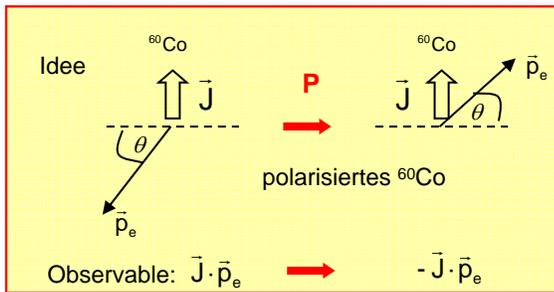
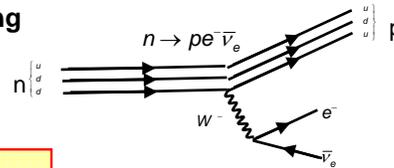
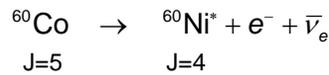


6.4 P und C Verletzung

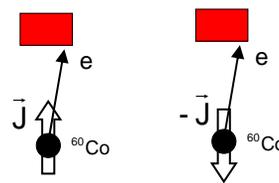
Die C, P und T Invarianz aller Wechselwirkungen war lange Zeit eine Art Dogma der Physik bis Lee&Yang 1956 die Möglichkeit der P-Verletzung in der schwachen WW vorgeschlagen haben. Der Experimentelle Nachweis der Paritätsverletzung gelang kurze Zeit später durch C.S. Wu.

a) Wu-Experiment zur Paritätsverletzung

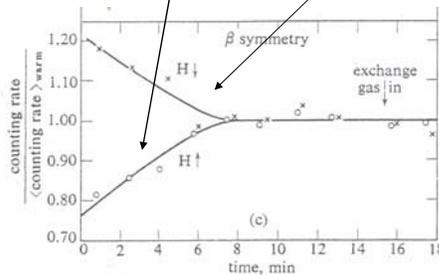


Falls Parität erhalten ist, ist Winkelverteilung symmetrisch in θ , d.h. Rate ist für beide Konfigurationen gleich

NaJ detector to measure e rate



Im Experiment wurde nicht der Detektor verschoben sondern stattdessen die Polarisation umgedreht



Resultat:

Elektron Rate antiparallel zur Co Polarisation ist größer als parallel zur ${}^{60}\text{Co}$ Polarisation:

Paritätsverletzung

Figure 9-12 Gamma anisotropy (as determined from the two NaI counters) and beta asymmetry for the polarizing field pointing up and down as a function of time. The times for disappearance of the beta and gamma asymmetry coincide; this is the warm-up time. The warm-up time for the sample is approximately 6 min and the counting rates for the warm unpolarized sample are independent of the field direction. [From C. S. Wu, E. Ambler, R. W. Hayward, D. D. Hoppes, and R. P. Hudson, *Phys. Rev.*, **105**, 1413 (1957).]

b) Interpretation

Helizitätsoperator $H = \frac{\vec{\sigma} \cdot \vec{p}}{|\vec{\sigma}| |\vec{p}|} = \begin{cases} \text{Spinprojektion auf Impulsrichtung} \\ H = \begin{cases} \pm 1 & m = 0 \\ \pm v/c = \pm \beta & m \neq 0 \end{cases} \end{cases}$

Because of angular momentum conservation one expects for an electron helicity H the angular distribution $I(\theta)$:

$$I(\theta) \sim (1 + H \cos \theta)$$

Naiv: 50% +1, 50% -1

Elektron Helizität in β Zerfällen

$$H_{e^-} = -\frac{v}{c}$$

Maximale Paritätsverletzung

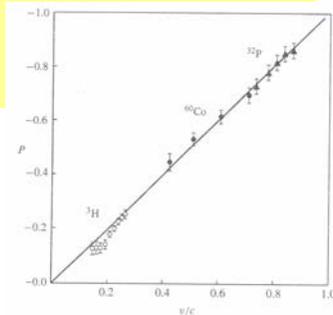


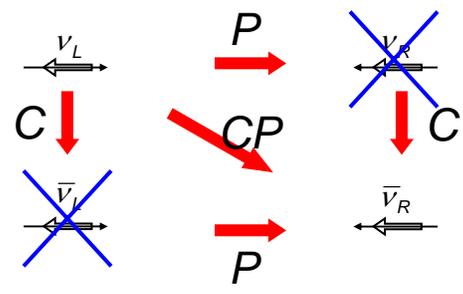
Fig. 7.6. The polarisation P of electrons emitted in nuclear β -decay, plotted as a function of electron velocity. The results demonstrate that $P = -v/c$, as in (7.16). After Koks and Van Klinken (1976).

c) Neutrino-Helizität

In einem weiteren, wirklich genialen Experiment (Goldhaber et al., 1958) wurde die Helizität der im β -Zerfall entstehenden Neutrinos bestimmt:

Neutrinos sind immer linkshändig (LH): $H = -1$
 Anti-Neutrinos sind immer rechtshändig (RH): $H = +1$

Natur des Neutrinos verletzt Parität maximal:



6.5 CP und CPT Invarianz

a) CP-Invarianz

Schwache WW (z.B. β -Zerfall) verletzt sowohl C als auch P maximal:
Ist die WW unter der kombinierten Transformation CP invariant ?

Nein: 1967 wurde die CP-Verletzung im Zerfall neutraler Kaonen (K^0) nachgewiesen. Das K^0 war aber lange Zeit das einzige Teilchensystem in dem CPV nachzuweisen war.

2001 wurde CPV auch im System neutraler B Mesonen (B^0) nachgewiesen: experimentelle Beobachtungen bestätigen die Standardmodell-Vorhersage für diesen Kanal.

CP Verletzung ist auch für die Entstehung der Materie/Antimaterie-Asymmetrie in unserem Universum verantwortlich. Beobachtete Baryonasymmetrie:

$$\frac{N_B}{N_\gamma} \approx 6 \cdot 10^{-10}$$

Kapitel VIII

Sacharow-Kriterien zur Entstehung der Baryonasymmetrie:

- C und CP Verletzung
- Baryonenzahlverletzung
- Thermisches Nichtgleichgewicht

b) CPT-Invarianz

Man geht davon aus, dass alle WW unter der Kombination CP und T (= CPT) invariant sind.

CPT Theorem der Quantenfeldtheorie:

Lorentz-Invarianz und CPT Invarianz ist eine Eigenschaft lokaler Feldtheorien (*Lüders, Pauli, Schwinger*).

c) T-Invarianz

Wenn CP verletzt ist muss T ebenfalls explizit verletzt sein, um CPT zu erhalten. Möglichkeiten zur Prüfung der T Invarianz:

- Übergangswahrscheinlichkeiten für $a \rightarrow b$ und $b \rightarrow a$ prüfen
- Suche nach elektrischem Dipolmoment von Elementarteilchen:

$$\text{Dipolmoment} \sim \vec{\sigma} \cdot \vec{E} \xrightarrow{T} -\vec{\sigma} \cdot \vec{E}$$

Existenz eines elektr. Dipolmomentes verletzt T

$$\text{EDM}(n) < 6 \times 10^{-26} \text{ cm} \cdot e \quad \text{EDM}(e) = (0.07 \pm 0.07) \times 10^{-26} \text{ cm} \cdot e$$

6.6 Zusammenfassung C, P, T Invarianz

| | e.m. WW | schwache WW | starke WW |
|-----|---------|-------------|-----------|
| C | ja | nein | ja |
| P | ja | nein | ja |
| T | ja | nein | ja |
| CP | ja | nein | ja |
| CPT | ja | ja | ja |