

Mesonen aus leichten Quarks

Konstituentenmassen von b und c klar getrennt

Leichte Mesonen aus u, d, s : nur kleine Unterschiede $\rightarrow$ Mischungen

keine nichtrelativistische Behandlung möglich.

Trotzdem Spektren sehr ähnlich zu $c\bar{c}$, $b\bar{b}$

Konstituenten-Quark-Modell

Konstituenten-

Quark-Masse =

intrinsische Quark-Masse
("current mass")

wahrscheinlich aus
Higgs-Mechanismus

u, d : ca. 5 MeV

:

t : ca. 175 000 MeV

+ dynamische Masse
von Gluonen
und sea-quarks
(ca. 300 MeV)

u, d, s : current mass $\ll$ dynamische Masse

c, b, t : current mass $\gg$ dynamische Masse

Spin, Parität und Ladungskonjugation von Mesonen

$$\vec{S} = \vec{S}_q \oplus \vec{S}_{\bar{q}} \quad \text{Gesamt-Spin ; } \oplus \text{ Bahndrehimpuls } \vec{L} \Rightarrow \text{Gesamt-drehimpuls } \vec{J}$$

$$\vec{J} = \vec{L} \oplus \vec{S} \quad \text{Gesamtdrehimpuls des gebundenen } q\bar{q}\text{-Zustands} \\ \equiv \text{„Spin“ des Mesons}$$

Parität :

$$P = (-1)^{L+1}$$

wg. $P(\text{Fermion}) = -P(\text{Antifermion})$
und $P(\text{Ortswellenfunktion}) = (-1)^L$

Ladungskonjugation

$$C = (-1)^{L+S}$$

$$\text{Bew. } \hat{C} (q(\vec{r}_1, \vec{s}_1) \bar{q}(-\vec{r}_1, \vec{s}_2)) = C \cdot (\bar{q}(\vec{r}_1, \vec{s}_1) q(-\vec{r}_1, \vec{s}_2))$$

1) $\vec{r}_1$ und $-\vec{r}_1$ vertauschen:
(Parität)

$$(-1)^{L+1}$$

2) Spins $\vec{s}_1$ und $\vec{s}_2$ vertauschen :

$$(-1)^{S+1}$$

antisymmetrisch für S gerade

symmetrisch für S ungerade: $\uparrow\uparrow, \uparrow\downarrow + \downarrow\uparrow, \downarrow\downarrow$

$$\Rightarrow C = (-1)^{L+1} (-1)^{S+1} = (-1)^{L+S+2} = (-1)^{L+S}$$

Pseudoskalare Mesonen ($L=0, S=0, \uparrow\downarrow, J^{PC} = 0^{-+}$)

⇒ Grundzustand, leichteste Mesonen

Mit 3 Quarks u, d, s erhält man 9 pseudoskalare Mesonen:

u, d : Isospin-Symmetrie $SU(2)$ [starker Isospin, erhalten in starker WW, nicht in e.m.]

s -Quark: etwas schwerer: $m_{\text{Konst}} \approx 450 \text{ MeV}$

näherungsweise Flavour- $SU(3)$ -Symmetrie

Quantenzahl Strangeness (ladungsartig, additiv) erhalten in starker und e.m. Wechselwirkung (aber nicht schwach)

