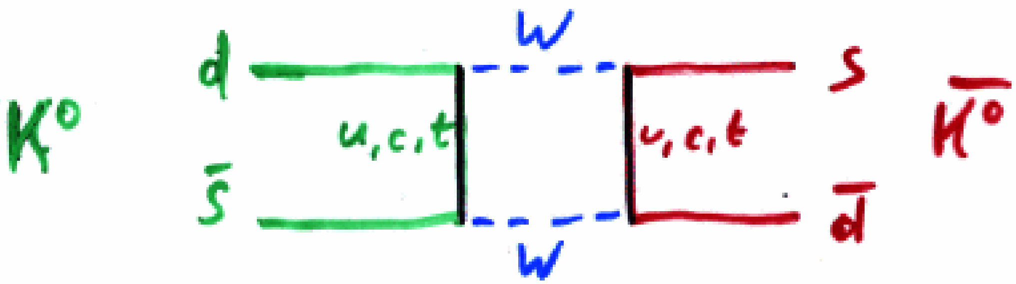
Neutrale Kaonen

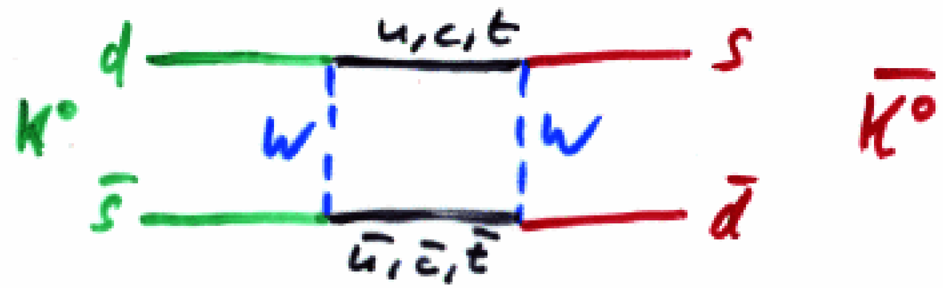
Neutrale Kaonen können in 2π $(P=+1)$ und 3π $(P=-1)$ zerfallen (Paritätsverletzung)

Das erlaubt eine Mischung von K^0 und $\overline{K^0}$:

$$K^0 \longleftrightarrow \left\{ \begin{matrix} 2\pi \\ 3\pi \end{matrix} \right\} \longleftrightarrow \overline{K^0} \qquad \Delta S = 2$$

Auf dem Quarklevel: Box - Diagramme:





K^0, $\overline{K^0}$ haben definierte Strangeness $\Leftrightarrow$ Eigenzustände der starken Wechselwirkung

Durch die schwache WW (2. Ordnung) können K^0 und $\overline{K^0}$ jedoch mischen.

CP-Erhaltung: schwache WW: P, C maximal verletzt, aber CP ≈ erhalten

Zerfallskanäle 2π und 3π sind Eigenzustände von CP:

$$CP\,|\pi^0\pi^0\rangle = (+1)\,|\pi^0\pi^0\rangle \qquad CP\,|\pi^0\pi^0\pi^0\rangle = (-1)\,|\pi^0\pi^0\pi^0\rangle$$

$$CP\,|\pi^+\pi^-\rangle = (+1)\cdot|\pi^-\pi^+\rangle = (+1)\cdot|\pi^+\pi^-\rangle \text{ (mit } L=0\text{):} \qquad CP\,|\pi^+\pi^-\pi^0\rangle = (-1)\,|\pi^-\pi^+\pi^0\rangle = (-1)\cdot|\pi^+\pi^-\pi^0\rangle$$

K^0 und $\overline{K^0}$ sind keine Zustände mit definierter CP-Parität:

$$CP\,|K^0\rangle = (-1)\cdot|\overline{K^0}\rangle \qquad CP\,|\overline{K^0}\rangle = (-1)\,|K^0\rangle$$

Wenn CP erhalten ist und ein Kaon in 2π (bzw. 3π) zerfällt, muss auch Kaon definierte CP-Parität +1 bzw. -1 haben

$$|K_1^0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(|K^0\rangle - |\overline{K^0}\rangle\right) \qquad \text{mit } CP\,|K_1^0\rangle = (+1)\cdot|K_1^0\rangle$$

$$|K_2^0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(|K^0\rangle + |\overline{K^0}\rangle\right) \qquad \text{mit } CP\,|K_2^0\rangle = (-1)\cdot|K_2^0\rangle$$

$|K_1^0\rangle$ zerfällt in 2 Pionen ($\tau = 8.9\cdot 10^{-11}\,s$)

