

$$\overline{\pi}_{\pi^-} \cdot \overline{\pi}_d (-1)^e = \underbrace{\overline{\pi}_n \overline{\pi}_n}_{1} (-1)^{e'} = (-1)^{e'}$$

(1)

Deuteron spin 1 \Rightarrow Nucleon spins sind parallel
 Bahndrehimpuls d. Nucleonen (hauptsächlich) Null
 $\Rightarrow l=0$
 $\Rightarrow \overline{\pi}_d = \overline{\pi}_p \overline{\pi}_n$

Bildung eines pionischen Stars . Nur Photoemission führt Pion
 auf den Grundzustand mit Bahndrehimpuls $l=0$, von
 wo aus Reaktion (1) stattfindet
 \Rightarrow Anfangszustand : $\overline{\pi}_{\pi^-} \cdot \overline{\pi}_p \overline{\pi}_n$

Drehimpuls Endzustandes : identische Fermionen \Rightarrow WF des
 Endzustandes muß anti-symmetrisch

Annahme : falls ~~da~~ Neutron spins sind antiparallel (antisymmetrisch)
 muß Orts-WF des WF symmetrisch
 $\Rightarrow l'$ gerade, damit Orts-wellenfunktion symm.
 $l' = 0, 2, \dots$

Aber : Gesamt Drehimpuls im Anfangszustand ist 1
 Drehimpulserhaltung verbietet also den antisymmetrischen
 Spinzustand 1↓

Falls $\uparrow\uparrow$ (beide Spins parallel) muß l' ungerade $l' = \underline{1, 3, \dots}$ (2)
 (Ortsanteil der WF muß antisymmetrisch sein)

Nur für $l' = 1$ kann Gesamtdrehimpuls \neq sein
 \Rightarrow Endzustand 3P_1

$$\underbrace{\overline{\Pi}_p \overline{\Pi}_n \cdot \overline{\Pi}_{\pi^-}}_{P \text{ d. Anfangszustandes}} = (-1)^{l'} = -1$$

Zwei Lösungen:

$$1) \quad \overline{\Pi}_p \overline{\Pi}_n = 1 \quad ; \quad \overline{\Pi}_{\pi^-} = -1$$

$$2) \quad \overline{\Pi}_p \overline{\Pi}_{\pi^-} = 1 \quad ; \quad \overline{\Pi}_n = -1$$

Kern Experiment mögliche Parität von Neutron und Proton zu untersuchen.

\Rightarrow Proton u. Neutron sind Mitglieder des gleichen Isospin Multipletts

$$\Rightarrow \overline{\Pi}_n := \overline{\Pi}_p = 1$$

$$\Rightarrow \boxed{\overline{\Pi}_{\pi^-} = -1}$$

Lee, Yang (1957) : "P - Theta" Paradox

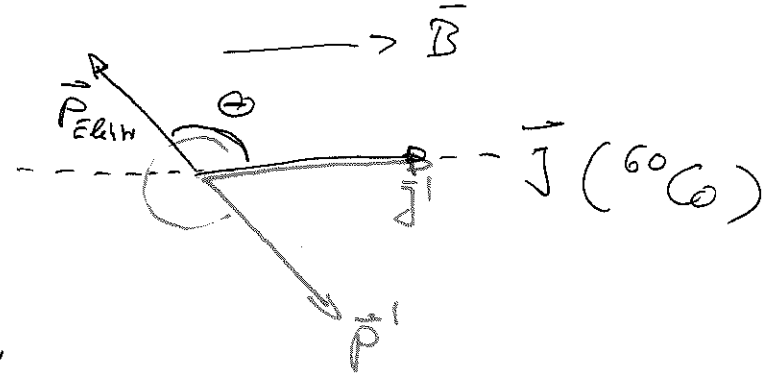
$K^+ \rightarrow (\pi^+) \rightarrow 2\pi$ (positive Parität)

$K^+ \rightarrow (\pi^0) \rightarrow 3\pi$ (negative Parität)

π und Θ stimmen alle QZP Klasse überein
aber ihre Zerfälle in unterschiedliche Kanäle!
Oder die Parität ist in der schw. WW verletzt!

