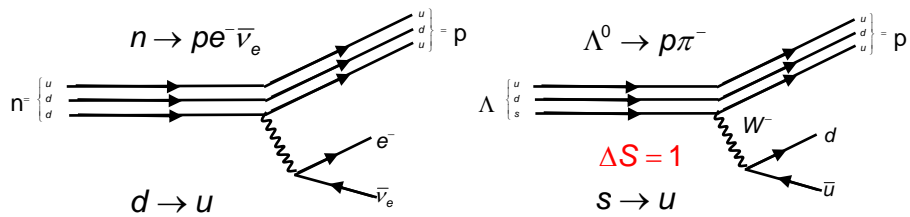
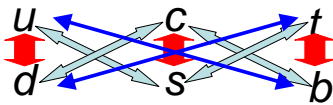


2.3 Quark-Sektor: Quark-Mischung

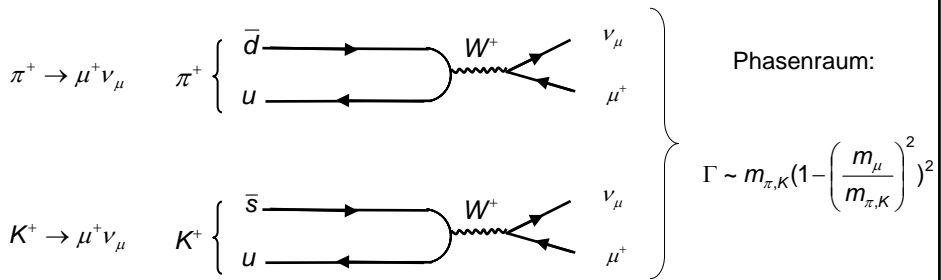
Schwache Quarkübergänge werden nicht nur innerhalb einer Quark-Generation sondern auch zwischen den u- und d-Typ Quarks verschiedener Generationen beobachtet:



Man findet aber, dass die Übergänge zwischen Quarks verschiedener Generationen relativ zu Übergängen innerhalb einer Generation unterdrückt sind:



Bsp.: Unterdrückung des Kaonzerfalls ($\Delta S=1$)



$$\rightarrow \left[\frac{\Gamma(K^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu)}{\Gamma(\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu)} \right]_{\text{exp}} \times \text{Phasenraumkorrektur} = 0.05$$

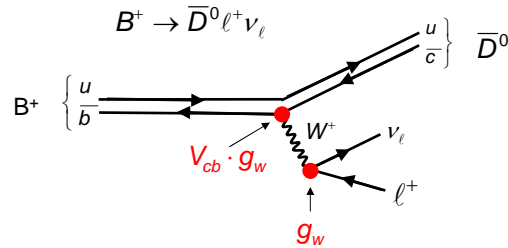
D.h. das die Dynamik beschreibende Übergangsamplitudenquadrat $|M_{fi}|^2$ ist also für den $\Delta S=1$ Kaonzerfall um Faktor 20 gegenüber Pionzerfall unterdrückt.

Die Stärke der us-W Kopplung beträgt als nur etwa 20% der du-W Kopplung.

$$\frac{M_{fi}^2(K^+)}{M_{fi}^2(\pi^+)} \sim \frac{g_{us}^2}{g_{ud}^2}$$

Die effektive Stärke der Quarkübergänge relativ zur Kopplung g_w wird durch die sogenannte Cabibbo-Kobayashi-Maskawa (**CKM**) Matrixelemente $V_{q_u q_d}$ beschrieben:

Bsp.



