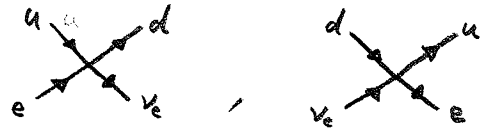
heute würden wir das Fermi-Modell mit Partonen statt Nukleonen schreiben: $\hat{\mathcal{L}}_I = -G_F \left(\hat{\bar{d}} \gamma^\mu \hat{u} \, \hat{\bar{\nu}}_e \gamma_\mu \hat{e} + h.c. \right)$

↳ "hermitesch konjugiert"

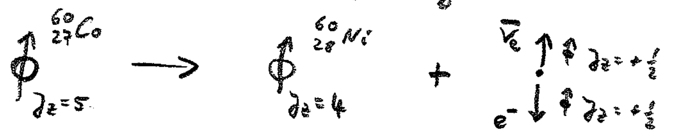
$\Leftrightarrow$ Vertizes 

experimenteller Befund (C.S. Wu, 1957): in schwachen Zerfällen wird Parität verletzt! unerwartet!

Kobalt-60

beobachtet — nicht beobachtet!

eine etwas andere Darstellung dieses Experiments:



$\Rightarrow$ $\bar{\nu}_e$ sollte immer rechtshändig sein, mit Helizität $h=+1$

ν_e — links — $h=-1$

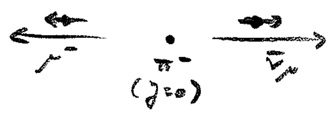
$\rightarrow$ Paritätsverletzung nicht nur beim Betazerfall des Kobalts, sondern aller "Teilchenzerfälle" der schwachen WW.

z.B.: $K^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^0$ $\quad (P=+1)$ $\quad$ (PDG: 20.7 %)

$K^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^0 + \pi^0$ $\quad$ 1.8

$K^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^+ + \pi^-$ $\quad$ 5.6

$\left.\right\} (P=-1)$

z.B.: $\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$: 

es werden nur $h=+1$ - Myonen beobachtet.

((das Antineutrino wird natürlich nicht beobachtet, muß aber wegen Drehimpuls-Erhaltung auch $h=+1$ haben))

→ Fermi-Modell muss geändert werden!

L-Invarianz ⇒ Helizitätsoperator $\left(h = \vec{e}_p \cdot \begin{pmatrix} \vec{\sigma} & 0 \\ 0 & \vec{\sigma} \end{pmatrix} \right.$, s. S. 23)) nicht brauchbar; aber Chiralitätsoperator (($\gamma_5 = i\gamma^0\gamma^1\gamma^2\gamma^3$)), → Projektoren $P_{L/R}$.

((masselose T.: Chir. $\hat{=}$ Hel., s. S. 24))

schwache Ww sollen also nur linkshändige (P_L) Teilchen und rechtshändige (P_R) Antiteilchen erzeugen:

$$P_{R/L} \equiv \frac{1 \pm \gamma_5}{2} \quad , \quad \psi_{R/L} \equiv P_{R/L}\, \psi$$

$$\Rightarrow \hat{\mathcal{L}}_I^{V-A} \equiv -2\sqrt{2}\, G_F \left\{ \hat{\bar{d}} \gamma^\mu P_L \hat{u} \; \hat{\bar{\nu}}_e \gamma_\mu P_L \hat{e} + \hat{\bar{u}} \gamma^\mu P_L \hat{d} \; \hat{\bar{e}} \gamma_\mu P_L \hat{\nu}_e \right\}$$

$$= -2\sqrt{2}\, G_F \left\{ \hat{\bar{d}}_L \gamma^\mu \hat{u}_L \; \hat{\bar{\nu}}_{eL} \gamma_\mu \hat{e}_L + \hat{\bar{u}}_L \gamma^\mu \hat{d}_L \; \hat{\bar{e}}_L \gamma_\mu \hat{\nu}_{eL} \right\}$$

[s. Übungen, Aufgabe 34]

<u>Bem.</u> der Name "V-A"-Modell steht für "Vektor minus Axialvektor"; denn $\gamma^\mu P_L \sim \gamma^\mu - \gamma^\mu\gamma_5$, und

$\bar{\psi}_1 \gamma^\mu \psi_2$ transformiert wie ein Vektor

$\bar{\psi}_1 \gamma^\mu \gamma_5 \psi_2$ —"— Axialvektor (vgl. S. 53)

Seltsamkeitsverletzung

in der schwachen Ww werden <u>viele</u> andere (außer P) QZ verletzt.

