

## Abb. V.5 C-Erhaltung in e.m. Wechselwirkung

Mit  $\eta_c(\pi^0) = 1$      $\eta_c(\gamma) = -1$

$\pi^0 \rightarrow \gamma \gamma \gamma$  wäre

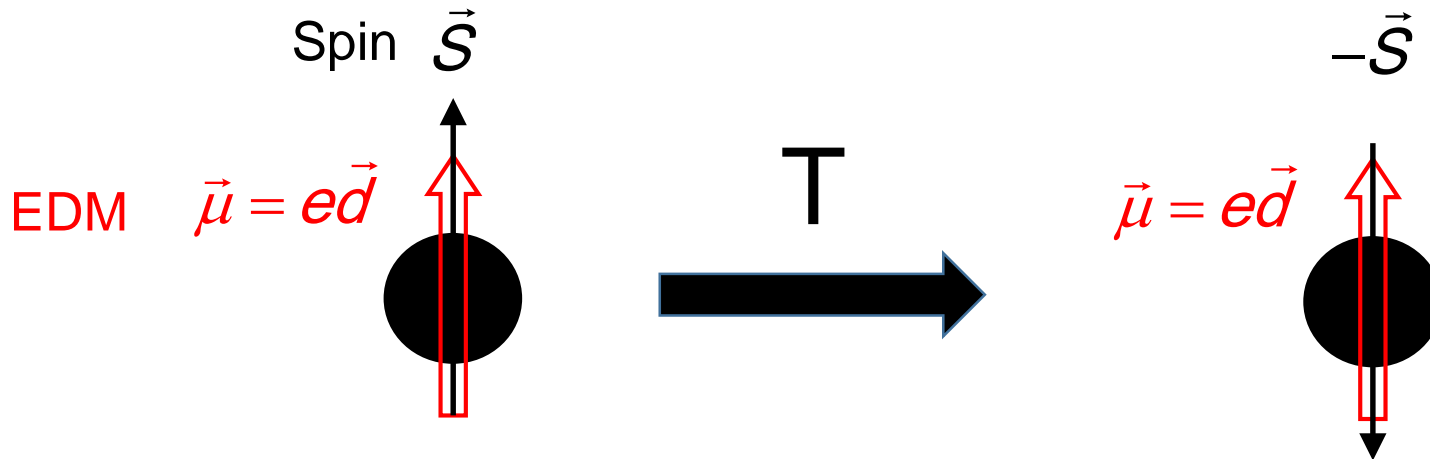
C-paritätsverletzend

$$\Gamma(\pi^0 \rightarrow \gamma \gamma \gamma) / \Gamma(\pi^0 \rightarrow \gamma \gamma) < 3.1 \cdot 10^{-8}$$

(Test der C-Erhaltung in e.m. Wechselwirkung)

# Abb. V.6 Elektrisches Dipolmoment (EDM)

Elektrisches Dipolmoment eines Elementarteilchens verletzt T:



Bem.: EDM eines Elementarteilchens muss parallel zum Spin ausgerichtet sein (keine andere Richtungsachse definiert).

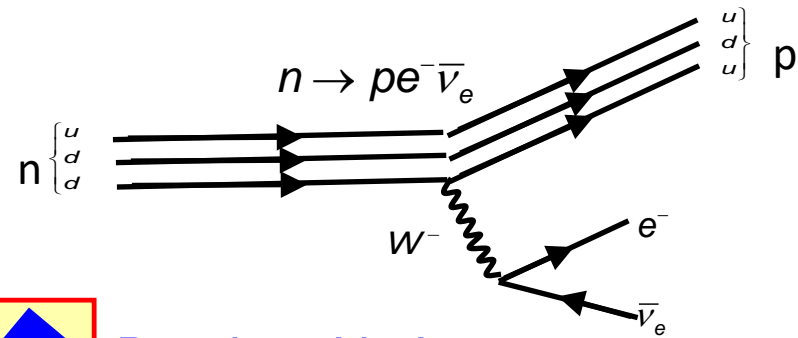
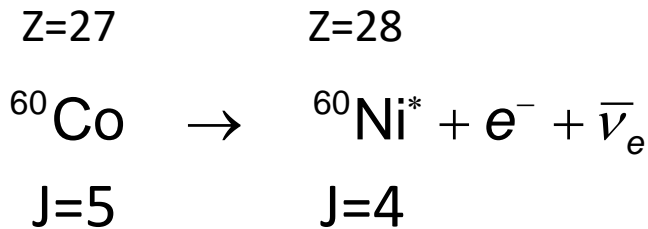
Experimentelle Grenze für Neutron-EDM:  $e \cdot d < 2.9 \cdot 10^{-26} \text{ e} \cdot \text{cm}$

