Lezione 23

Mesoni leggeri

Le masse di u, d e s hanno valori simili, quindi c'è mescolamento dei tre sapori nella formazione dei mesoni.

Consideriamo coppie q e $\overline{q}$ che si muovono in onda S relativa.

Il momento angolare totale può essere solo 0 o 1 e la parità negativa dato che q e $\overline{q}$ hanno parità opposte

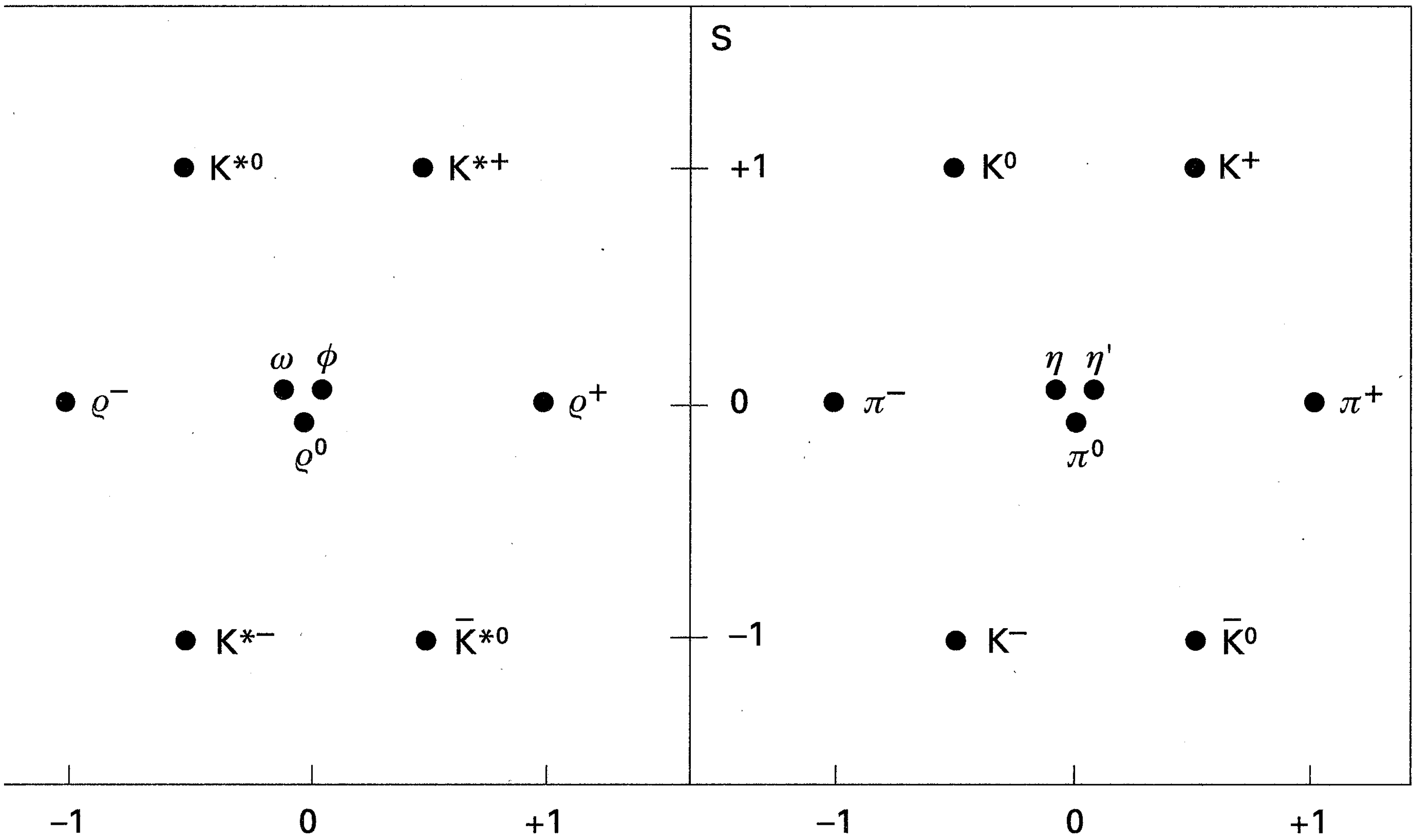
$$\Pi = (-1)^L \Pi_q \Pi_{\overline{q}}$$

Numeri quantici dei quark leggeri

	I	I_3	S	Q/e	B	J
u	1/2	+1/2	0	+2/3	+1/3	1/2
d	1/2	-1/2	0	-1/3	+1/3	1/2
s	0	0	-1	-1/3	+1/3	1/2
$\overline{u}$	1/2	-1/2	0	-2/3	-1/3	1/2
$\overline{d}$	1/2	+1/2	0	+1/3	-1/3	1/2
$\overline{s}$	0	0	+1	+1/3	-1/3	1/2

La simmetria di isospin è meglio conservata che SU(3) di sapore.

