- Zerfälle: Isospin bleibt erhalten
- Streuung: Amplitude bestimmt durch $I$ des Streuzustandes (vgl. Übungen, Aufgabe 32)

---

Parität ist eine "diskrete Raumzeitsymmetrie"

Raum(spiegelung) inversion! $x^\mu \to x^{\mu'} = \Lambda_P{}^\mu{}_\nu x^\nu$ , $\Lambda_P \equiv \mathrm{diag}(1,-1,-1,-1)$ ist ein Teil der Lorentzgruppe (vgl. Skript S. 7).

Vermutung: diese Trafo vertauscht mit $\hat H$ $\Rightarrow$ kann physikalische Teilchen als Eigenzustände wählen. Für QED / QCD ist das der Fall.

Bezeichnung: Operator $\hat P$ überführt Teilchenzustände in raumgespiegelte Version. wegen $\hat P^2 = \mathbb{1}$ hat $\hat P$ die Eigenwerte $p = \pm 1$.

falls ein Objekt unter L-Trafo invar. ist: "Skalar"

\ wie $x^\mu$ transformiert: "Vektor"

mit ihrem Verhalten unter $\hat P$ fallen diese in folgende Klassen:

| | | |
|---|---|---|
| Skalar | $\hat P s = s$ | |
| Pseudoskalar | $\hat P p = -p$ | z.B. $p = \vec v \cdot \vec a$ , $\vec a \cdot (\vec b \times \vec c)$ |
| Vektor | $\hat P \vec v = -\vec v$ | z.B. $\vec v = \partial_t \vec x$ |
| Axialvektor (oder: Pseudovektor) | $\hat P \vec a = \vec a$ | z.B. $\vec a = \vec v_1 \times \vec v_2$ , $\vec r \times \vec F$, $\vec B$ |

Die wichtigsten $J=0$ Mesonen ($\pi$, $K$, $\eta$, $\eta'$; S.S. 42) sind Pseudoskalare

denn: betrachte $\hat P$ im 2d Raum von Teilchen / Anti-T.
beide sind Eigenzustände von $\hat P$ $\Rightarrow$ $\hat P$ diagonal, $\hat P = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$
also hat T.-AntiT.-Zustand Gesamtparität $1 \cdot (-1) = -1$
(( angeregte Zustände: zusätzlicher Faktor $(-1)^{\ell}$ ← Bahndrehimpuls ))

merken:
- Bewegungsrichtung = Vektor ($\vec v = \partial_t \vec x$)
- Spinvektor = Axialvektor ($\vec L = \vec x \times \vec p$)
- Helizitäts- (oder Polarisations-)Zustand = Pseudoskalar
  ((= Projektion des Spinvektors auf Bewegungsrichtung))

## Ladungskonjugation $\hat{C}$

konvertiert jedes Teilchen in sein Antiteilchen

im 2d Raum von T.–AntiT. : $\hat{C} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$

wieder $\hat{C}^2 = \mathbb{1}$

$\hat{C}$ vertauscht mit $\hat{H}$ der QED/QCD.

(( haben allerdings T./AntiT.-Zustände nicht als Eigenzust. gewählt ))

falls ein Teilchen sein eigenes Antiteilchen ist, hat man wieder einen Eigenzustand, mit EW $C = \pm 1$

Bsp $\pi^0$ hat $C = +1$, Photon $\gamma$ hat $C = -1$

also ist $\pi^0 \to \gamma + \gamma$ erlaubt (PDG: 98.8 %)

$\pi^0 \to \gamma + \gamma + \gamma$ verboten (PDG: $< 3 \cdot 10^{-8}$)

## Kombinierte diskrete Symmetrien

- die Kombination $\hat{C}\hat{P}$ ist sehr wichtig (s. später; s. Übung, Aufg. 33).
  überführt Teilchen mit Helizität/Polarisation in Anti-T. mit entgegengesetztem Wert

- können Zeitumkehr definieren ((s. S. 7, $\Lambda_T = \mathrm{diag}(-1,1,1,1)$)).
  der entsprechende Operator heißt $\hat{T}$.
  $\hat{T}$ nicht unabhängig von $\hat{C}\hat{P}$, denn: jede Lorentz-invariante QFT muß $\hat{C}\hat{P}\hat{T}$-symmetrisch sein! [Pauli, 1955]
  ((Konsequenz der $\hat{C}\hat{P}\hat{T}$-Symmetrie: Teilchen und Anti-T. haben dieselbe Masse und Lebensdauer. Experiment $\Rightarrow$ ✓ ))

## Paritätsverletzung

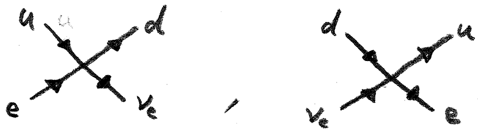
historisch: schwache WW als Ursache des $\beta$-Zerfalls $n \to p^+ + e^- + \bar{\nu}_e$

[Fermi, 1932] Modell dafür: $\hat{\mathcal{L}}_I = -G_F \left( \hat{\bar{n}} \gamma^\mu \hat{p} \hat{\bar{\nu}}_e \gamma_\mu \hat{e} + \hat{\bar{p}} \gamma^\mu \hat{n} \hat{\bar{e}} \gamma_\mu \hat{\nu}_e \right)$

Fermi-Kopplung $G_F = 1.166 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\mathrm{GeV}^2}$ ; Feldoperatoren heute würden wir das Fermi-Modell mit Partonen statt Nukleonen schreiben: $\hat{\mathcal{L}}_I = -G_F\left(\hat{\bar{d}}\gamma^\mu \hat{u}\, \hat{\bar{\nu}}_e \gamma_\mu \hat{e} + h.c.\right)$

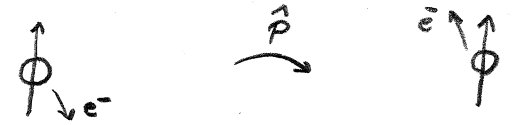
„hermitesch konjugiert"

$\Leftrightarrow$ 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:

$$\underset{J_z=5}{{}^{60}_{27}Co} \longrightarrow \underset{J_z=4}{{}^{60}_{28}Ni} + \begin{matrix} \bar{\nu}_e \uparrow & J_z=+\frac{1}{2} \\ e^- \downarrow & J_z=+\frac{1}{2} \end{matrix}$$

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

$\nu_e$ linkshändig $h=-1$

$\rightarrow$ Paritätsverletzung nicht nur beim Betazerfall des Kobalts, sondern eher „Markenzeichen" der schwachen WW.

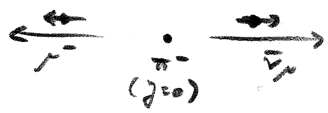
z.B.: $K^+ \to \pi^+ + \pi^0$ $(P=+1)$ (PDG: 20.7%)

$K^+ \to \pi^+ + \pi^0 + \pi^0$ 1.8

$K^+ \to \pi^+ + \pi^+ + \pi^-$ 5.6

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

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




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

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