

### Bemerkungen zum starken Isospin:

- Starke Isospin-Symmetrie für e.m. Wechselwirkung nicht anwendbar:  
 $Q_{\text{el}}(p) \neq Q_{\text{el}}(n)$
- Starker Isospin in schwacher Wechselwirkung **verletzt**:

$$\begin{array}{cccc}
 & n & \rightarrow & p + e^- + \bar{\nu}_e \\
 I & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 0 \quad 0 \\
 I_3 & -\frac{1}{2} & +\frac{1}{2} & 0 \quad 0
 \end{array}
 \quad I_3 \text{ nicht erhalten}$$

- Konzept des starken Isospins stammt aus einer Zeit, in der man noch nichts über die Quarkzusammensetzung der Hadronen wusste. Heute benutzt man die sogenannten Quarkflavor-Quantenzahlen:

**U, D, S, C, B, T**

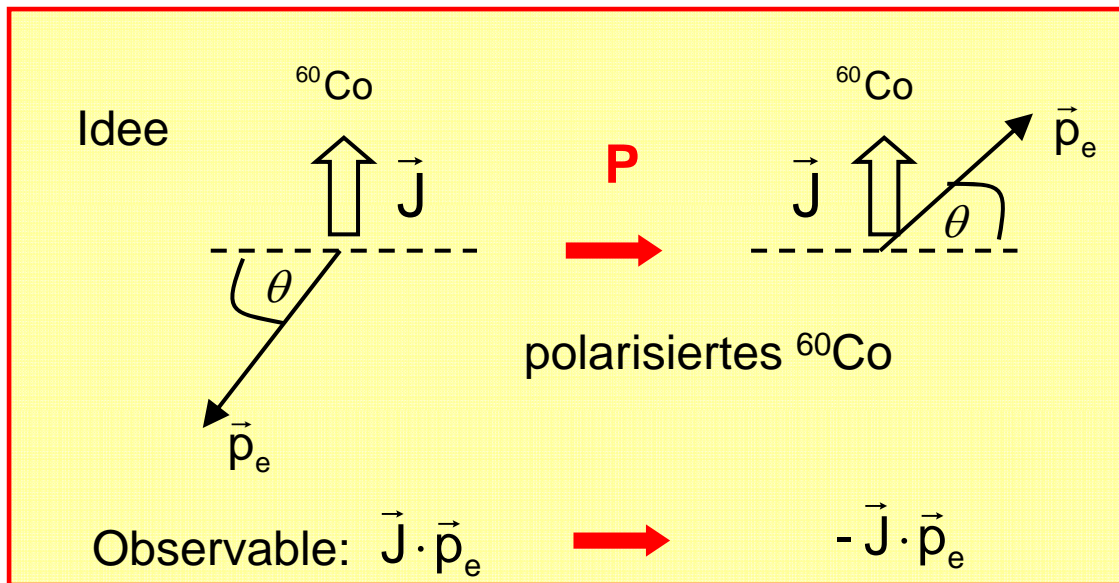
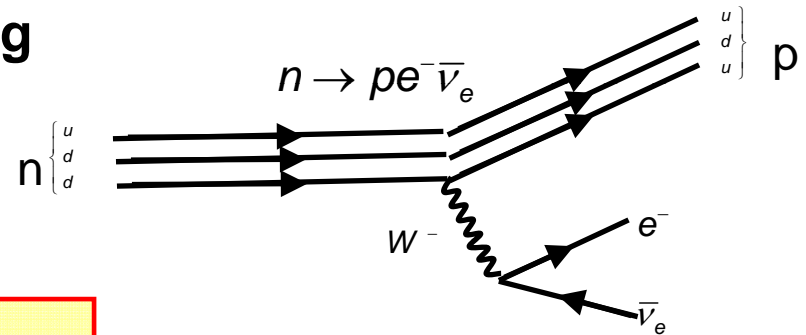
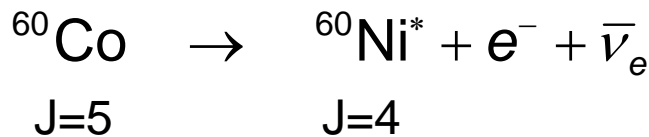
Elektro-magnet. und starke Wechselwirkung erhalten diese QZ.