$|K_2^0\rangle$ zerfällt in 3 Pionen ($\tau = 5.2\cdot 10^{-8}\,s$) lebt viel länger (Phasenraum viel kleiner)

Erzeugung von neutralen K-Mesonen

z.B. in $p + n \to p + \Lambda + K^0$ starke WW definierte Strangeness

Λ: $u\,d\,s$ K^0: $\bar{s}\,d$

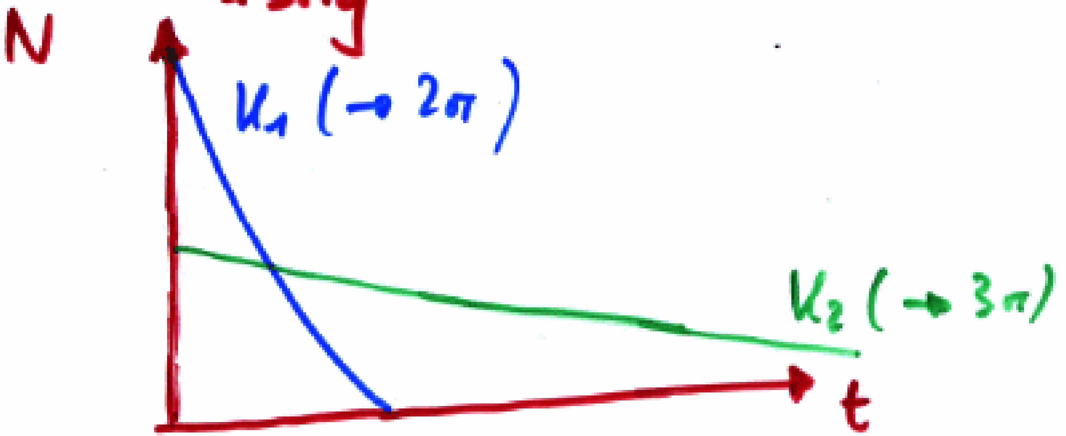
K^0 ist q.m. Superposition von K_1 und K_2:

$$|K^0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(|K_1^0\rangle + |K_2^0\rangle\right)$$

Sowohl K^0 als auch $\bar{K}^0$ bestehen je zur Hälfte aus kurzlebigen K_1^0 und langlebigen K_2^0

K_1- Komponente zerfällt viel schneller als K_2 (in 2 Pionen)

$\Rightarrow$ nach einiger Zeit ist nur noch K_2^0- Komponente übrig



aus K^0- (oder $\bar{K}^0$-) Strahl wird ein K_2-Strahl (weit weg vom Target)

Regeneration von K_1 in Materie

Ein K_2-Strahl (eine bestimmte kohärente Überlagerung von K_0 und $\overline{K_0}$) kann regeneriert werden, indem er durch Materie geschickt wird:

$$\sigma(K^0 N) \neq \sigma(\overline{K^0} N) \qquad \text{(starke WW)}$$

$\Rightarrow$ K^0 und $\overline{K^0}$-Komponente werden unterschiedlich stark absorbiert (η_1, η_2)

$\Rightarrow$ effektiv unterschiedliche Kombination von $|K^0\rangle$ u. $|\overline{K^0}\rangle$

vorher: $\quad K_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(|K^0\rangle + |\overline{K^0}\rangle\right)$

nachher: $\quad = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(\eta_1 |K^0\rangle + \eta_2 |\overline{K^0}\rangle\right) = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(\frac{\eta_1+\eta_2}{2}|K_2\rangle + \frac{\eta_1-\eta_2}{2}|K_1\rangle\right)$

Nach Verlassen des Absorbers enthält der Strahl sowohl $|K_2\rangle$ als auch $|K_1\rangle$

CP-Verletzung im K^0-System.

Nach vielen K_1-Lebensdauern sollten alle K^0 in 3π zerfallen.
Christensen et. al. 1964: In 0.3% der Fälle zerfallen K_2 in 2π!

$\Rightarrow$ CP-Verletzung

def. K_{short} und K_{long} K_S und K_L als Mischungen der CP-Eigenzustände K_1 und K_2 mit sehr kleiner Mischung:

$$\left.\begin{aligned} K_S &= K_1 + \varepsilon K_2 \\ K_L &= K_2 - \varepsilon K_1 \end{aligned}\right\} \text{ indirekte CP-Verletzung}$$

Zusätzlich direkte CP-Verletzung in Zerfallsamplituden (durch Interferenz verschiedener Feynman-Diagramme mit unterschiedlichen Phasen $\Rightarrow$ Phase in der CKM-Matrix kann das erklären!)

CP-Verletzung auch in $B^0-\bar{B}^0$-System etabliert: (BaBar, Belle-Experimente, 2000)