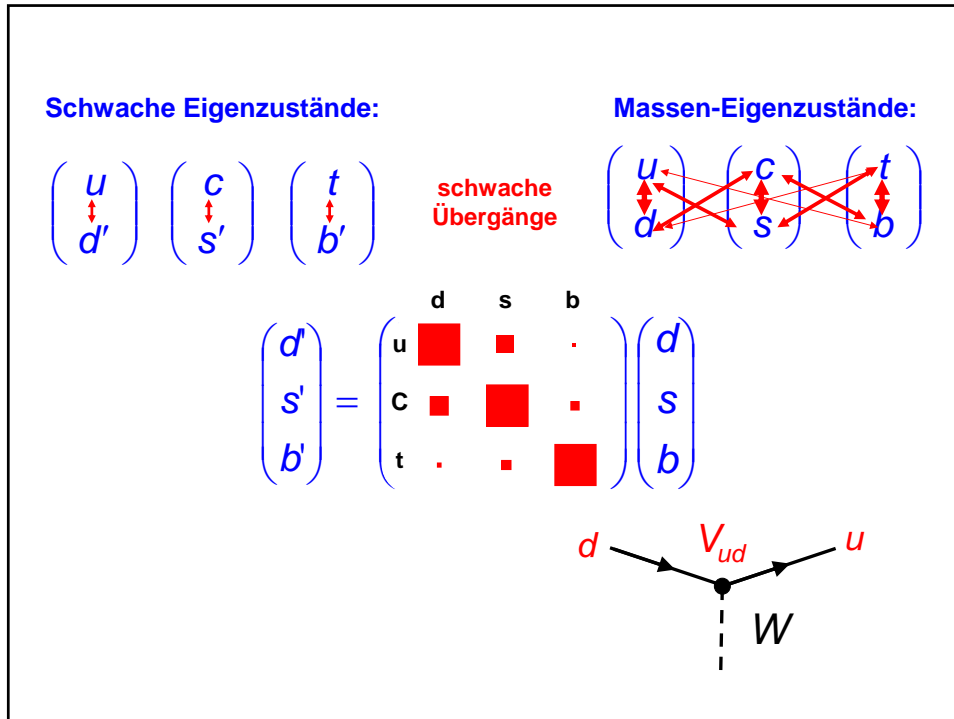
CKM Matrix kann auch als Transformations od. Mischungsmatrix aufgefasst werden: Flavour Eigenzustände $|d\rangle$, $|s\rangle$ und $|b\rangle$ der Quarks sind nicht mit den **schwachen Eigenzuständen** $|d'\rangle$, $|s'\rangle$ und $|b'\rangle$ der Quarks identisch. Letztere sind Linearkombinationen der Flavour Masseneigenzustände:

$$\begin{pmatrix} |d'\rangle \\ |s'\rangle \\ |b'\rangle \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} |d\rangle \\ |s\rangle \\ |b\rangle \end{pmatrix}$$

Für die entsprechenden schwachen Isospin-Dubletts

$$\begin{pmatrix} u \\ d' \end{pmatrix}_L \quad \begin{pmatrix} c \\ s' \end{pmatrix}_L \quad \begin{pmatrix} t \\ b' \end{pmatrix}_L$$

gilt dann analog zu den Leptonen, dass schwache Übergänge des geladenen Stromes nur innerhalb eines Dubletts stattfinden. Die Kopplung der schwachen Quarkströme ist dann ebenfalls g_w .



Eigenschaften der CKM-Matrix

1. V_{CKM} ist i. a. komplex: $\rightarrow 2 \times 9 = 18$ Parameter
2. V_{CKM} ist unitär: $V_{\text{CKM}} V_{\text{CKM}}^{\dagger} = 1 \rightarrow 9$ Zwangsbed. $\rightarrow 9$ freie Parameter
3. 5 der freien Parameter beschreiben nicht beobachtbare Quarkphasen. Sie können "weg-rotiert" werden: $\rightarrow 4$ freie Parameter
4. 4 freie Parameter der CKM Matrix: 3 Mischungswinkel + 1 Phase
5. Größe der CKM Matrix-Elemente reflektieren die Hierarchie der Stärke der Quarkübergänge zwischen den Quarkgenerationen.

Betrag der Matrixelemente: $|V_{ij}|$

$$\begin{pmatrix} 0.9739 \text{ to } 0.9751 & 0.221 \text{ to } 0.227 & 0.0029 \text{ to } 0.0045 \\ 0.221 \text{ to } 0.227 & 0.9730 \text{ to } 0.9744 & 0.039 \text{ to } 0.044 \\ 0.0048 \text{ to } 0.014 & 0.037 \text{ to } 0.043 & 0.9990 \text{ to } 0.9992 \end{pmatrix} \begin{matrix} \text{PDG 2004} \\ 90\% \text{ C.L.} \end{matrix}$$

Die Elemente V_{ub} und V_{td} sind komplex.