Schwache Wechselwirkung verletzt diese QZ:  $K^+(u\bar{s}) \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$

# 3.4 Paritätsverletzung im $\beta$ -Zerfall

Die C, P und T Invarianz aller Wechselwirkungen war lange Zeit eine Art Dogma der Physik bis T.D.Lee & C.N.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



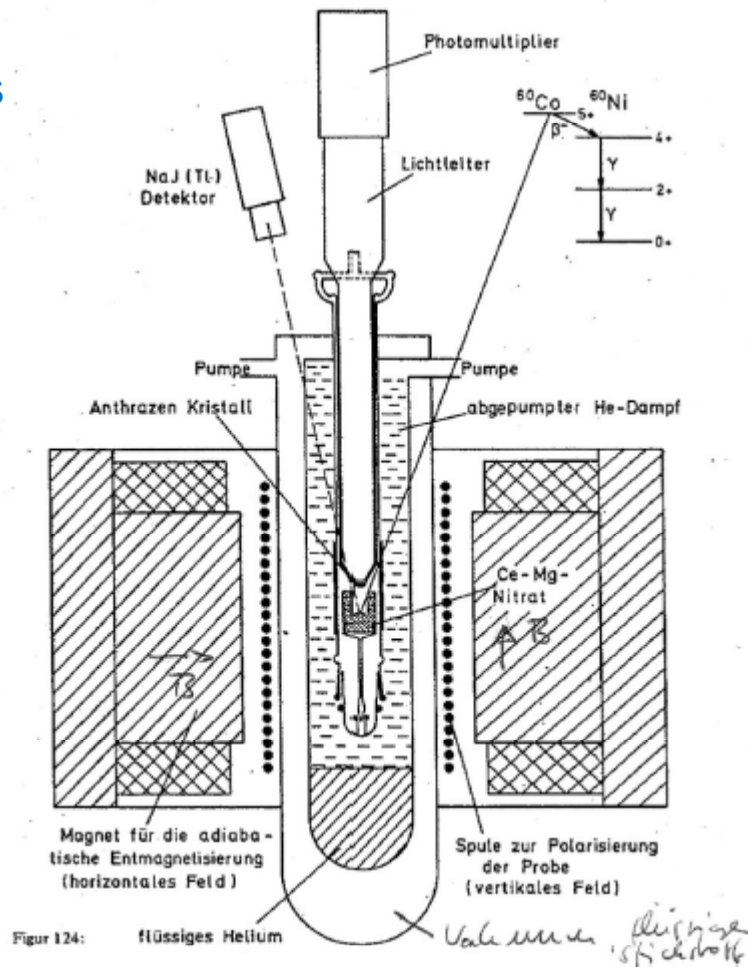
Falls Parität erhalten ist, ist Winkelverteilung symmetrisch in  $\theta$ , d.h. Rate ist für beide Konfigurationen gleich