$\underbrace{\hspace{2cm}}$   
Ladung  $\times$  Abstand

# 4.4 Paritätsverletzung im $\beta$ -Zerfall

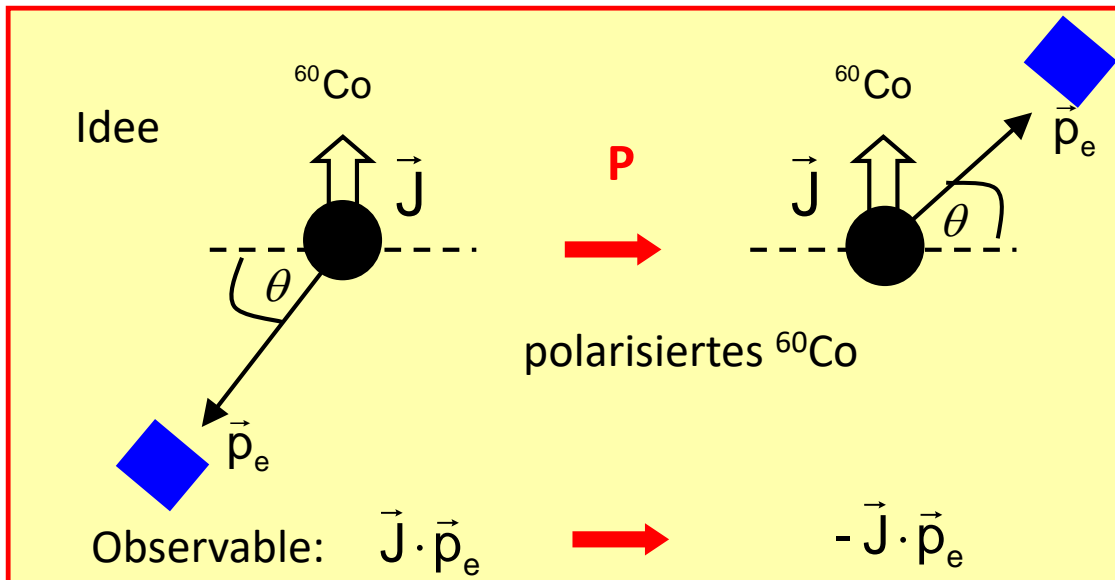
Die C, P und T Invarianz aller Wechselwirkungen war lange Zeit eine Art Dogma der Physik bis Lee&Yang 1956 die Möglichkeit der P-Verletzung in der schwachen WW vorgeschlagen haben. Der Experimentelle Nachweis der Paritätsverletzung gelang kurze Zeit später durch Chien-Shiung Wu.