Experimenteller Vorschlag

Messgröße $\vec{J} \cdot \vec{p}$
↑ axial Vektor Vektor



Helizitätsoperator $H = 2 \cdot \frac{\vec{J} \cdot \vec{p}}{|\vec{p}|}$

$\langle H(e^-) \rangle = -\frac{v}{c}$

$\langle H(e^+) \rangle = +\frac{v}{c}$



The Nobel Prize in Physics 1957

Chen Ning Yang, Tsung-Dao Lee

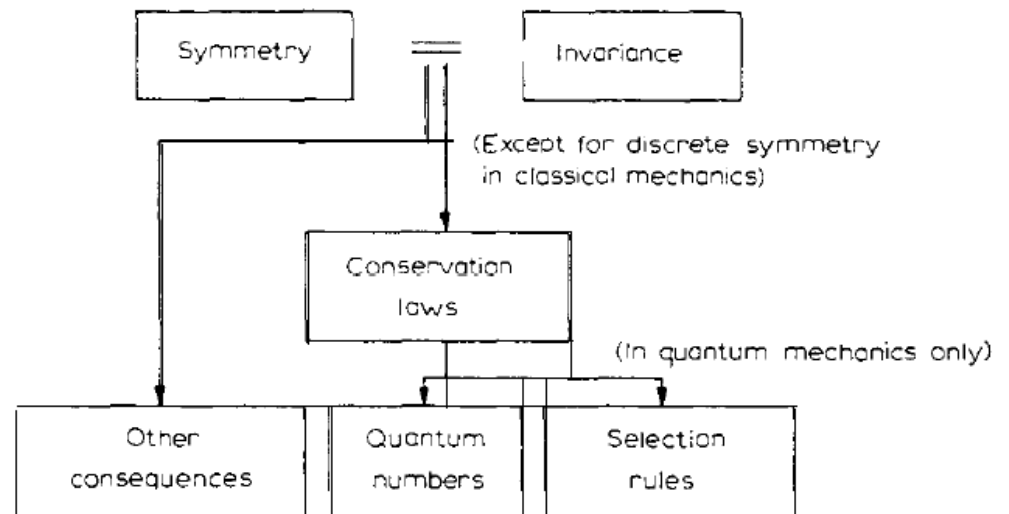


Chen Ning Yang



Tsung-Dao (T.D.)
Lee

1957 C.N.YANG



The Nobel Prize in Physics 1957 was awarded jointly to Chen Ning Yang and Tsung-Dao (T.D.) Lee *"for their penetrating investigation of the so-called parity laws which has led to important discoveries regarding the elementary particles"*