# Wu-Experiment zur Paritätsverletzung (1957)

3.11a

NaJ zum Nachweis  
der Photonen

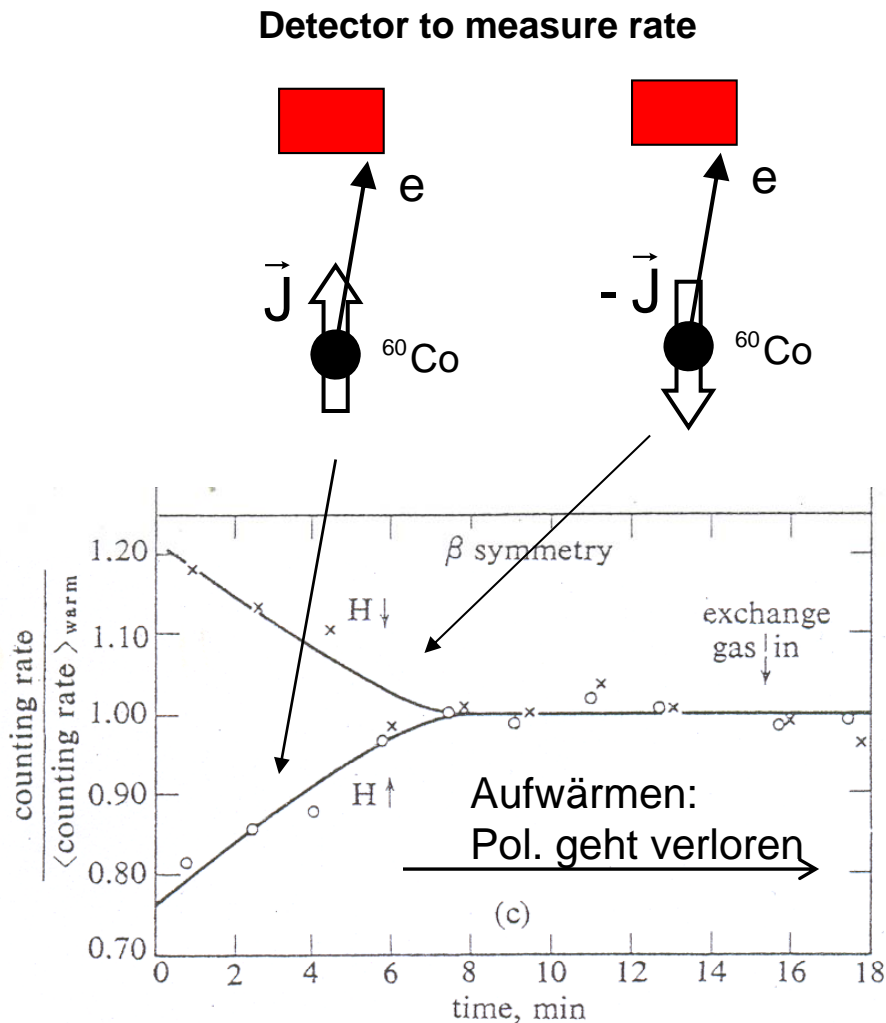
Anthrazen Kristall  
dient dem  
Nachweis des  
Elektrons



Durch Kühlung wurde  
Polarisation "eingefroren".

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

Fig-TP-3.1



Resultat:

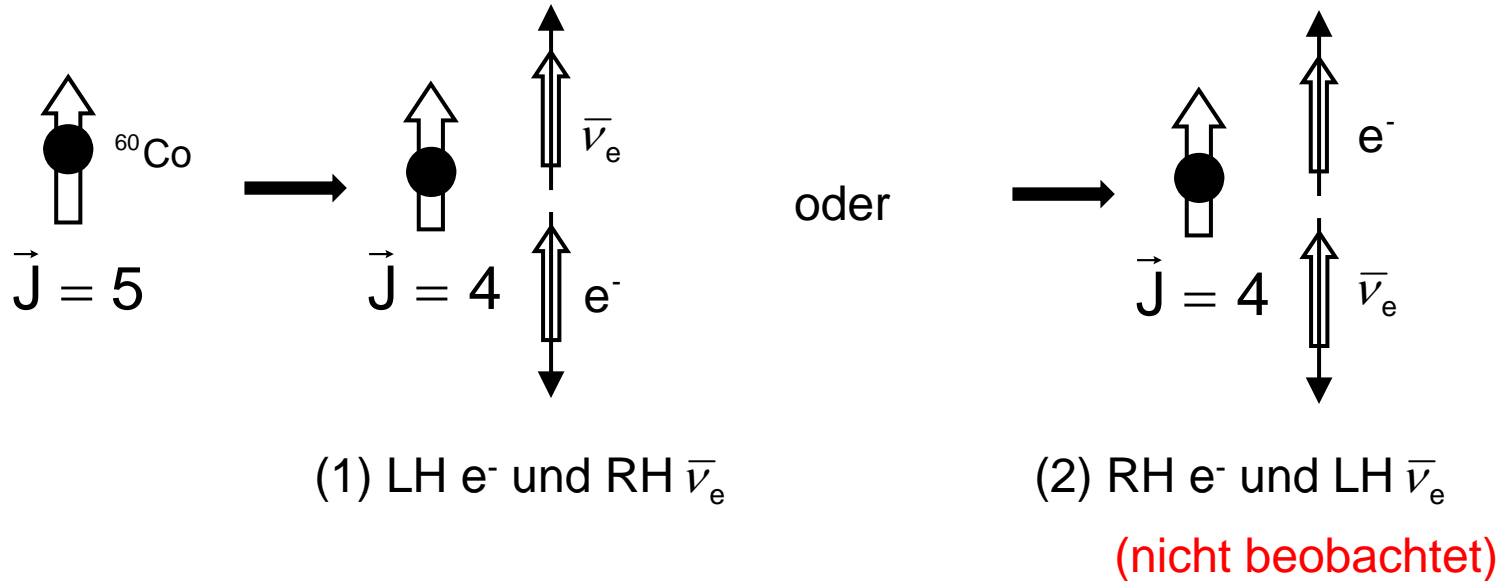
Elektron Rate antiparallel zur Co Polarisation ist größer als parallel zur  $^{60}\text{Co}$  Polarization:

