

# Soluzioni esonero 27/06/06

1. Dire se nella reazione  $K^0 + p$ , dove i  $K^0$  hanno un'energia cinetica di 800 MeV, possono venire prodotti dei barioni dotati di stranezza. Spiegare perché, se non è possibile, oppure scrivere il processo se è invece possibile. [5 punti]

**Risposta: NON è possibile**

La composizione in quark del  $K^0$  è  $d\bar{s}$ , quindi ha stranezza +1, mentre i barioni strani hanno stranezza -1. Il barione strano più leggero è la  $\Lambda$ . Questa si potrebbe produrre nella reazione seguente:



Si deve conservare S e B

Abbiamo:  $m_p \approx 1 \text{ GeV}$  ;  $m_K \approx 0.5 \text{ GeV}$  ;  $m_{\Lambda^0} \approx 1.11 \text{ GeV}$

$$E_K = T_K + m_K = 0.8 + 0.5 = 1.3 \text{ GeV} \quad \text{Energia del fascio di } K^0$$

Calcoliamo l'energia di soglia della reazione:

$$E_K^s = \frac{(m_\Lambda + 2m_K)^2 - (m_p^2 + m_K^2)}{2m_p} = \frac{2.11^2 - 1.25}{2} = 1.6 \text{ GeV}$$

Quindi il K ha un'energia (1.3 GeV) inferiore alla soglia di produzione della  $\Lambda$

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. [4 punti]

a)  $\pi^0 \rightarrow \pi^+ + e^- + \bar{\nu}_e$      SI  NO :

il  $\pi^0$  ha una massa inferiore al  $\pi^+$

b)  $\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^- + \bar{\nu}_e$      SI  NO :

violazione del numero leptonico

c)  $\pi^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + e^+ + e^-$      SI  NO :

interazione debole

d)  $\pi^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \mu^+ + \mu^-$      SI  NO :

conservazione dell'energia

• Continua esercizio 2.

e)  $\Delta^{++} \rightarrow p + \pi^+$        SI    NO :  
interazione forte

f)  $\Xi^0 \rightarrow \Sigma^- + e^+ + \nu_e$        SI    NO :

in questo caso viene violata la regola  $\Delta S = \Delta Q$ .

Utilizzando il modello a quark, sarebbe necessaria la transizione di un quark s in un quark d, ma questo non è possibile al primo ordine (FCNC)

g)  $\Omega^- \rightarrow \Xi^0 + e^- + \bar{\nu}_e$        SI    NO :

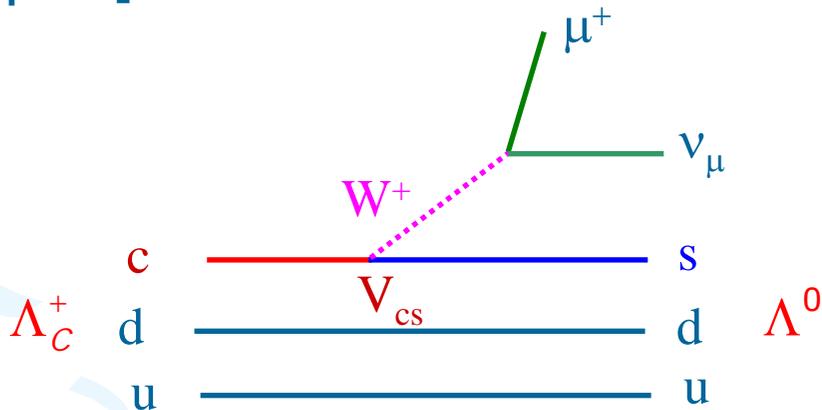
interazione debole. In questo caso  $\Delta S = \Delta Q$

h)  $\nu_\mu + n \rightarrow K^0 + p + e^-$        SI    NO :

Violazione numero leptonico

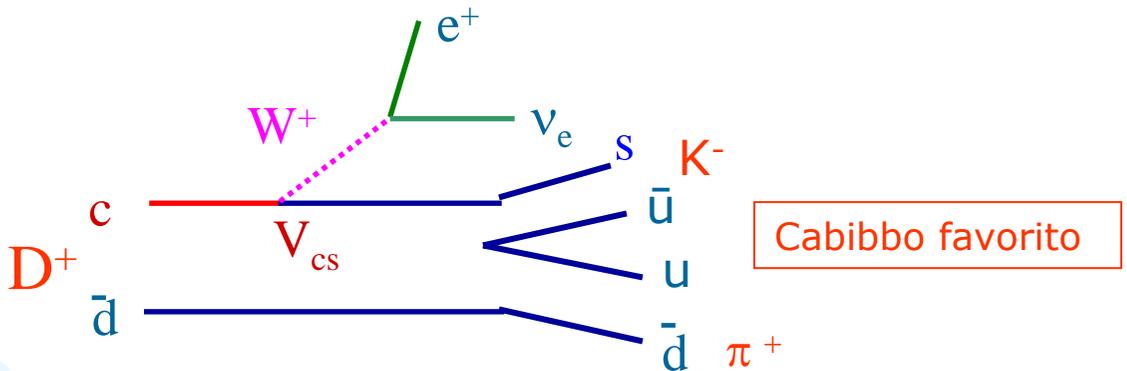
3. Disegnare il diagramma di Feynman, nel Modello Spettatore, del decadimento  $\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda^0 + \mu^+ + \nu_\mu$  ed indicare quale elemento della matrice CKM interviene nel decadimento. Si ricorda che il barione  $\Lambda_c$  ha numero quantico charm=1