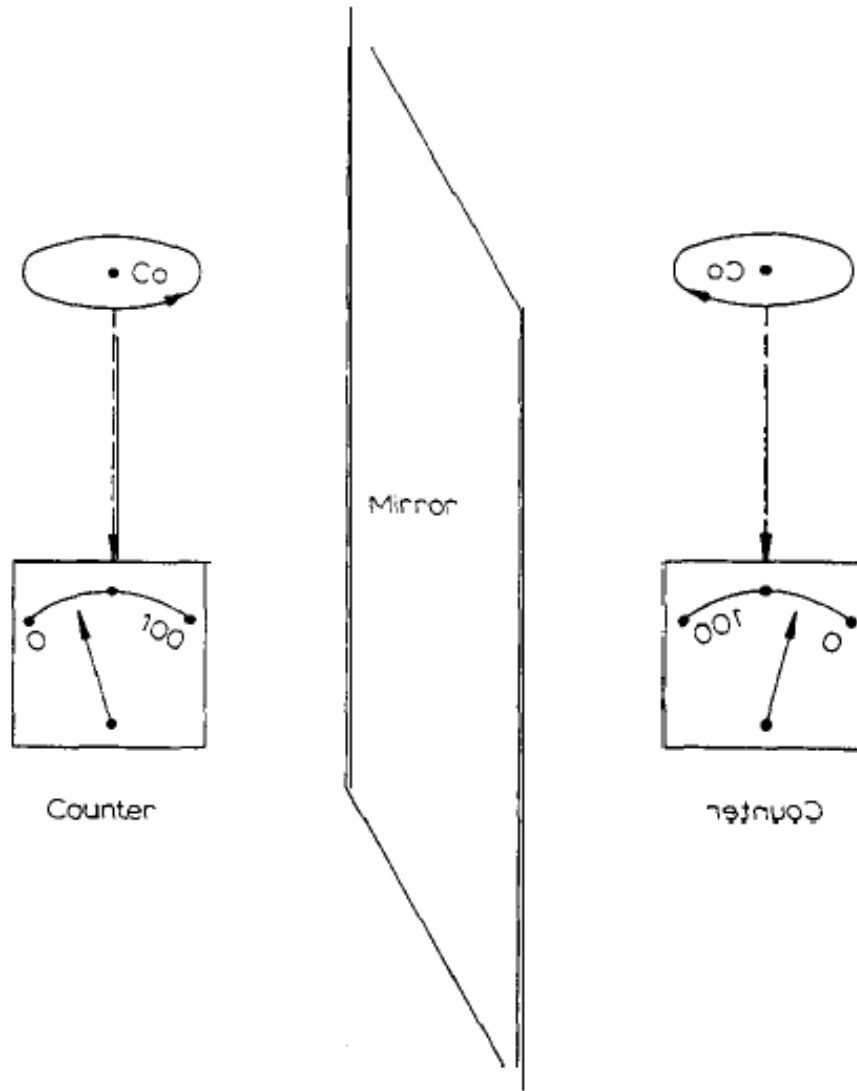
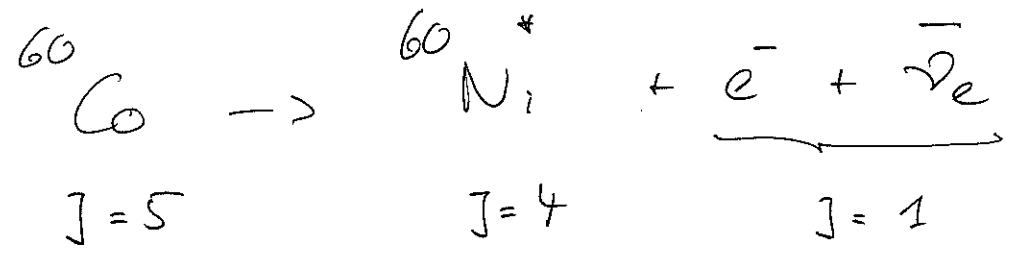


Fig. 2.

Wu - Experiment

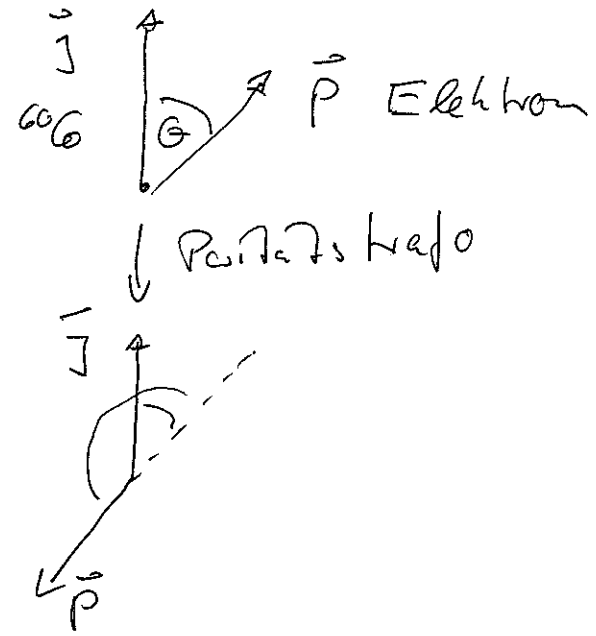
β -Zerfall von ^{60}Co

bei $T \approx 10\text{mK}$ in starke Magnetfeld



Messung: Winkelverteilung der e^- -Intensität:

