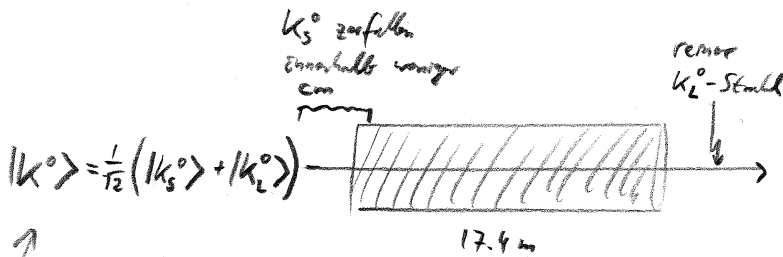


(Skript, S. 54): $\hat{C}\hat{P} |\pi^+\rangle |\pi^-\rangle = + |\pi^+\rangle |\pi^-\rangle$
 $\hat{C}\hat{P} |\pi^0\rangle |\pi^+\rangle |\pi^-\rangle = - |\pi^0\rangle |\pi^+\rangle |\pi^-\rangle$

also sind die folgenden Zerfälle erlaubt:

$K_S^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ (PDG-Baukasten: $\frac{\pi^+ \pi^-}{\pi} \approx 69\%$); $\tau \approx 0.9 \cdot 10^{-10} \text{ s} \Rightarrow c\tau \approx 2.7 \text{ cm}$
 $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \pi^+ \pi^-$ $\xrightarrow{13\%}$; $\tau \approx 5.1 \cdot 10^{-8} \text{ s} \Rightarrow c\tau \approx 15.34 \text{ m}$
 häufiger: $\pi \pi \nu$

Cronin + Fitch - Experiment (1964) $\rightarrow$ [Nobel-Preis 1980]

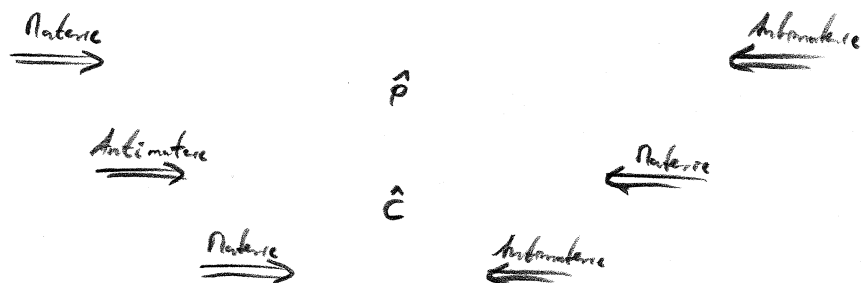


Beobachtung:
 22700 Zerfälle
 45 davon $\pi^+ \pi^-$ oder $\pi^0 \pi^0$

$\Rightarrow$ d.h.: CP wird verletzt!!!
 "CP"
 ((erzeugt durch starke Ws, als
 EZ der Seltsamkeit ($K^0 \bar{K}^0$);
 Zerfall durch schwache Ws, als
 EZ von CP;)) Analogie: Polarisation: zwei Darstellungen möglich))

$\rightarrow$ also ist die Natur nicht spiegelsymmetrisch!

Relevanz: CP ist wichtig, weil es somit einen grundsätzlichen Unterschied zwischen Materie + Antimaterie gibt!



wird CP verletzt, ist der untere Zustand ungleich dem oberen; d.h. nach der Paarveranlichung kann es einen Rest geben!

$\rightarrow$ wichtige Rolle in der Kosmologie (!?)

kann das SM CP-Verletzung beschreiben? JA!

- die CKM-Matrix hat i.A. komplexe Matrixelemente (vgl. Üb. A.50).
 → die meisten davon können durch Phasendrehungen der Quark-Felder als reelle Zahlen undefiniert werden
 → aber für drei Generationen bleibt mindestens eine Phase übrig.
 → diese Phase führt zu CP im SM.
- eigentlich hätten die Parameter θ_{12}, θ_{13} etc (vgl. S. 73) auch komplex sein können
 → in Prinzip können diese Phasen wieder undefiniert werden (vgl. Übung, Aufgabe 52), durch sog. "chirale Transformationen"
 → Sam: in der QFT führen diese Transformationen zu Problemen ("Anomalien"; "starke CP-Verletzung")
 → jedenfalls ist hier die zweite Möglichkeit zu CP im SM.