**[4 punti]**



4. Classificare i seguenti decadimenti semileptonici del mesone  $D^+$  (1869) composto dal quark  $c$  e dall'antiquark  $d$ , in termini di decadimenti Cabibbo favoriti, Cabibbo soppressi oppure decadimenti proibiti al primo ordine delle interazioni deboli, e spiegare perché: **[6 punti]**

a)  $D^+ \rightarrow K^- + \pi^+ + e^+ + \nu_e$       SI    NO



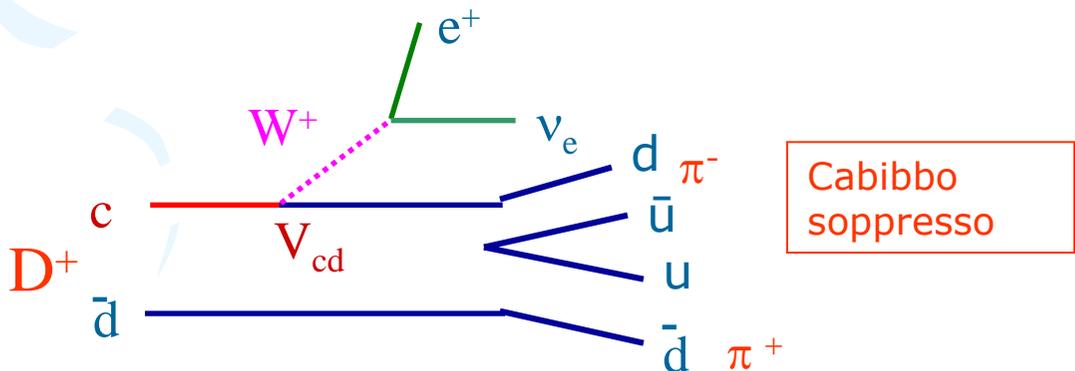
b)  $D^+ \rightarrow K^+ + \pi^- + e^+ + \nu_e$       SI    NO :

In questo caso il quark  $c$  dovrebbe decadere in un antiquark  $s$ , e questo non è possibile.

c)  $D^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^+ + e^- + \bar{\nu}_e$       SI    NO

Nel decadimento del quark  $c$  può venire emesso solo un  $W^+$  e non un  $W^-$  (vedere il prossimo grafico di Feynman)

d)  $D^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^- + e^+ + \nu_e$       SI    NO :



5. In un collider  $e^+e^-$  asimmetrico, il fascio di elettroni ha energia 4.5 GeV ed il positrone 2.0 GeV.

- calcolare l'energia del centro di massa
- dire quali coppie di quark vengono prodotte nell'annichilazione  $e^+e^-$ :

[4 punti]

$$e^- = 4.5 \text{ GeV} \quad e^+ = 2 \text{ GeV}$$

L'energia del centro di massa è uguale a  $\sqrt{s}$ .

$$s = (\rho(e^+) + \rho(e^-))^2 \quad \begin{cases} \rho(e^+) = (E^+; 0, 0, -E^+) \\ \rho(e^-) = (E^-; 0, 0, E^-) \end{cases}$$

$$\Rightarrow s = 4 \cdot E^+ E^- \Rightarrow \sqrt{s} = 2\sqrt{E^+ E^-} = 2\sqrt{4.5 \cdot 2} = 6 \text{ GeV}$$

In questo collider si possono produrre  $d\bar{d}$ ,  $u\bar{u}$ ,  $s\bar{s}$ ,  $c\bar{c}$ , ma non  $b\bar{b}$  in quanto la massa del b è di 4.5 GeV

6. La vita media del muone è 2.197  $\mu\text{s}$ . Calcolare quella del leptone tau, tenendo presente che il branching ratio del tau che va in elettrone e due neutrini è 18%. La massa del muone è di 105.7 MeV e quella del tau è di 1784 MeV. [6 punti]

Occorre applicare la regola di Sargent: la probabilità di transizione è proporzionale alla massa alla quinta. Per gli stessi canali di decadimento, la costante di proporzionalità è la stessa per il muone e per il tau.