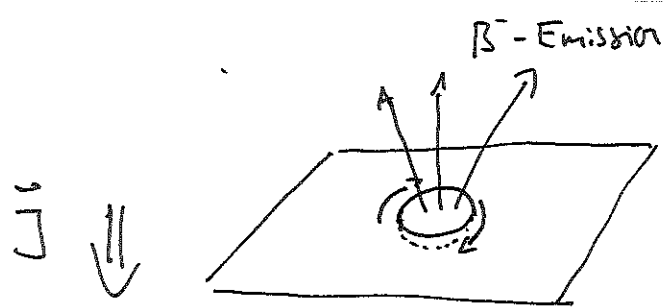
$$\lambda(\theta) \stackrel{?}{=} \lambda(180-\theta)$$



Experimentelle Beobachtung

$$\lambda(\theta) \neq \lambda(180-\theta)$$

$\Rightarrow \beta$ -Zerfall verletzt die Paritätsinvarianz!



oben vs. unten

(5)

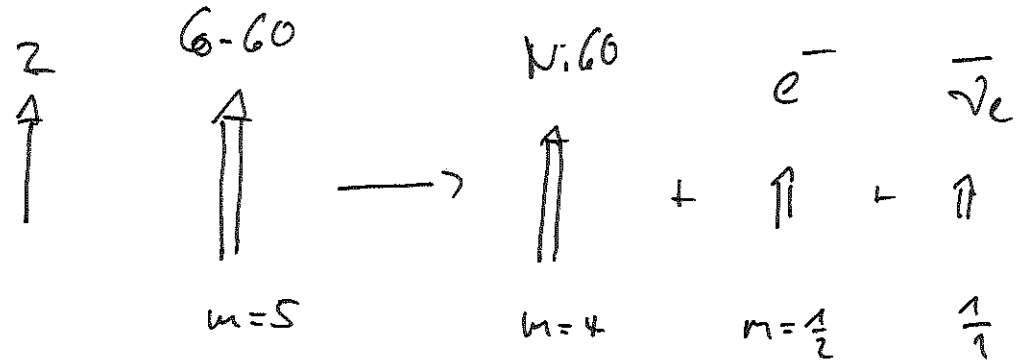
Raum V zeichnet sich durch nicht aus, außer Drehstrom
 von oben: rechts überhand
 von unten: links überhand

Natur α (schw. WW) unterscheidet zwischen „links- und rechtskern“

Wu Experiment nicht geeignet die Paritätsverletzung quantitativ zu untersuchen. \Rightarrow Messung der longitudinalen Polarisation

oder β -Strahlung

^{60}Co : Spin 5^+
 ^{60}Ni : Spin 4^+



Exp: β -Feld in $+z \Rightarrow \vec{j}$ $+z$ Richtung

Elektron \leftarrow mit \vec{p}_e $-z$ -Richtung \Rightarrow Spin entgegengesetzt zur Flugrichtung

\uparrow .