Mesoni leggeri



3 × 3 combinazioni di sapore per $q\ \bar{q}$

Singoletto e Ottetto

Mesoni pseudoscalari $J^{\pi} = 0^{-}$

Nella linea S=0

$$\pi^{-} \equiv |d\overline{u}> \qquad \pi^{+} \equiv |u\overline{d}> \qquad \pi^{0} \equiv \frac{1}{\sqrt{2}}\Big(|u\overline{u}> -|d\overline{d}>\Big)$$

segno - perché trattiamo particelle e antiparticelle.

Altri due stati con $I = 0$, carica, I e S nulli.

$$\begin{aligned} |\eta> &= \frac{1}{\sqrt{6}}\Big(|u\overline{u}> +|d\overline{d}> -2|s\overline{s}>\Big) \qquad \rightarrow |8> \\ |\eta'> &= \frac{1}{\sqrt{3}}\Big(|u\overline{u}> +|d\overline{d}> +|s\overline{s}>\Big) \qquad \rightarrow |1> \end{aligned}$$

$K^{\pm}$, K^{0}, $\overline{K}^{0}$ sono combinazioni di u, d, s.
Isospin 1/2 e stranezza ± 1.

Mesoni vettoriali $J^{\pi} = 1^{-}$

Tripletto di isospin

$$\rho^{-} \equiv |d\overline{u}> \qquad \rho^{+} \equiv |u\overline{d}> \qquad \rho^{0} \equiv \frac{1}{\sqrt{2}}\left(|u\overline{u}> - |d\overline{d}>\right)$$

Gli altri stati a $S = 0$ sono combinazione lineare degli stati puri $|8>$ e $|1>$ di $SU(3)$

$$\begin{pmatrix} |A> \\ |B> \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} |1> \\ |8> \end{pmatrix}$$

$$\cos\theta = \sqrt{\frac{2}{3}} \qquad \sin\theta = \sqrt{\frac{1}{3}} \qquad \tan\theta = \sqrt{\frac{1}{2}}$$

$$
\begin{aligned}
|A> &= \sqrt{\frac{2}{3}}|1> + \sqrt{\frac{1}{3}}|8> \\
&= \sqrt{\frac{2}{3}}\frac{1}{\sqrt{3}}\left(|u\overline{u}> + |d\overline{d}> + |s\overline{s}>\right) \\
&+ \sqrt{\frac{1}{3}}\frac{1}{\sqrt{6}}\left(|u\overline{u}> + |d\overline{d}> - 2|s\overline{s}>\right) \\
&= \sqrt{\frac{1}{2}}\left(|u\overline{u}> + |d\overline{d}>\right) \rightarrow \color{red}{|\omega>}
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
|B> &= -\sqrt{\frac{1}{3}}|1> + \sqrt{\frac{2}{3}}|8> \\
&= -\sqrt{\frac{1}{3}}\frac{1}{\sqrt{3}}\left(|u\overline{u}> + |d\overline{d}> + |s\overline{s}>\right) \\
&+ \sqrt{\frac{2}{3}}\frac{1}{\sqrt{6}}\left(|u\overline{u}> + |d\overline{d}> - 2|s\overline{s}>\right) \\
&= |s\overline{s}> \rightarrow \color{red}{|\phi>}
\end{aligned}
$$

Sistema di K

$K^{\pm}$ possono decadere sia in due sia in tre pioni

Violazione di parità

Consideriamo $\overline{K}^0 \equiv (s\overline{d})$ e $K^0 \equiv (d, \overline{s})$

Ipotesi: attive solo le interazioni forti ed e.m.

$$H_{sem} = H_{strong} + H_{e.m.}$$

Gli autostati di H_{sem} hanno stranezza ben definita.

$$S(K^0) = 1 \qquad S(\overline{K}^0) = -1$$

Sistema di riferimento a riposo

$$H_{sem}|K^0>= M_0|K^0>$$

C operatore di coniugazione di carica $C|K^0>= |\overline{K}^0>$

Se H_{sem} è invariante per per C

$$C^+H_{sem}C = H_{sem} \qquad H_{sem}C = CH_{sem}$$

quindi

$$\begin{aligned} H_{sem}|\overline{K}^0> &= H_{sem}C|K^0>= CH_{sem}|K^0>= CM_0|K^0> \\ &= M_0C|K^0>= M_0|\overline{K}^0> \end{aligned}$$

$|K^0>$ e $|\overline{K}^0>$ sono due stati degeneri di H_{sem} con stranezza di segno opposto.