$$S(s\text{-Quark}) = -1$$

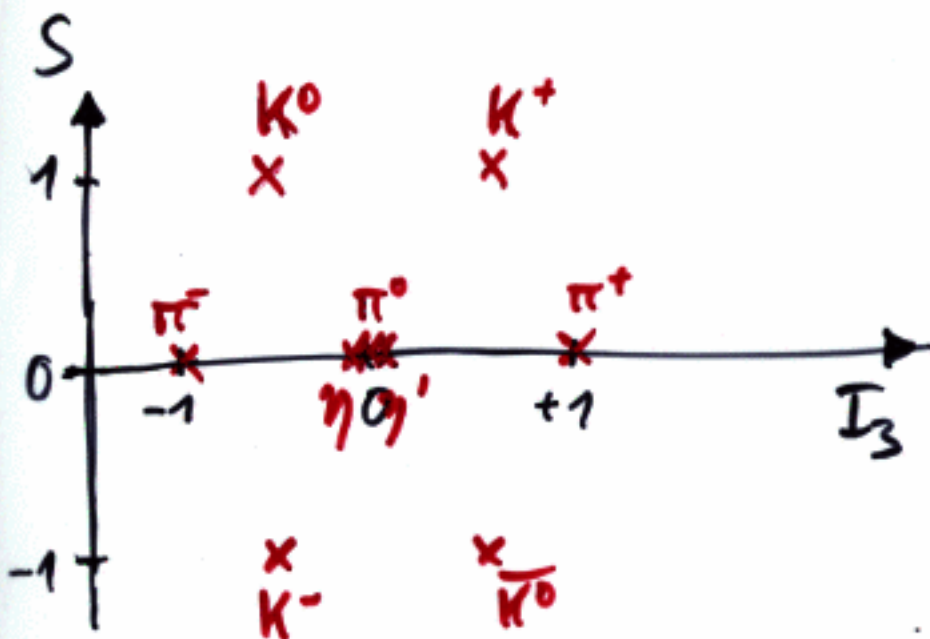
$$S(\bar{s} \text{ Antiquark}) = +1$$

Vektarmesonen ($L=0, S=1, \uparrow\uparrow, J^{PC} = 1^{--}$)

wg. Spin-Spin-WW höhere Massen als 0^{-+} -Mesonen.

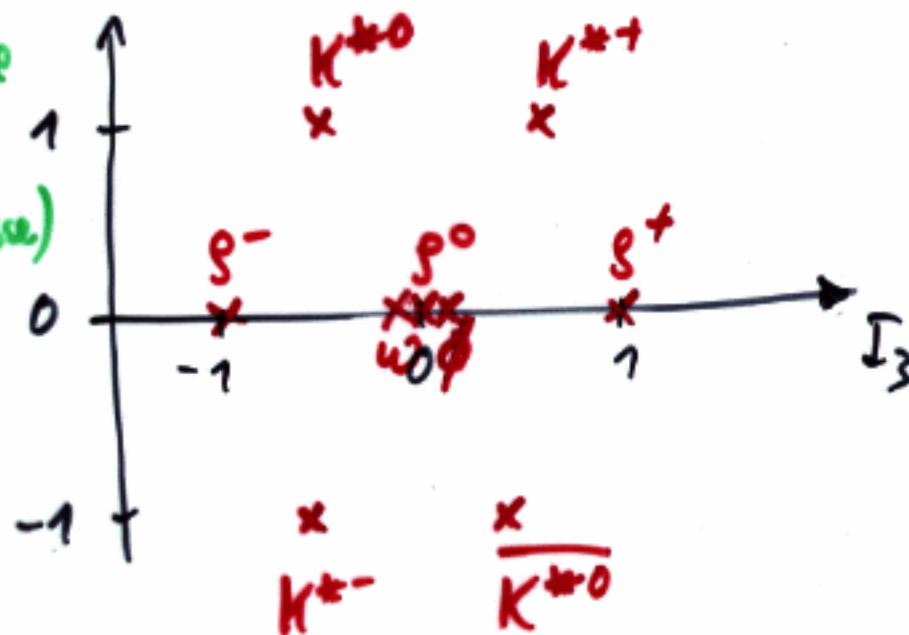
$3 \otimes \bar{3} \Rightarrow 9 \text{ Mesonen} = \text{Nonett}$
 spalten auf in 1 Singlett und 8 Oktett-Mesonen

0^{-+} Nonett



1^{--} Nonett

mischen wg.
 gebrochener
 $SU(3)$ -
 Symmetrie
 (Strange-
 Quark-Masse)