Paritätsverletzung: Das Wu Experiment

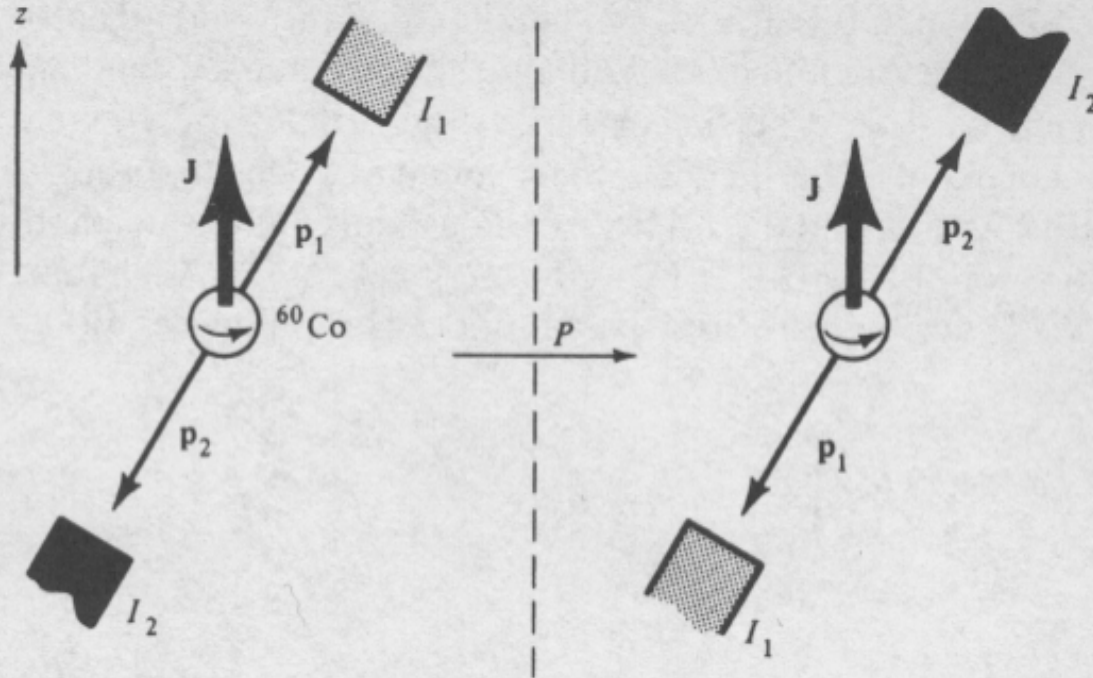
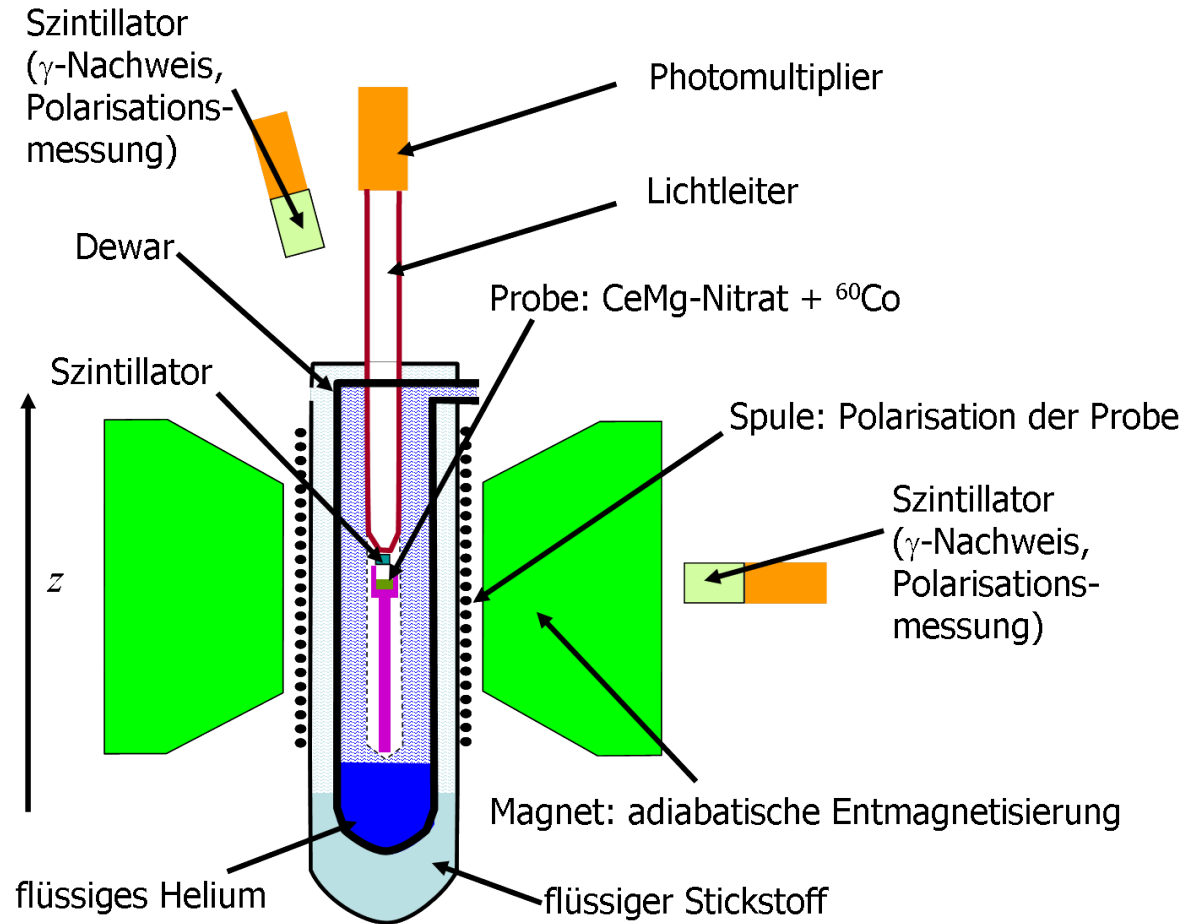
