

Lezione 17

Quark, gluoni e interazione forte

Quark di **valenza**

determinano i numeri quantici del nucleone.

Quark del **mare**

coppie di quark-antiquark che non contribuiscono a definire i numeri quantici del nucleone.

Quark **costituenti**

3 quark vestiti dall'interazione.

Masse quark nudi $m_u \simeq 2 - 8 \text{ MeV}$ $m_d \simeq 2 - 8 \text{ MeV}$

Masse quark costituenti $m \simeq 300 \text{ MeV}$

Adroni composti da quark e gluoni classificati in

Barioni spin semi-intero.

Sono formati da 3 quark.

nucleone: p e n spin $1/2$

Δ : $\Delta^{++}, \Delta^+, \Delta^0, \Delta^-$, spin $3/2$

Conservazione del numero barionico.

$B=1$ per barioni $B=-1$ per antibarioni.

$B=1/3$ per quark, $B=-1/3$ per antiquark. Le altre particelle hanno $B=0$.

$$p \rightarrow \pi^0 + e^+ + \nu_e$$

energeticamente permessa ma non si verifica.

Violazione della conservazione del numero barionico.

$$\tau(p \rightarrow \pi^0 + e^+ + \nu_e) > 5.5 \cdot 10^{32} \text{ y}$$

Mesoni spin intero

composti da $q \bar{q}$

pioni tripletto di isospin $m_\pi \simeq 140 \text{ MeV}$

$$|\pi^+ \rangle = |u\bar{d} \rangle \quad |\pi^0 \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|u\bar{u} \rangle - |d\bar{d} \rangle) \quad |\pi^- \rangle = |d\bar{u} \rangle$$

Decadimento in leptoni.

Non c'è conservazione del numero di mesoni.

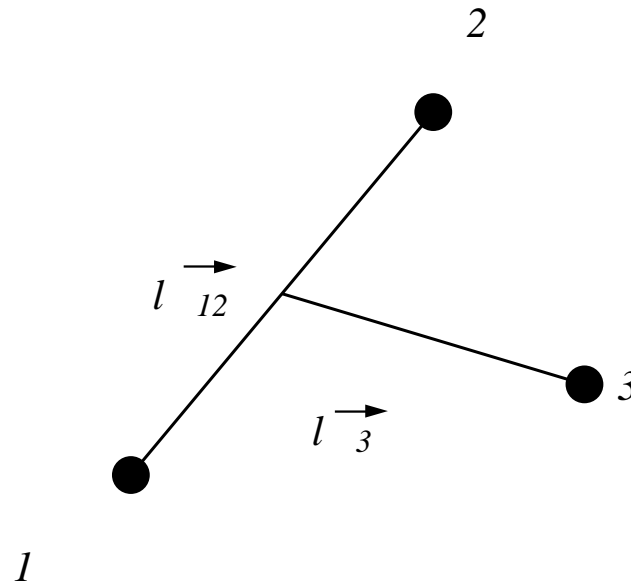
La composizione di $q \bar{q}$ ha $B=0$.

Numero quantico di

C O L O R E

Δ^{++} formata da (uuu) ; $J = 3/2$; $\Pi = 1$.

Barione più leggero di questo tipo quindi $L=0$.



$$\mathbf{L} = \mathbf{l}_{12} + \mathbf{l}_3$$

Funzione d'onda della Δ^{++}

$$\Psi = \Phi(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \mathbf{r}_3) \chi(1, 2, 3) \xi_S(1, 2, 3)$$

Φ parte radiale (simmetrica $L = 0$)

χ termine di spin (simmetrico)

ξ termine di sapore (simmetrico)

Per salvare il principio di esclusione di Pauli si introduce il numero quantico di colore. La funzione d'onda viene moltiplicata per un termine antisimmetrico per lo scambio di due colori, **singoletto di colore**.

I gluoni hanno un contenuto di colore anticolore, ad es. $r\bar{g}$.

Analogia SU(2) indica come accoppiare due sistemi con spin 1/2 .
1 stato di singoletto

$$|S = 0, M = 0 \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (\uparrow\downarrow - \downarrow\uparrow)$$

3 stati di tripletto

$$|S = 1, M = 1 \rangle = \uparrow\uparrow$$

$$|S = 1, M = 0 \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (\uparrow\downarrow + \downarrow\uparrow)$$

$$|S = 1, M = -1 \rangle = \downarrow\downarrow$$

SU(3) indica come accoppiare due sistemi con numeri quantici che possono assumere 3 possibili valori.

Singoletto

$$\frac{1}{\sqrt{3}} (r\bar{r} + b\bar{b} + g\bar{g})$$

Ottetto

$$\begin{array}{ccc} r\bar{g} & r\bar{b} & g\bar{b} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} (r\bar{r} - g\bar{g}) & \frac{1}{\sqrt{6}} (r\bar{r} + g\bar{g} - 2b\bar{b}) & \end{array}$$

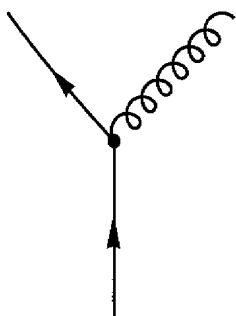
Confinamento

Mai identificata la presenza di quark liberi.