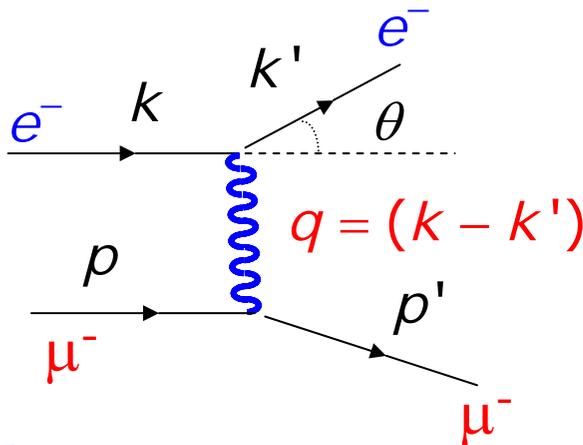
$$W_\mu = \Gamma_\mu = \frac{1}{\tau_\mu} = A \cdot m_\mu^5$$

$$W_\tau(\tau^- \rightarrow e^- \nu_e \nu_\tau) = B.R. \Gamma_\tau = \frac{B.R.}{\tau_\tau} = A \cdot m_\tau^5$$

$$\Rightarrow \frac{\tau_\tau}{\tau_\mu} = B.R. \frac{m_\mu^5}{m_\tau^5} \Rightarrow \tau_\tau = B.R. \frac{m_\mu^5}{m_\tau^5}$$

$$\tau_\tau = 2.197 \cdot 10^{-6} \cdot 0.18 \cdot \left(\frac{105.7}{1784}\right)^5 = 2.887 \cdot 10^{-13}$$

7. In un esperimento di scattering di elettrone su protone si utilizza un fascio di elettroni di energia 8 GeV. In un evento si misura un elettrone di energia 3 GeV diffuso a  $20^\circ$ . Calcolare le variabili cinematiche dello scattering,  $Q^2$ ,  $\nu$  e  $x$  e dire se lo scattering è elastico oppure anelastico. Si usi 1 GeV per la massa del protone e si tenga presente che la formula per il calcolo di  $Q^2$  a pagina 14 delle dispense è sbagliata. [6 punti]



$$Q^2 = 2EE'(1 - \cos\theta)$$

$$\nu = E - E' \quad (\text{Nel laboratorio})$$

$$x = \frac{Q^2}{2M\nu}$$

$$Q^2 = 2EE'(1 - \cos\theta) = 2 \cdot 8 \cdot 3 \cdot (1 - \cos 20^\circ) = 2.8944 \text{ GeV}^2$$

$$\nu = E - E' = 8 - 3 = 5 \text{ GeV}$$

$$x = \frac{Q^2}{2M\nu} = \frac{2.8944}{2 \cdot 1 \cdot 5} = 0.289$$

$x < 1$ , quindi lo scattering è anelastico

8. Si abbia un sistema composto da una  $\Sigma^-$  ed un protone. Scrivere la funzione d'onda del sistema in termini degli stati di isospin totale del sistema e calcolare la probabilità di trovare il sistema in uno stato di spin isotopico totale  $\frac{1}{2}$  [4 punti]

- La  $\Sigma^-$  ha  $I=1$  e  $I_3=-1$ , mentre il protone ha  $I=1/2$  e  $I_3 = +1/2$ , combinando insieme i due stati si può avere come isospin totale  $\frac{1}{2}$  oppure  $3/2$  e come terza componente  $-1/2$ .

$$|\Sigma^- p\rangle = \sqrt{\frac{1}{3}} \left| \frac{3}{2}, -\frac{1}{2} \right\rangle - \sqrt{\frac{2}{3}} \left| \frac{1}{2}, -\frac{1}{2} \right\rangle$$

- la probabilità di trovare il sistema in uno stato di isospin totale  $\frac{1}{2}$  è di  $2/3$

- 9. Il bosone Z è caratterizzato dalle seguenti grandezze: larghezza totale 2.495 GeV, larghezza parziale in adroni 1.744 GeV, larghezza parziale in una coppia di muoni di 84 MeV, che è anche uguale a quella in elettroni ed in tau (universalità leptonica). Se facciamo l'ipotesi che al Lep si fosse misurata una larghezza totale di 2.661 GeV, con le stesse misure per la larghezza parziale adronica e per quella parziale in muoni e rispettando l'universalità leptonica, cosa si sarebbe potuto concludere? Spiegare. [5 punti]

$$\Gamma_Z = \Gamma_{\text{leptoni carichi}} + \Gamma_{\text{adroni}} + N_\nu \cdot \Gamma_{\nu\bar{\nu}}$$

- Dalle misure relative allo Z, si ricava che la larghezza invisibile (decadimento in neutrini) è 499 MeV, quindi la larghezza in una coppia di neutrini è di circa 166 MeV.
- Se al Lep si fosse misurata la larghezza totale di 2.661 GeV, fermo restando le misure nelle larghezze parziali visibili, questo implicava che l'aumento era dovuto alla larghezza invisibile. L'aumento è proprio di 166 MeV, quindi vuol dire che si era prodotto un quarto neutrino.