$|K^0>$ e $|\overline{K}^0>$ non sono autostati di CP

$$CP|K^0>= -|\overline{K}^0> \qquad\qquad CP|\overline{K}^0>= -|K^0>$$

Parità intriseca negativa

L'interazione debole non conserva P, ma si hanno indicazioni di conservazione di CP.

$$(CP)^+ H_{tot} CP = (CP)^+ (H_{sem} + H_w) CP$$

Partendo da $|K^0>$ e $|\overline{K}^0>$ si possono costruire loro combinazioni lineari che siano autostati di H_{tot} e anche di CP, che commuta con H_{tot}.

$$|K_S>= \frac{1}{\sqrt{2}}\left(|K^0> -|\overline{K}^0>\right) \qquad\qquad |K_L>= \frac{1}{\sqrt{2}}\left(|K^0> +|\overline{K}^0>\right)$$

$$CP|K_S>= \frac{1}{\sqrt{2}}\left(-|\overline{K}^0> +|K^0>\right) = (1)|K_S>$$

$$CP|K_L>= \frac{1}{\sqrt{2}}\left(-|\overline{K}^0> -|K^0>\right) = (-1)|K_L>$$

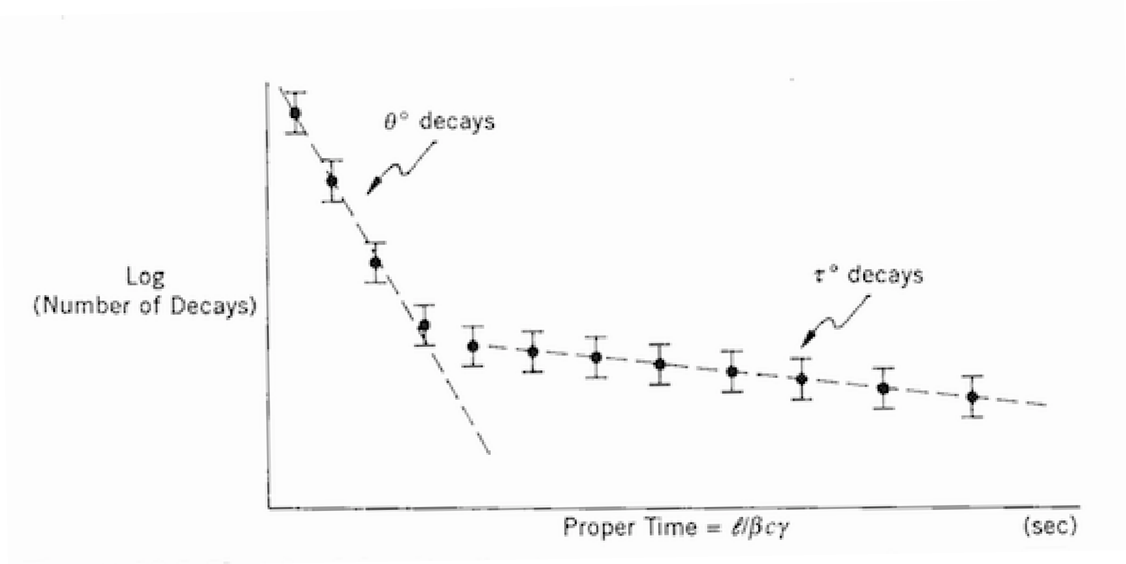
$|K_S>$ decade in due pioni $|K_L>$ in tre pioni.

$$P|\pi^0>=-|\pi^0> \qquad C|\pi^0>=|\pi^0>$$

$$CP|\pi^0\pi^0>=P|\pi^0\pi^0>=(-1)(-1)(-1)^{L=0}|\pi^0\pi^0>=(1)|\pi^0\pi^0>$$

$$\begin{aligned} CP|\pi^0\pi^0\pi^0> &= P|\pi^0\pi^0\pi^0>=(-1)(-1)(-1)(-1)^{L=0}|\pi^0\pi^0\pi^0> \\ &= (-1)|\pi^0\pi^0\pi^0> \end{aligned}$$

La densità degli stati finali di K_S molto più grande di quella di K_L.
$\tau(K_L) >> \tau(K_S)$



	τ [s]		%
K_S	$8.923\ 10^{-9}$	$\pi^+\pi^-$	68
		$\pi^0\pi^0$	31
		$\ldots$	1
K_L	$5.183\ 10^{-8}$	$\pi^0\pi^0\pi^0$	21.5
		$\pi^+\pi^-\pi^0$	12.4
		$\pi^\pm\mu^\mp(\nu_\mu\bar{\nu}_\mu)$	27.1
		$\pi^\pm e^\mp(\nu_e\bar{\nu}_e)$	38.1

Per $t >> \tau(K_s)$ rimangono solo i K_L.

Misure di precisione fatte a $t >> \tau(K_s)$ hanno mostrato decadimenti in due pioni.

Anche i K_L decadono in due pioni (0.2 %). Violazione di CP.

Al momento la violazione di CP è stata osservata solo nel sistema $K^0\ \overline{K}^0$

Domande

[P2-5] [P2-7] [P4-13]