**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

3.12



- In einer Vielzahl von Experimenten konnte nachgewiesen werden, dass im schwachen Zerfall nur LH  $e^-$  bzw. RH  $e^+$  entstehen.
- In einem weiteren Experiment (Goldhaber, 1957) konnte gezeigt werden, dass die entstehenden  $\bar{\nu}_e$  immer RH sind.
- Heute wissen wir:  $W^\pm$  koppeln nur an LH Fermionen bzw. RH Anti-Fermionen.

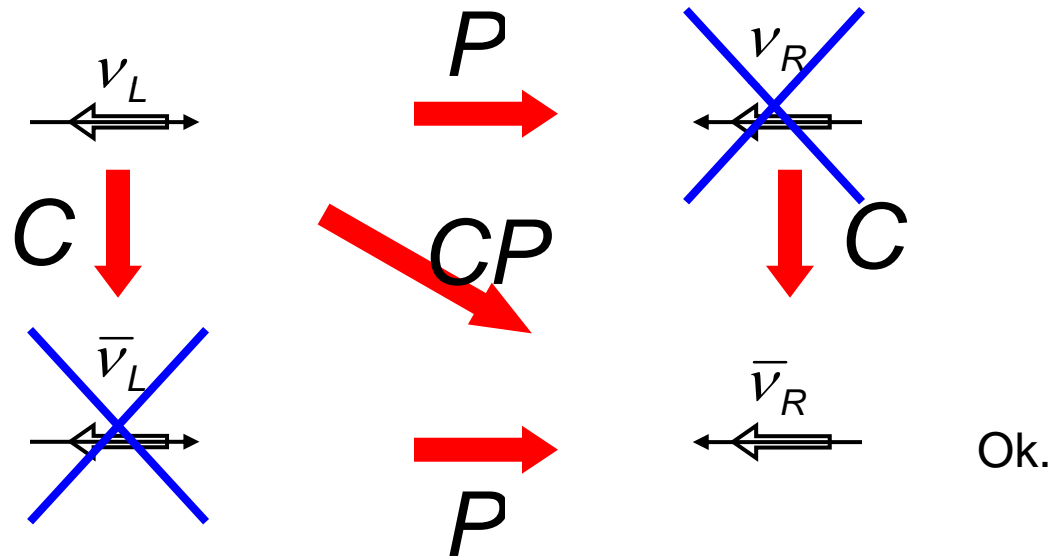
### c) CP-Verletzung

3.12a

Lange Zeit ist man davon ausgegangen, dass die schwache Wechselwirkung zwar C und P verletzt aber CP erhält:

Beispiel:

$\nu_e$  im  $\beta$ -Zerfall



1964 zeigten Cronin et al., dass die CP-Symmetrie im  $K^0$ -Zerfall verletzt ist.

## C, P, T Invarianz für verschiedene Wechselwirkungen

	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

## d) CPT-Theorem für Quantenfeldtheorien

3.12c

CPT-Invarianz ist eine Eigenschaft lorentz-invarianter lokaler Feldtheorien (Lüders, Pauli, Schwinger): **CPT ist erhalten!**

D.h. CP-Verletzung  $\Leftrightarrow$  T-Verletzung

Zum Selbststudium: Baryogenese & Sacharow-Bedingungen,