Isospin - Triplet: π^-, π^0, π^+
 $SU(3)-8$: Isospin - Singletts: η, η'
 $SU(3)-1$:
 2 Isospin - Doublets: K^0, K^+
 $K^-, \bar{K}^0$

$\bar{u}d, \frac{1}{\sqrt{2}}(u\bar{u} - d\bar{d}), u\bar{d}$
 $\frac{1}{\sqrt{6}}(u\bar{u} + d\bar{d} - 2s\bar{s})$
 $\frac{1}{\sqrt{3}}(u\bar{u} + d\bar{d} + s\bar{s})$
 $d\bar{s}, \bar{u}s$
 $s\bar{d}, \bar{d}s$

Die 3 Zustände mit $S=0, I_3=0$ können im Prinzip
 mischen. $m(\pi^\pm) \approx m(\pi^0)$ Isospin-Symmetrie gut
 $m(\eta') > m(\eta) > m(\pi^0)$ $SU(3)$ -Symmetrie nur
 näherungsweise

Oktett-Singlett-Mischung $|\eta'\rangle = \cos\theta |\eta_1\rangle - \sin\theta |\eta_8\rangle$
 $|\eta\rangle = \sin\theta |\eta_1\rangle + \cos\theta |\eta_8\rangle$

Vektarmesonen + $L=1$ -Mesonen: fast „ideale“ Mischung
 d.h. ein $I=0$ -Zustand ist $\approx \frac{1}{\sqrt{2}} (u\bar{u} + d\bar{d}) : \omega$
 der andere $I=0$ -Zustand ist $ss : \phi$

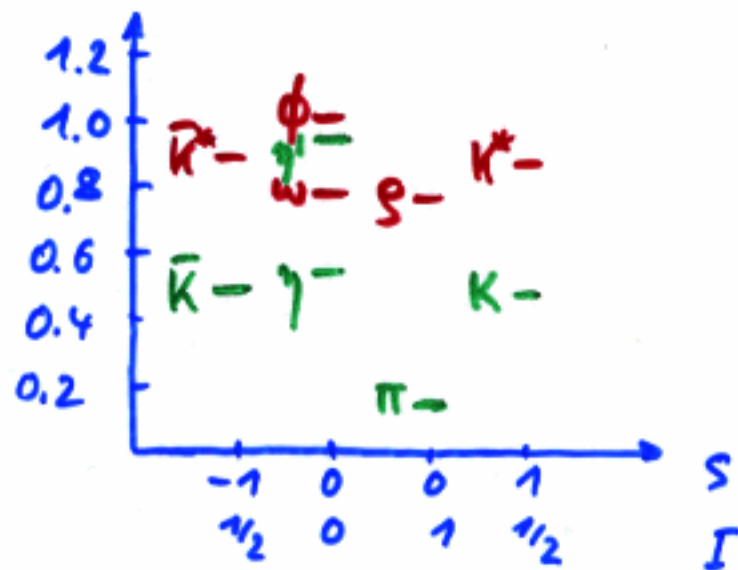
Massen der Mesonen:

Spin-Spin-Wechselwirkung: $\Delta M_{SS} = \begin{cases} -3 \cdot \frac{8\pi^3}{9c^3} \frac{\pi\alpha_s}{m_q m_{\bar{q}}} |\psi(0)|^2 & 0^{-+} \\ +1 \cdot \frac{8\pi^3}{9c^3} \frac{\pi\alpha_s}{m_q m_{\bar{q}}} |\psi(0)|^2 & 1^{-} \end{cases}$

