

quarks

Language: German / English

Lectures: MON 15:30 - 17:00, WED 08:30 - 10:00 [Seminar at 10:15]

Exercises: FRI 14:00 - 15:30 [P. Scior, S. Schwieemann]

Prerequisites: QFT, KT2

Literature: M. D. Schwartz, QFT & SM, Cambridge 2014 [main text, buy / 3 copies in lib.]

F. Halzen, A. Martin, Quarks & Leptons, Wiley 1987

D. Perkins, Introduction to HEP, Addison Wesley 1987

cf. Weppage ...

Introduction

Quarks, Konzepte, Wechselwirkungen, Symmetrien

$$q: \begin{pmatrix} \bar{u} \\ \bar{d} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix} \begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix}$$

$$L: \begin{pmatrix} e \\ \nu_e \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mu \\ \nu_\mu \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \tau \\ \nu_\tau \end{pmatrix}$$

$$\text{Baryonen: } (qqq)$$

$$\text{Mesonen: } (q\bar{q})$$

Quarks, Leptonen, Fermionen sind Spin- $\frac{1}{2}$ Teilchen

Erhaltungsgroßen

Ladung: Q

Baryonzahl: B mit $B(q) = \frac{1}{3}$ $B(\bar{q}) = -\frac{1}{3}$

Leptonenzahl: L erhalten innerhalb der 3 Familien
(additive Erhaltungst.)

Prozifiration der WW'n

Gravitation Elektrizität, Magnetismus, schwache WW, starke WW, ??

Elek-Magn.
(Maxwell)

elektroschwache WW

QCD - QED

GUT

WW	Stärke	Reichweite
Gravitation	10^{-36}	∞
e-m WW	10^{-2} (α)	∞
Schwache WW	10^{-6}	$< 10^{-17}$ m
starke WW	1	$\sim 10^{-15}$ m (fm)
(super schwache WW 5. Kraft	$\approx 10^{-16}$??	? mm \rightarrow m) ?

Elementarteilchen

Q	Familien
$+\frac{2}{3}$..	(u, c, t) $(u, d, c, s, t, b)_2$

$+\frac{2}{3}$	$(u)_L$	$(c)_L$	$(t)_L$	$(u, d, c, s, t, b)_R$
$-\frac{1}{3}$	$(d)_L$	$(s)_L$	$(b)_L$	
-1	$(e)_L$	$(\mu)_L$	$(\tau)_L$	$(e, \mu, \tau)_R$
0	$(\nu_e)_L$	$(\nu_\mu)_L$	$(\nu_\tau)_L$	

⇒ Eichbosonen

Graviton	$S=2$	
γ	$S=1$	
W^+, W^-, Z	$S=1$, geladene & neutrale Ströme
$8 g$	$S=1$	

• Proton : $p = (u u d)$ $m = 938 \text{ MeV}$

$$Q : \frac{2}{3} + \frac{2}{3} - \frac{1}{3} = 1$$

$$B : \frac{1}{3} + \frac{1}{3} + \frac{1}{3} = 1$$

$$J : \uparrow \downarrow \uparrow = \frac{1}{2}$$

• Neutron : $n = (u d d)$ $m = 939 \text{ MeV}$

$$Q : \frac{2}{3} - \frac{1}{3} - \frac{1}{3} = 0$$

$$B : \frac{1}{3} + \frac{1}{3} + \frac{1}{3} = 1$$

$$J : \uparrow \downarrow \downarrow = \frac{1}{2}$$

• Pion : $\pi^+ = (u \bar{d})$ $m = 140 \text{ MeV}$

$$Q : \frac{2}{3} + \frac{1}{3} = 1$$

$$B : \frac{1}{3} - \frac{1}{3} = 0$$

$$J : \uparrow + \downarrow = 0$$

innere → $P : = (-1)$

$$\pi^- = (\bar{u} d) \quad m = 140 \text{ MeV}$$

⋮
⋮
⋮

$$\pi^0 = \frac{1}{\sqrt{2}} (\bar{u} u + d \bar{d}) \quad m = 135 \text{ MeV}$$

$$Q = 0$$

$$B = 0$$

$$J = 0$$

$$P = -1$$

Warum gibt es kein $(u \bar{u})$ oder $(d \bar{d})$

→ Massenerntartung

Symmetrie : kleiner Exkurs in KP

symm. pp _____ $(pn + np)$ _____ $nn \quad T=1 \quad (S=0)$ Isospin-Symmetrie

antisymm. : $(pn - np)$ _____ deutron $T=0, (S=1)$

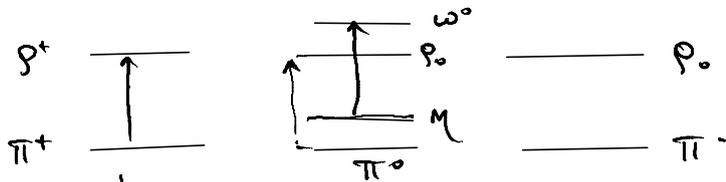
Im $(u d)$ Sektor : wo liegt das Singlett ??

