quad ; \quad \mathrm{m_p} = 0.94 \text{ GeV}$$

Per determinare la massa della particella madre occorre calcolare la massa invariante dei prodotti di decadimento; per fare ciò bisogna scrivere il quadrimpulso delle due particelle facendo l'ipotesi che la particella A sia un pione in un caso oppure un protone nell'altro caso.

$$E_{A,\pi}^2 = m_\pi^2 + p_A^2 = 0.14^2 + 4.6863 = 5.010 \Rightarrow \mathrm{E}_{A,\pi} = 2.24 \text{ GeV}$$

$$E_{A,p}^2 = m_p^2 + p_A^2 = 0.94^2 + 4.6863 = 5.570 \Rightarrow \mathrm{E}_{A,p} = 2.36 \text{ GeV}$$

$$E_B^2 = m_\pi^2 + p_B^2 = 0.14^2 + 0.3037 = 0.3233 \Rightarrow \mathrm{E}_B = 0.568 \text{ GeV}$$

Calcoliamo il quadrimpulso finale nell'ipotesi che A sia un pione

$$P_{fin} = (E_{A,\pi} + E_B; \vec{p}_A + \vec{p}_B) = (2.24 + 0.568; -0.488 - 0.255, -0.018 - 0.050, 2.109 + 0.486) =$$
$$= (2.808; -0.743, -0.068, 2.595)$$

$$\left|P_{fin}\right| = \sqrt{2.808^2 - ((-0.743)^2 + (-0.068)^2 + 2.595^2)} = 0.771 \text{ GeV}$$

Calcoliamo il quadrimpulso finale nell'ipotesi che A sia un protone

$$P_{fin} = (E_{A,p} + E_B; \vec{p}_A + \vec{p}_B) = (2.36 + 0.568; -0.488 - 0.255, -0.018 - 0.050, 2.109 + 0.486) =$$
$$= (2.928; -0.743, -0.068, 2.595)$$

$$\left|P_{fin}\right| = \sqrt{2.928^2 - ((-0.743)^2 + (-0.068)^2 + 2.595^2)} = 1.13 \text{ GeV}$$

La massa del K^0 è 0.49 GeV mentre quella della Λ è 1.11 GeV, quindi si tratta del decadimento della Λ

6. Considerare i seguenti tre decadimenti del mesone D^0 ($c\bar{u}$):

a) $D^0 \to K^- + \pi^+$; b) $D^0 \to \pi^- + \pi^+$; c) $D^0 \to K^+ + \pi^-$

Disegnare i diagrammi di Feynman dei decadimenti nel modello spettatore e dire, spiegando il perché, qual è il decadimento più probabile e quello meno probabile.**[6 punti]**

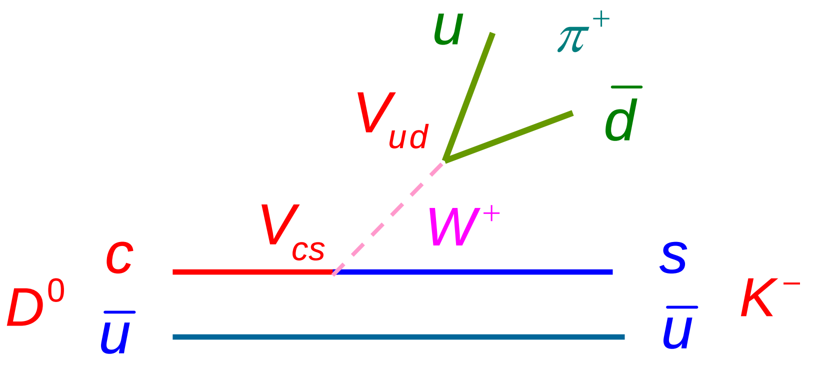
La composizione in quark delle cinque particelle è la seguente:

