

Bem: Zuordnung der Quarks zu "Generationen" ist Konvention.

Klein: c-Quark definiert zweite Generation

→ untere Komponenten können noch Linearkombinationen aus d, s sein.

$$Q_1' = \begin{pmatrix} u \\ d' \end{pmatrix}, \quad Q_2' = \begin{pmatrix} c \\ s' \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} d' \\ s' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_c & \sin \theta_c \\ -\sin \theta_c & \cos \theta_c \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d \\ s \end{pmatrix}$$

Cabibbo-Winkel $\theta_c \approx 0.2286 \hat{=} 13.1^\circ$

Könnten wir dasselbe mit L_1, L_2 machen?

→ im Prinzip ja; aber ν_e, ν_μ (in guter Näherung) masselos, also (fast) identisch, also macht Rotation keinen Unterschied.

ursprüngliches Fermi-Modell (s. S. 56)

$$\mathcal{L}_I^{\text{Fermi}} = -2\sqrt{2} G_F \left\{ \hat{Q}_{1L} \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ \gamma^\mu & 0 \end{pmatrix} \hat{Q}_{1L} \hat{L}_{1L} \begin{pmatrix} 0 & \gamma^\mu \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \hat{L}_{1L} + \text{h.c.} \right\}$$

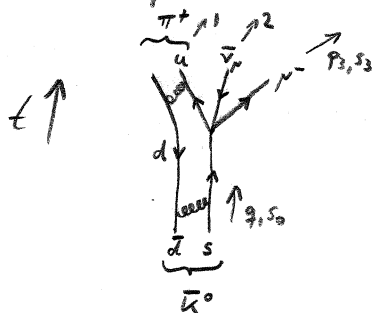
→ Verallgemeinerung:

$$\mathcal{L}_I^{\text{Fermi}} = -2\sqrt{2} G_F \sum_{D_L} \sum_{D_L'} \hat{D}_L \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ \gamma^\mu & 0 \end{pmatrix} \hat{D}_L \hat{D}_L' \begin{pmatrix} 0 & \gamma^\mu \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \hat{D}_L'$$

mit $D_L, D_L' \in \{Q_{1L}, Q_{2L}, L_{1L}, L_{2L}\}$ ($\begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix} \Rightarrow \bar{\nu}_\mu, \nu_e, \bar{\nu}_\mu, \nu_e$)

empfehle Struktur; beinhaltet sehr viele verschiedene Prozesse!

Bsp "sarileptonischer" Zerfall $\bar{K}^0 \rightarrow \pi^+ \mu^- \bar{\nu}_\mu$



$$\begin{pmatrix} u, \mu^- \\ s \\ \bar{\nu}_\mu \\ d, \bar{s} \\ Q_1', L_2 \end{pmatrix}$$

auslaufende Teilchen: in $\frac{1}{4}$

einlaufende T. $\left. \begin{matrix} s \\ \bar{\nu}_\mu \\ d, \bar{s} \end{matrix} \right\}$ in $\frac{1}{4}$

auslaufende Anti-T. $\left. \begin{matrix} u, \mu^- \\ \bar{\nu}_\mu \end{matrix} \right\}$ in $\frac{1}{4}$

(vgl. S. 22)

→ obiger Prozess vermittelt durch

$$\mathcal{L}_I \ni -2\sqrt{2} G_F \hat{\bar{\mu}} \gamma^\mu \hat{\nu} \hat{u} \gamma_\mu \hat{s}$$

$$\rightarrow -2\sqrt{2} G_F \sin(\theta_c) \hat{\bar{\mu}} \gamma^\mu \hat{\nu} \hat{u} \gamma_\mu \hat{s}$$

→ Amplitude berechnen wie "gewöhnlich" (vgl. S. 33, 37)

$$\mathcal{M} = -\frac{i}{\sqrt{2}} G_F \sin(\theta_c) \bar{u}(\vec{p}_3, s_3) \gamma^\mu (1 - \gamma_5) v(\vec{p}_2, s_2) \cdot \bar{u}(\vec{p}_1, s_1) \gamma_\mu (1 - \gamma_5) u(\vec{q}_1, s_1)$$

$$|\mathcal{M}|^2 = \dots$$

Unitaritätsgrenze

Fermi-Modell ist sehr erfolgreich: beschreibt fast alle schwachen Zerfälle.
Es gibt jedoch theoretische Argumente, die seine Grenzen aufzeigen:

(a) betrachte z.B. $\bar{\nu}_e e^- \rightarrow \bar{\nu}_e e^-$ - Streuung am CNS.

$$s = (q_1 + q_2)^2 \quad ; \quad \text{Frage: Wirkungsquerschnitt } \sigma(s) \text{ für große } s?$$

dimensionale Analyse: $\approx 1.16 \cdot 10^{-5} \text{ GeV}^{-2}$

$$M \text{ hat } G_F \Rightarrow |M|^2 \text{ hat } G_F^2$$

$$[\sigma] = [\text{Fläche}] = [\text{fm}^2] = [\text{GeV}^{-2}]$$

$$\text{für } s \gg m_e^2 \text{ gilt es keine anderen Stufen} \Rightarrow \underline{\sigma \sim G_F^2 s}$$

$$(\text{die genaue Antwort ist } \sigma = \frac{G_F^2 s}{3\pi})$$

dieses Verhalten $\sigma(s \gg m_e) \sim s$ kann aber nicht richtig sein:

Betrachte Streumatrix (vgl. §3, S. 25, 26, 29)

$$\hat{S} \equiv \hat{U}_2(+\infty, -\infty) \equiv \mathbb{1} - i \hat{T}$$

$\uparrow$ Zeitentwicklungs-Op. $\uparrow$ Transformatrix

$$\langle f | \hat{T} | i \rangle \equiv (2\pi)^4 \delta^{(4)}(p_f + p_2 - q_1 - q_2) T_{fi}$$

$$\text{Gesamtunitarität bleibt erhalten} \Leftrightarrow \hat{S} \text{ unitär} \Leftrightarrow \hat{S}^\dagger \hat{S} = \mathbb{1}$$

$$\Leftrightarrow (\mathbb{1} + i \hat{T}^\dagger)(\mathbb{1} - i \hat{T}) = \mathbb{1} \quad \Leftrightarrow \hat{T}^\dagger \hat{T} = i(\hat{T} - \hat{T}^\dagger)$$

$$\text{also ist } i \langle f | \hat{T} - \hat{T}^\dagger | i \rangle = \langle f | \hat{T}^\dagger \hat{T} | i \rangle = \sum_n \langle f | \hat{T}^\dagger | n \rangle \langle n | \hat{T} | i \rangle$$

$$\text{bzw. } i (2\pi)^4 \delta^{(4)}(\Sigma p_f - \Sigma q_i) [T_{fi} - T_{if}^*] = \sum_n (2\pi)^4 \delta^{(4)}(\Sigma p_f - \Sigma p_n) T_{nf}^* \cdot (2\pi)^4 \delta^{(4)}(\Sigma p_n - \Sigma q_i) T_{ni}$$

$$\Leftrightarrow i [T_{fi} - T_{if}^*] = \sum_n (2\pi)^4 \delta^{(4)}(\Sigma p_n - \Sigma q_i) T_{nf}^* T_{ni}$$

Wir wissen (s. z.B. S. 29), daß $T_{fi} \sim M$ ist; nach Phasenraum int.
Sagt diese Formel also etwas über das Verhalten von σ aus.