## a) Wu-Experiment zur Paritätsverletzung



Detektor NaJ

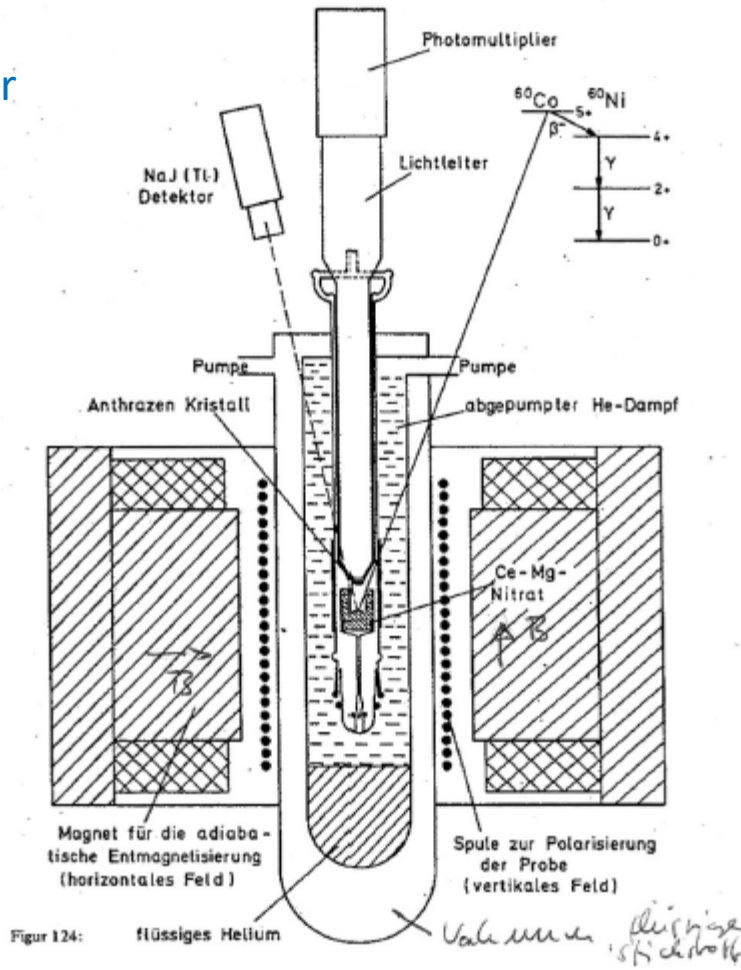
Falls Parität erhalten ist, muss Winkelverteilung symmetrisch in  $\theta$  sein, d.h. die Rate muss für beide Konfigurationen gleich sein



# Experimenteller Aufbau des Wu-Experiment

NaJ zum Nachweis der Photonen

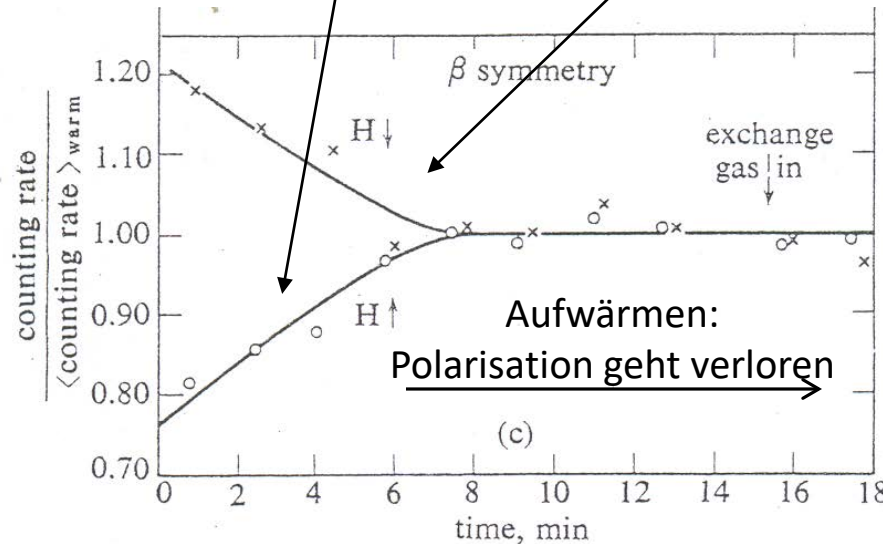
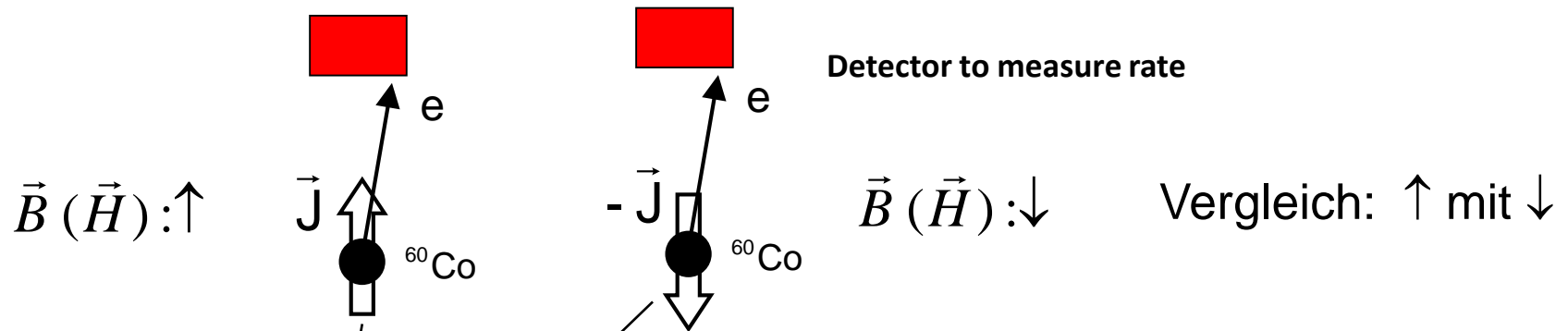
1957