2.4 Historischer Rückblick: Cabibbo-Winkel und GIM-Mechanismus

Das Konzept der Quarkmischung wurde erstmals von Cabibbo zur Beschreibung der Unterdrückung der $\Delta S=1$ Zerfälle eingeführt.

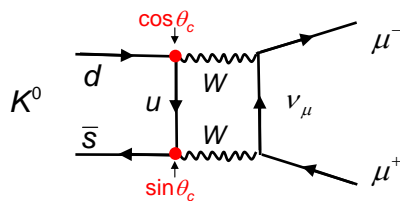
Damals waren nur 3 Quarks bekannt: u, d, s

$$\begin{pmatrix} |u\rangle \\ |d'\rangle \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \underbrace{\cos \theta_C}_{= \mathbf{V}_{ud}} |u\rangle + \underbrace{\sin \theta_C}_{= \mathbf{V}_{us}} |s\rangle \end{pmatrix}$$

Mit $\theta_C \approx 13^\circ$ erklärt diese Mischung die Unterdrückung der $s \rightarrow u$ Übergänge um den Faktor $\sin^2 \theta_C = 0.05$

GIM-Mechanismus

Betrachte $K^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$ im 3-Quarkmodell



“Flavour Changing Neutral Current”
Prozess wird nur mit extrem kleiner
Rate beobachtet

$$\frac{BR(K_L \rightarrow \mu^+ \mu^-)}{BR(K_L \rightarrow \text{all})} = (7.2 \pm 0.5) \cdot 10^{-9}$$

$$M \sim \sin \theta_C \cos \theta_C$$



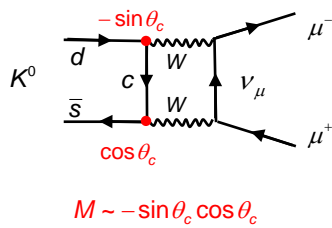
Theoretische Vorhersage im 3-Quarkmodell liefert ein
Verzweigungsverhältnis, das um einige Größenordnungen
höher als der experimentelle Wert ist.

Vorschlag von Glashow, Iliopoulos, Maiani, 1970:

Es existiert ein weiteres 4. Quark mit u-Typ Charakter das zusammen mit dem s' Quark eine zweite Quarkgeneration bildet:

$$\begin{pmatrix} u \\ d' \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} c \\ s' \end{pmatrix} \quad \text{wobei} \quad \begin{pmatrix} |d'\rangle \\ |s'\rangle \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta_c \cdot |d\rangle + \sin\theta_c \cdot |s\rangle \\ -\sin\theta_c \cdot |d\rangle + \cos\theta_c \cdot |s\rangle \end{pmatrix}$$

Dann existiert für den obigen Zerfall ein weiterer Feynman-Graph



Addiert man beide Amplituden kohärent so löschen sie sich aufgrund des entgegengesetzten Vorzeichens aus.

Das vierte Quark wird 1974 von S.C.C Ting et al. und unabhängig davon auch von B.Richter et al. entdeckt. (s. Kap. VI)

2.5 Neutrale K-Mesonen und Flavour-Mischung

a) Produktion neutraler K- Mesonen in starker WW

Strangeness erhalten in starker WW: $K^0(d\bar{s})$ und $\bar{K}^0(\bar{d}s)$
Eigenzustände der starken WW

Assoziierte Strangeness Produktion:

$$K^0 \text{ Produktion} \quad \pi^- + p \rightarrow \Lambda + K^0$$

$$\bar{K}^0 \text{ Produktion} \quad \pi^+ + p \rightarrow K^+ + \bar{K}^0 + p$$

$$\pi^- + p \rightarrow \bar{\Lambda} + \bar{K}^0 + n + n$$

Da es keine Baryonen mit S=+1 gibt, ist die kinematische Schwelle für \bar{K}^0 Produktion höher: π^- Energie kann so gewählt werden dass ausschließlich K^0 entstehen.