Massenformel: $M_{q\bar{q}} = m_q + m_{\bar{q}} + \Delta M_{SS}$

beschreibt alle 0^{-+} und 1^{-} -Mesonen auf 1% Genauigkeit

Masse / GeV



Parameter: $m_{u,d} \approx 310 \text{ MeV}$
 $m_s \approx 483 \text{ MeV}$

Mesonen mit $L=1$

$$S=0$$

Spin-Singlett

$$\uparrow\downarrow \Rightarrow$$

$$\vec{J} = \vec{L} \oplus \vec{S} = \vec{L} \oplus 0 = \vec{L} = 1$$

$$P = (-1)^{L+1} = +1$$

$$C = (-1)^{L+S} = -1$$

$$J^{PC} = 1^{+-}$$

$$^{2S+1}L_J = ^1P_1$$

$$S=1$$

Spin-Triplett

$$\uparrow\uparrow \Rightarrow$$

$$\vec{J} = \vec{L} \oplus \vec{S} = 1 \oplus 1 = \begin{cases} 0 \\ 1 \\ 2 \end{cases}$$

$$P = (-1)^{L+1} = +1$$

$$C = (-1)^{L+S} = +1$$

$$J^{PC} = \begin{cases} 0^{++} & 3P_0 \\ 1^{++} & 3P_1 \\ 2^{++} & 3P_2 \end{cases}$$

$L=0$:

$$0^{-+}$$

Pseudoskalare Mesonen

$$1^{--}$$

Vektor-Mesonen

$L=1$:

$$0^{++}$$

Skalare Mesonen

$$1^{+-}$$

$$1^{+-}$$

$$2^{++}$$

} Axialvektor-Mesonen

Tensor-Mesonen

Zerfallskanäle

① Zerfälle müssen kinematisch möglich sein

② dominant: starke Zerfälle, restriktivste Erhaltungssätze
 dann: elektromagnetische Zerfälle, Isospin, SU(3)-Verletzung
 erst dann: schwache Zerfälle, viele Symmetrien verletzt, Übergänge zwischen Quark-Flavours

Zerfälle der Vektormesonen: starke WW



$$\tau = 4.3 \cdot 10^{-24} \text{ s}$$



$$\tau = 1.3 \cdot 10^{-23} \text{ s}$$

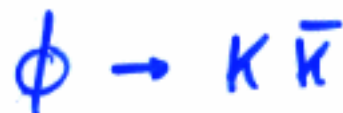
(Phasenraum kleiner)



$$\tau = 7.8 \cdot 10^{-23} \text{ s}$$

$\omega \rightarrow \pi \pi$ wg. G-Parität verboten:

$$G = C \cdot (-1)^I = (-1)^{\# \text{Pionen}}$$



83% (Phasenraum klein)



13% Zweig-untedrückt



(via 3 Gluonen, siehe J/psi-Zerfall)

Zerfall der Pseudoskalaren Mesonen

$\pi^\pm$: leichtestes Hadron, geladen $\Rightarrow$ nur schwache WW möglich
 $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$ $\tau = 2.6 \cdot 10^{-8} \text{ s}$ als Spur rekonstruierbar

π^0 : neutral, elektromagnetischer Zerfall in 2 Photonen möglich
 $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ $\tau = 8.4 \cdot 10^{-17} \text{ s}$

$K^\pm$: leichtestes Meson mit Strangeness $\Rightarrow$ schwacher Zerfall
 nötig für $s \rightarrow u$ - Übergang

$K^+ \rightarrow \begin{cases} \mu^+ \nu_\mu & 64\% \\ \pi^+ \pi^0 & 21\% \\ 3\pi & 7\% \end{cases}$ $\tau = 1.2 \cdot 10^{-8} \text{ s}$
 als Spur rekonstruierbar

η : $\tau = 5.5 \cdot 10^{-19}$
 $\eta \rightarrow 2\gamma$ 39% elektromagn.
 $\eta \rightarrow 3\pi$ 55% elektromagn.

η' : $\tau = 3.3 \cdot 10^{-21}$
 $\eta' \rightarrow \gamma \pi \pi$ 65% stark, Zweig-
 $\eta' \rightarrow \gamma\gamma$ 30% unterdrückt
 elektromagn.