Im Experiment wurde nicht der Detektor verschoben sondern stattdessen die Polarisierung umgedreht (B-Feld Richtung).

„Einfrieren“ der Co-Polarisation durch Kühlung mit fl. He und adiabatischer Entmagnetisierung eines paramagnetischen Salzes

# Ergebnis des Wu-Experiments (Abb. V.4)



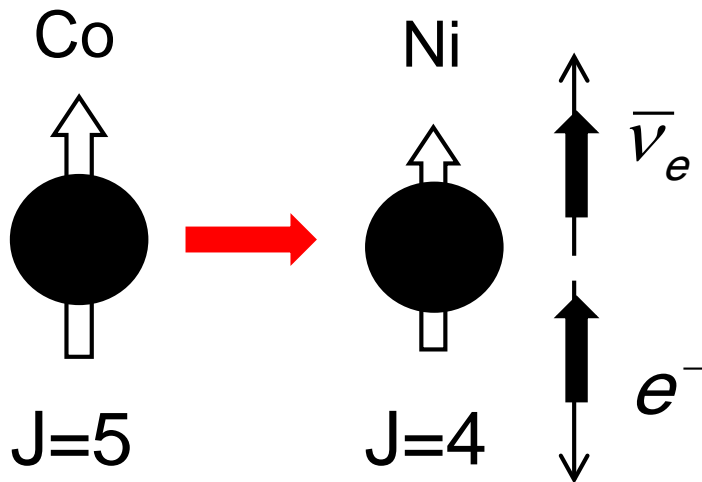
## Resultat:

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

**Paritätsverletzung**

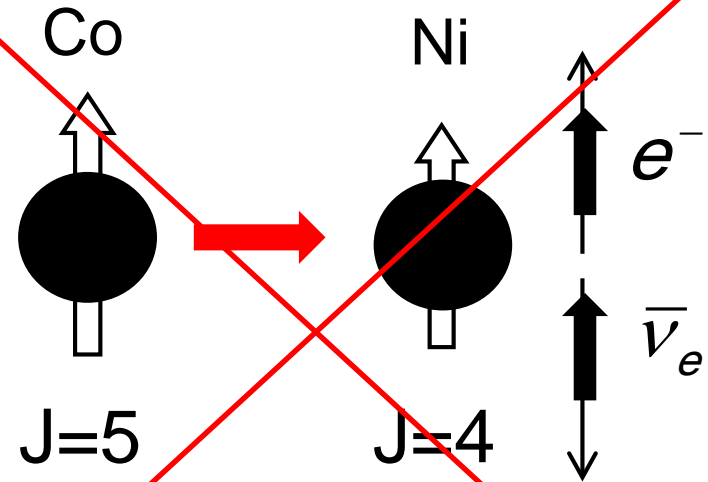
**Figure 9-12** Gamma anisotropy (as determined from the two NaI counters) and beta asymmetry for the polarizing field pointing up and down as a function of time. The times for disappearance of the beta and gamma asymmetry coincide; this is the warm-up time. The warm-up time for the sample is approximately 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 des Wu-Experimentes