Beim Pion liegt der antisymm. Zustand über dem symm. Zustand !!

antisymm. Zustand : $\eta = \frac{1}{\sqrt{2}} (u \bar{u} - d \bar{d}) \quad m = 550 \text{ MeV}$
Vorzeichen von $\bar{d} = (-1)$

Frage : gibt es $(u d)$ Systeme mit Spin ?

$$\begin{aligned}
 (\pi^+)^* &: \rho^+ = (u\bar{d}), S=1 \quad m = 770 \text{ MeV} \\
 (\pi^-)^* &= \rho^- = (\bar{u}d), S=1 \quad m = 770 \text{ MeV} \\
 (\pi^0)^* &= \rho^0 = \frac{1}{\sqrt{2}}(u\bar{u} + d\bar{d}), S=1 \quad m = 770 \text{ MeV} \\
 (\eta)^* &= \omega^0 = \frac{1}{\sqrt{2}}(u\bar{u} - d\bar{d}), S=1 \quad m = 783 \text{ MeV}
 \end{aligned}$$



! hier liegt eine Symmetrie vor!

Symmetrie: Isospin

$$I(u) = I(d) = \frac{1}{2}$$

$$I_3(u) = +\frac{1}{2}$$

$$I_3(d) = -\frac{1}{2}$$

($\Rightarrow I(n)$ negativ!)

alle anderen Quarks tragen keinen Isospin!!

s \rightarrow strangeness, c \rightarrow charm, b \rightarrow beauty (bottom), t \rightarrow top

Erhaltungsgrößen und Konsequenzen

$$\begin{aligned}
 \textcircled{1} \quad & \left. \begin{aligned} \pi^- + p &\rightarrow \pi^0 + n \\ \pi^+ + n &\rightarrow \pi^0 + p \end{aligned} \right\} \delta(\pi^- p \rightarrow \pi^0 n) = \delta(\pi^+ n \rightarrow \pi^0 p) \\
 & \text{Symmetrie!!} \\
 & \text{exp. verifiziert}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \textcircled{2} \quad & n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e \quad Q \checkmark, B \checkmark, L \checkmark \\
 & \pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu \quad (99\%) \quad Q \checkmark, B \checkmark, L \checkmark \\
 & \mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu \quad (100\%) \quad Q \checkmark, L \checkmark \\
 & \nu_e + \bar{\nu}_e \rightarrow \nu_\mu + \bar{\nu}_\mu \quad \text{ok} \\
 & \pi^0 \rightarrow 2\gamma \quad (100\%) \quad \text{ok} \\
 & \pi^0 \rightarrow 2\nu \quad (10^{-5} \text{ exp.})
 \end{aligned}$$

Rüstzeug und Konsequenzen der q/l-Modelle

Quarks treten nur in gebunden Zuständen auf
Leptonen treten immer nur "frei" auf

$$B: (qqq)$$

$$M: (q\bar{q})$$

Quantenzahlen:

Isospin-Symmetrie

$$SU(2)$$

$$SU(2) \otimes SU(2)$$

$$= 3 \oplus 1$$

	d	u	s	c	b	t
I	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	0	0	0
I ₃	$-\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{2}$	-1	0	0	0
S	0	0	0	1	0	0
C	0	0	0	0	-1	0
B	0	0	0	0	0	1

$$7 \cdot \frac{1}{2}$$

Reaktionen und Quarklinien!

Rüstzeug und Konsequenzen der q/ℓ -Modelle

Quarks treten nur in gebundenen Zuständen auf
Leptonen treten immer nur 'frei' auf

$$B : (qqq)$$

$$M : (q\bar{q})$$

Quantenzahlen:

Isospin-Symmetrie

$$SU(2)$$

$$SU(2) \otimes SU(2)$$

$$= 3 \oplus 1$$

	d	u	s	c	b	t
I	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	0	0	0
I ₃	$-\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{2}$	0	0	0	0
S	0	0	-1	0	0	0
C	0	0	0	1	0	0
B	0	0	0	0	-1	0
T	0	0	0	0	0	1

$$F = \frac{1}{2}$$

Reaktionen und Quarklinien!