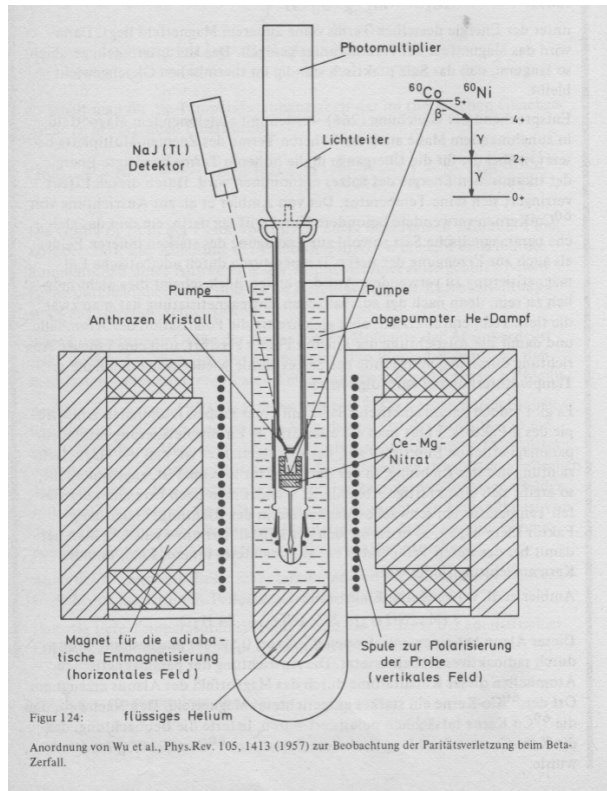
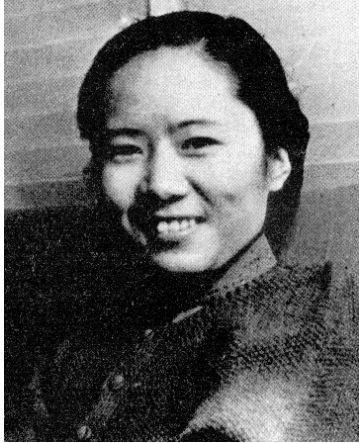