LH (linkshändiges)  $e^-$

RH (rechtshändiges)  $\bar{\nu}_e$



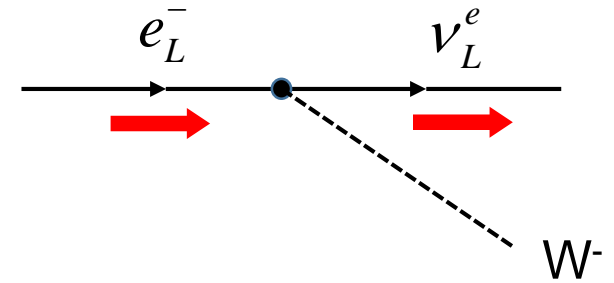
RH (rechtshändiges)  $e^-$

LH (linkshändiges)  $\bar{\nu}_e$

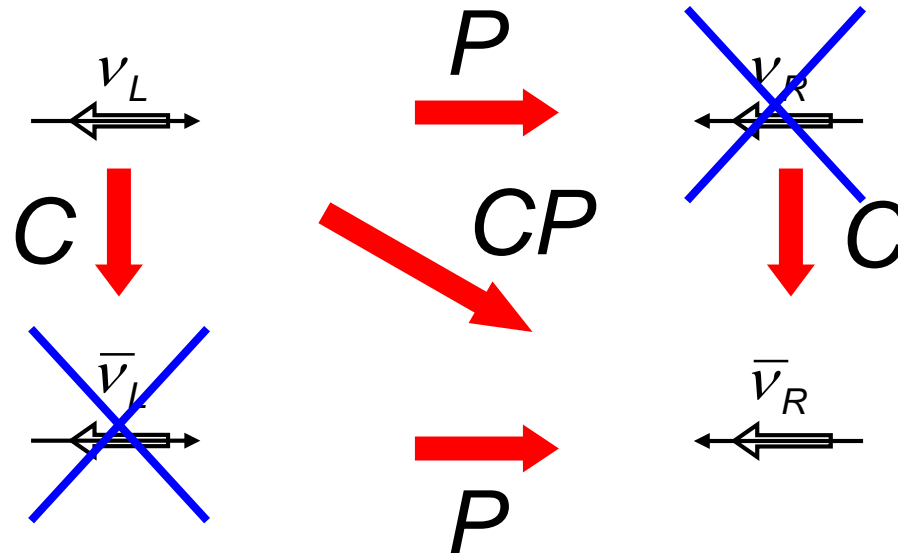
- In einer Vielzahl von Experimenten konnte nachgewiesen werden, dass nur LH  $e^-$  (bzw. RH  $e^+$ ) im schwachen Zerfall entstehen.
- In einem anderen Experiment (**Goldhaber, 1957**) konnte gezeigt werden, dass die entstehenden  $\nu_e$  immer RH sind.

Heute wissen wir:

- W-Bosonen koppeln nur an LH (RH) (Anti)-Fermionen.
- Es werden nur LH Neutrinos und RH Anti-Neutrinos beobachtet.



Die schwache Wechselwirkung verletzt deshalb P und C maximal:



Auf den ersten Blick scheint die kombinierte Symmetrie CP in der schwachen Wechselwirkung aber erhalten.

## 4.5 CP- und T-Verletzung

1964 zeigten Cronin, Fitch und Turlay, dass auch die CP-Symmetrie im schwachen Zerfall  $K^0 \rightarrow \pi\pi$  verletzt ist (Nobelpreis für Cronin & Fitch, 1980).

Wir wissen heute, dass die schwache Wechselwirkung und auch ihre theoretische Beschreibung im Standardmodell die Symmetrien C, P, CP und T explizit verletzt.

### Bemerkung:

- Die Verletzung von C und P hat die Ursache in der Kopplung der W-Bosonen nur an LH—Teilchen (RH-Antiteilchen).
- Die CP und T Verletzung tritt nur im Quarksektor bei Hadronen auf. Sie ist verbunden mit der Quarkmischung (später) und der Kopplung der W-Bosonen and Quarks.



# CPT Theorem

(Lüders 1954, Pauli 1955)

CPT Invarianz ist eine Eigenschaft lokaler, Lorentz-invarianter, kausaler Feldtheorien.

Eine Konsequenz von CPT Invarianz ist, dass Teilchen und Antiteilchen die gleichen Massen und die gleichen Lebensdauern besitzen.

**Achtung: Invarianz unter CPT heißt nicht, dass es sich nach der CPT Transformation um den gleichen Zustand handelt!**

# Abb. V.8 C, P, T Invarianz in 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