<u>z.B.</u>: $\underset{(u\bar{s})}{K^+} \to \pi^+\pi^0$, $\pi^+\pi^0\pi^0$: Seltsamkeit S verletzt!

<u>z.B</u>: $\underset{(c\bar{u})}{D^0} \to K^-\pi^+\pi^0$: Charmness C verletzt! (PDG: 13.9%)

können wir diese Prozesse ins Fermi-Modell aufnehmen?

→ def. Fermion-Dubletten, charakterisiert durch d. Ladung und "Generation":

Leptonen: $L_1 \equiv \begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix}$; $L_2 \equiv \begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu \end{pmatrix}$ ← $Q = 0$ ← $Q = -1$

Quarks: $Q_1 \equiv \begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}$; $Q_2 \equiv \begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix}$ ← $Q = +2/3$ ← $Q = -1/3$

((<u>Bem.</u>: ∃ jeweils dritte Generation, spielt in obigen Prozessen keine Rolle))

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

Hier: c-Quark definiert zweite Generation

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

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

Cabibbo-Winkel $\sin\theta_c \approx 0.2286$, $\theta_c \approx 13.1°$

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)

$$\hat{\mathcal{L}}_I^{V-A} = -2\sqrt{2}\, G_F \left\{ \hat{\bar{Q}}_{1L} \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ \gamma^\mu & 0 \end{pmatrix} \hat{Q}_{1L} \; \hat{\bar{L}}_{1L} \begin{pmatrix} 0 & \gamma_\mu \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \hat{L}_{1L} + h.c. \right\}$$

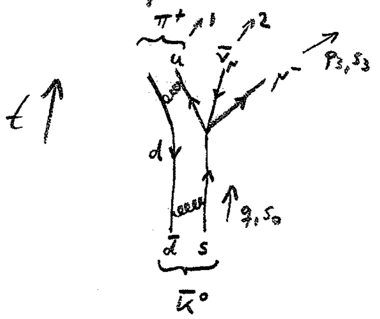
→ Verallgemeinerung:

$$\hat{\mathcal{L}}_I^{V-A} = -2\sqrt{2}\, G_F \sum_{D_L} \sum_{D_L'} \hat{\bar{D}}_L \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ \gamma^\mu & 0 \end{pmatrix} \hat{D}_L \; \hat{\bar{D}}_L' \begin{pmatrix} 0 & \gamma_\mu \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \hat{D}_L'$$

mit $D_L, D_L' \in \{ Q_{1L}', Q_{2L}', L_{1L}, L_{2L} \}$ $\quad \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix} \Rightarrow \bar{2}\gamma^\mu 1 \cdot \bar{1}'\gamma_\mu 2'$

einfache Struktur; beinhaltet sehr viele verschiedene Prozesse!

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



u, μ^- auslaufende Teilchen: in $\hat{\bar{\psi}}$

s einlaufende T., $\bar{\nu}_\mu$ auslaufende Anti-T. $\}$ in $\hat{\psi}$ (vgl. S. 22)

$\downarrow \; \downarrow$

$Q_1' \; L_2$

→ obiger Prozess vermittelt durch

$$\hat{\mathcal{L}}_I \ni -2\sqrt{2}\, G_F \; \hat{\bar{\mu}}_L \gamma^\mu \hat{\nu}_L \; \hat{\bar{u}}_L \gamma_\mu \hat{d}_L'$$

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

→ Amplitude berechenbar wie "gewohnt" (vgl. S. 33, 37)

$$\mathcal{M} = -\frac{i}{\sqrt{2}} G_F \sin(\theta_c) \; \bar{u}(\vec{p}_3, s_3)\gamma^\mu(1-\gamma_5) v(\vec{p}_2, s_2) \cdot \bar{u}(\vec{p}_1, s_1)\gamma_\mu(1-\gamma_5) u(\vec{q}, s_0)$$

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