Bild 9.4 Prinzip des Experiments von Wu et al. Ein polarisierter Kern emittiert Elektronen mit den Impulsen \mathbf{p}_1 und \mathbf{p}_2 . Links ist die ursprüngliche Lage, rechts die paritätstransformierte Lage. Paritätstransformation bedeutet, daß diese beiden Anordnungen nicht gleichzeitig beobachtet werden können.

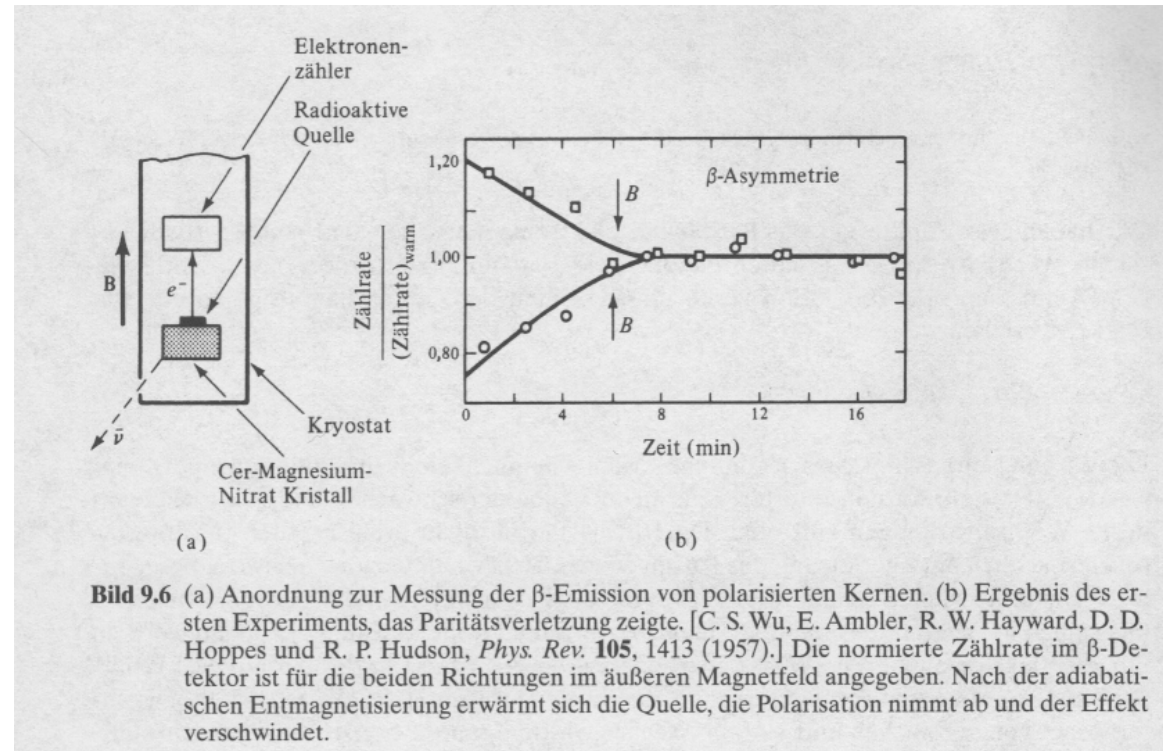
Das Wu Experiment



Paritätsverletzung: Das Wu Experiment



http://de.wikipedia.org/wiki/Chien-Shiung_Wu



Frankfeldt (1957) Longitudinale Polarisation d. Elektronen

⑥

$$P_e = \frac{N_{\uparrow\uparrow} - N_{\downarrow\uparrow}}{N_{\uparrow\uparrow} + N_{\downarrow\uparrow}}$$

$N_{\uparrow\uparrow}$: Anteil der Elektronen deren Spin im Flugrichtung zeigt

$$P_e = \frac{2}{\hbar |\vec{p}|} \langle \vec{S} \cdot \vec{p} \rangle = \frac{2}{\hbar} \langle \vec{S} \cdot \vec{p}_0 \rangle$$

$N_{\downarrow\downarrow}$: () entgegen Flugrichtung

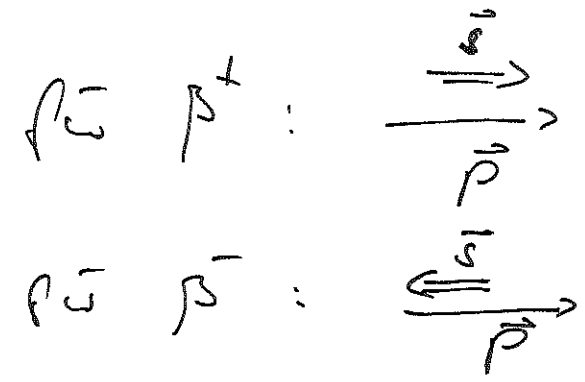
- mit \vec{S} = Elektronenspin
- \vec{p} = Elektronenimpuls
- \vec{p}_0 = Erichetsvektor \vec{p}

Pseudoskalar P_e wird auch Helizität genannt!