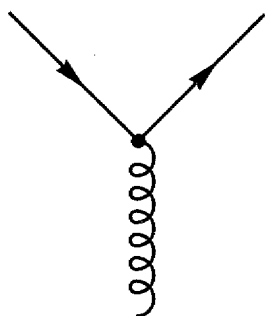
Mai identificati stati $|qq\rangle$ oppure $|qq\bar{q}\rangle$.

QCD non esclude stati come $|q\bar{q}q\bar{q}\rangle$ oppure glueballs.

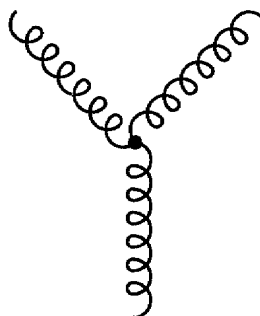
Mai identificati



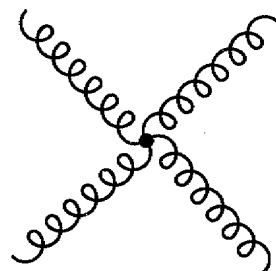
(a)



(b)

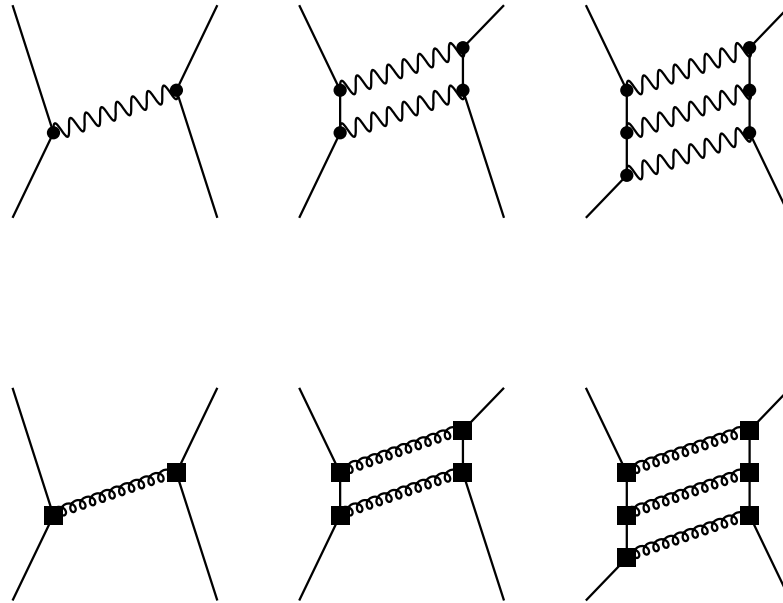


(c)



(d)

Libertà asintotica



Sviluppo perturbativo

$$\alpha_S(Q^2) = \frac{12\pi}{(33 - 2n_F) \ln(\frac{Q^2}{\Lambda^2})}$$

$$n_F = 3 - 6 \quad \Lambda \simeq 250 MeV \quad \alpha_S \ll 1 \text{ per } Q^2 \gg \Lambda^2 \simeq 0.06 \text{ GeV}^2$$

Domande

[P1-1] Quali sono i numeri quantici che caratterizzano la risonanza Δ ?

[P1-3] Nel modello a quark ingenuo, qual' è la composizione di barioni e mesoni in termini di quark?

[P1-4] Quanti sapori differenti di quark esistono, e quali sono i valori dei numeri quantici che li distinguono ?

[P1-8] Che differenza c' è tra quark di valenza, del mare e costituenti?

[P1-9] Si afferma che gli adroni sono entità prive di numero quantico di colore. Questa affermazione non è sufficientemente precisa. Come dovrebbe essere più correttamente formulata?

[P1-10] Il decadimento $p \rightarrow \pi^0 + e^+ + \nu_e$ non è mai stato osservato. Quale legge di conservazione violerebbe?

[P3-2] La struttura della funzione d'onda che descrive lo stato fondamentale della risonanza Δ^{++} viene comunemente utilizzata per introdurre il numero quantico di colore. Perché?

[P3-3] Il concetto di energia di legame è definibile per i leptoni? E per gli adroni (sia barioni che mesoni)? Amesso che sia definibile, è una quantità misurabile in questi casi?

[P3-4] Qual è il contenuto in termini di numero quantico di colore dei gluoni? In quanti tipi differenti possono essere classificati?

[P3-5] Ogni teoria delle interazioni forti deve prevedere il confinamento e la libertà asintotica. A quali fenomeni fisici sono legate queste due caratteristiche dell'interazione forte?

[P2-10] Qual'è il valore della terza componente dell'isospin dei seguenti sistemi di quark:
(a) $u\bar{s}$, (b) $c\bar{d}$, (c) $\bar{u}\bar{u}\bar{d}$, (d) ddc , (e) ubc , (f) $s\bar{s}$.