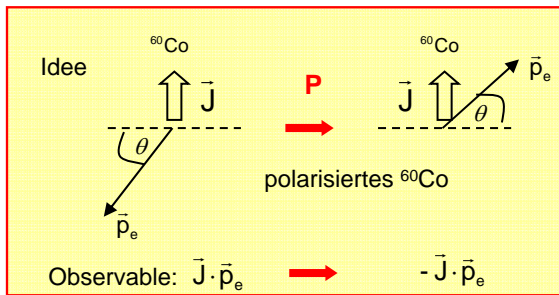
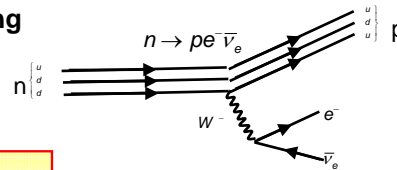
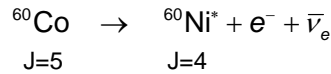


## 6.4 P und C Verletzung

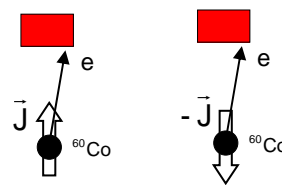
Die C, P und T Invarianz aller Wechselwirkungen war lange Zeit eine Art Dogma der Physik bis Lee&Yang 1956 die Möglichkeit der P-Verletzung in der schwachen WW vorgeschlagen haben. Der Experimentelle Nachweis der Paritätsverletzung gelang kurze Zeit später durch C.S. Wu.

### a) Wu-Experiment zur Paritätsverletzung

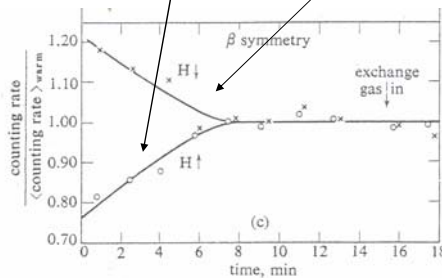


Falls Parität erhalten ist, ist Winkelverteilung symmetrisch in  $\theta$ , d.h. Rate ist für beide Konfigurationen gleich

### 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  $\beta$  Zerfällen

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

Maximale Paritätsverletzung

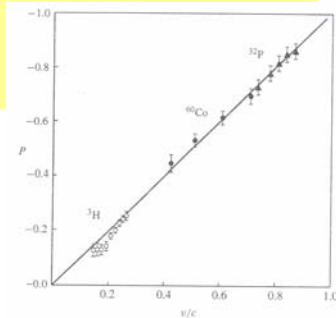


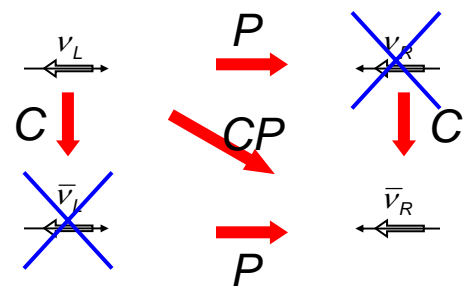
Fig. 7.6. The polarisation  $P$  of electrons emitted in nuclear  $\beta$ -decay, plotted as a function of electron velocity. The results demonstrate that  $P = -v/c$ , as in (7.16). After Koks and Van Klinken (1976).

### c) Neutrino-Helizität

In einem weiteren, wirklich genialen Experiment (Goldhaber et al., 1958) wurde die Helizität der im  $\beta$ -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.  $\beta$ -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

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

## 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