Weitere Terme in $\hat{\mathcal{L}}_{SM}$

haben nun die wichtigsten Rechnungen kennengelernt, wie oben (S. 66/67) versprochen: $(L, \bar{L}, \psi) \leftrightarrow H$, H -Dynamik, $Q_u \leftrightarrow H$

in Analogie zur Yukawa ($Q_u \leftrightarrow H$) wir bekommen auch die Leptonen

ihre Massen:
$$\delta \hat{\mathcal{L}} = -h_l [\hat{\bar{L}}_L \hat{\Phi} \hat{e}_R + \hat{\bar{e}}_R \hat{\Phi}^\dagger \hat{L}_L] + 2 \cdot 3 \text{ Gen.}$$

jetzt wieder $\hat{\Phi} \approx \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 \\ v \end{pmatrix}$: $\xrightarrow{\text{SSB / quad.}} -\frac{h_l v}{\sqrt{2}} [\bar{e}_L e_R + \bar{e}_R e_L] + 2 \cdot 3 \text{ Gen.}$
 $\xrightarrow{LIR=1, \text{ S.S. 73}} = -m_e \bar{e} e + 2 \cdot 3 \text{ Gen.}$

((und in Prinzip auch $\delta \hat{\mathcal{L}} = -h'_l [\hat{\bar{L}}_L \hat{\Phi} \hat{\nu}_R + \text{h.c.}] + \dots$)) aber ν_R nicht nötig

Zusammenfassung aller Terme
$$\hat{\mathcal{L}}_{SM} = \hat{\mathcal{L}}_{\text{stark}} + \hat{\mathcal{L}}_{\text{elektroschwach}}$$

 S. unten
$$= \hat{\mathcal{L}}_{\text{Eich}} + \hat{\mathcal{L}}_{\text{Higgs}} + \hat{\mathcal{L}}_{\text{Fey}} + \hat{\mathcal{L}}_{\text{Yuk}}$$

8. Ideen jenseits des SM

bisher gesehen: Struktur des SM beinhaltet einige willkürlichen Festlegungen; es hat viele freie Parameter

Vereinfachungen möglich? $\rightarrow$ es gibt sicherlich viele Ideen

hier: ein wichtiges Beispiel

Vereinheitlichung

die erste Teilchen-Garantien (vgl. S. 65): $\begin{pmatrix} \nu \\ e \end{pmatrix}_L$, e_R , $\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}_L$, u_R , d_R

Anzahl der Freiheitsgrade: 3 Leptonen + $4 \cdot 3^{N_c=3 \text{ Farben}}$ Quarks = 15

die Kernidee (Georgi/Glashow '74): $15 = 5 + 10$

bilde einen Spaltenvektor der $SU(5)$ aus 5 Freiheitsgrade $(\nu_L, e_L, d_R \cdot 3)$

bilde eine antisymm. 5×5 -Matrix aus 10 Freiheitsgrade $(e_R, u_L \cdot 3, d_L \cdot 3, u_L \cdot 3)$

der Vorteil:

haben statt 5 verschiedenen Strukturen nur 2

haben statt 3 verschiedenen Werten nur 1

das nennt man "große Vereinheitlichung", "GUT"

$\hookrightarrow$ grand unified theories

Bem.: • es gibt viele "größere" Eichgruppen, in denen

Repräsentationen die Freiheitsgrade der $SU(3) \times SU(2)$

untergebracht werden können; populär ist z.B. auch

$SO(10)$: 16 Freiheitsgrade, $15 + \underline{\nu_R}$

- keine der vielen möglichen GUT's ist momentan universell akzeptiert; daher hier: weiter mit $SU(5)$