$D^0 = c\bar{u}$; $K^- = s\bar{u}$; $K^+ = \bar{s}u$; $\pi^+ = \bar{d}u$; $\pi^- = d\bar{u}$

a) $D^0 \to K^- + \pi^+$

Cabibbo favorito

B.R. = $3.80 * 10^{-2}$

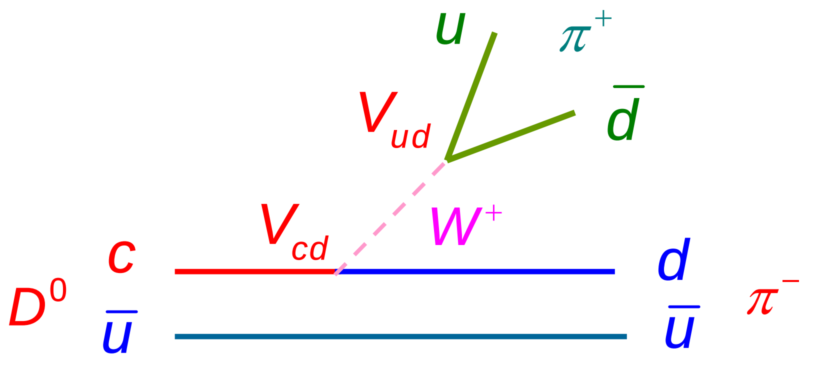


---

b) $D^0 \to \pi^- + \pi^+$

Cabibbo sfavorito

B.R. = $1.36 * 10^{-3}$

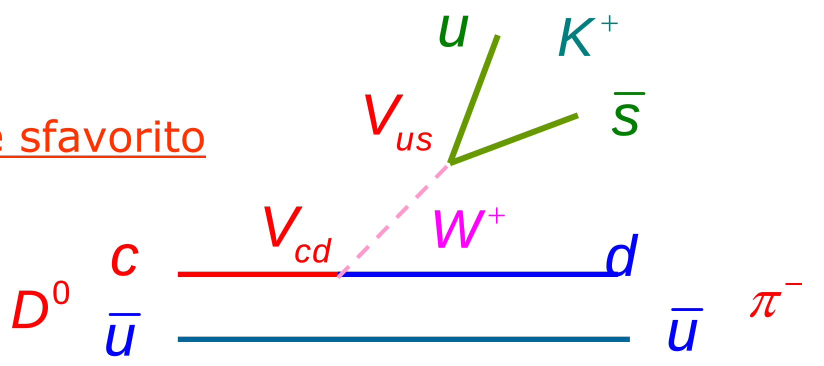


---

c) $D^0 \to K^+ + \pi^-$

Cabibbo doppiamente sfavorito

B.R. = $1.43 * 10^{-4}$

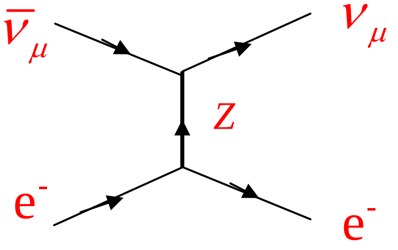


Il più probabile è il decadimento a) ed il meno probabile è c)

7. Spiegare perché l'osservazione del processo $\bar{\nu}_\mu + e^- \to \bar{\nu}_\mu + e^-$ è una prova sperimentale dell'esistenza delle correnti deboli neutre, mentre l'osservazione del processo $\bar{\nu}_e + e^- \to \bar{\nu}_e + e^-$ non lo è. **[5 punti]**

Lo scattering elastico dell'antineutrino mu può avvenire soltanto con lo scambio dello Z, come mostrato nel diagramma di Feynman seguente, mentre lo scattering elastico dell'antineutrino elettronico può avvenire anche con lo scambio del bosone W.

$\bar{\nu}_\mu + e^- \to \bar{\nu}_\mu + e^-$



$\bar{\nu}_e + e^- \to \bar{\nu}_e + e^-$