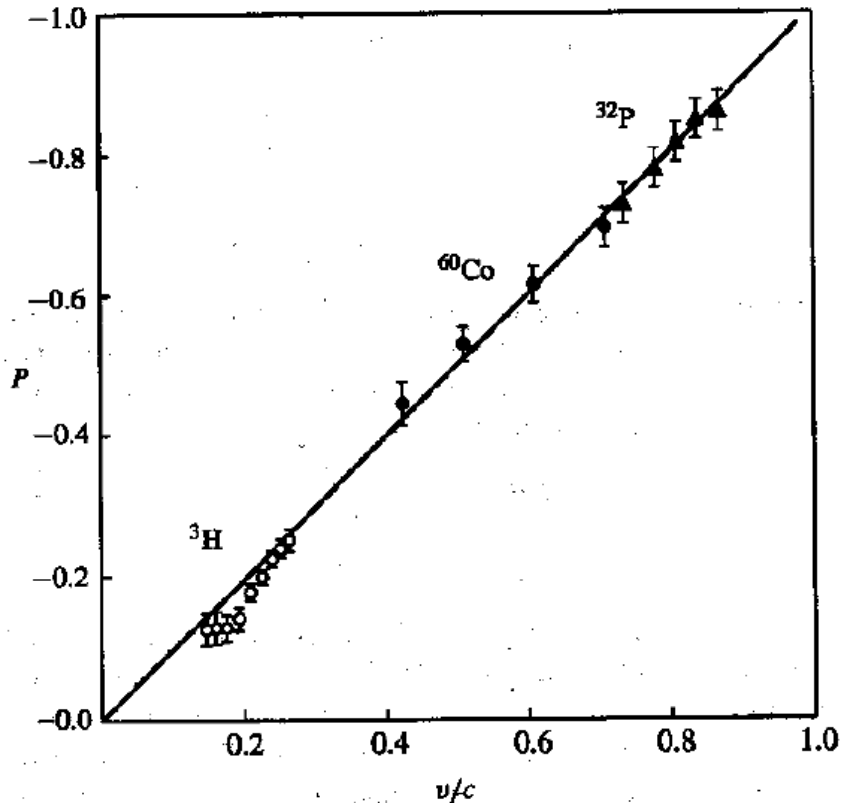
Experimentelle Ergebnisse

$$P_e = + \frac{v}{c}$$

$$= - \frac{v}{c}$$



Polarisation der Elektronen in Beta-Zerfällen



$$I = 1 + \alpha \frac{\boldsymbol{\sigma} \cdot \mathbf{p}}{E}$$

$$P = \frac{I^+ - I^-}{I^+ + I^-} = \alpha \frac{v}{c}$$

Experiment:

Streuung an magnetisierter Eisenfolie

$$\alpha = \begin{cases} +1 & \text{for } e^+, \text{ thus } P = +v/c \\ -1 & \text{for } e^-, \text{ thus } P = -v/c \end{cases}$$

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).

Folie 1

Elektron (e^-) aus erlaubter β^- -Zerfall
haben Spin bevorzugt parallel (parallel) zu
Richtung des Impulses.

antiparallel \equiv links ländig
parallel \equiv rechts ländig

(Goldhaber et al.): Messung longitudinal Polarisation
der bei EC emittierten Neutrinos (1958),

Goldhaber, Grodzins und Sunyar PR 109, 1015 (1958)



Neutrino! hier $\text{anti-}\nu_e$!