

1. Paritätsverletzung beim β -Zerfall

Beim Intensitätsmaximum wird das Antineutrino in entgegengesetzter Richtung zum Elektron emittiert, also parallel zum Kernspin. Das Antineutrino hat immer positive Helizität, d.h. sein Spin ist parallel zur Impulsrichtung. Der Spin des Elektrons muss ebenfalls parallel zum Kernspin sein, damit sich die Summe aller Spins zum ursprünglichen Wert $I = 5$ aufaddiert. Das Elektron hat folglich negative Helizität, d.h. das (negative) β -Teilchen ist linksdrehend.

Da im β -Zerfall CP-Invarianz gilt, führt die Umwandlung aller Teilchen in ihre Antiteilchen zusammen mit einer Raumspiegelung wiederum zu einer physikalisch erlaubten Situation. Bei der Raumspiegelung bleibt die Spinrichtung erhalten, während sich die Impulsrichtungen umkehren. Das emittierte Positron hätte daher positive Helizität (rechtsdrehend).

2. Paritätsverletzung und Spin des W-Bosons

Maximale Paritätsverletzung:	- V-A: W koppelt nur an linkshändige Fermionen und an rechtshändige Antifermionen - V+A: W koppelt nur an rechtshändige Fermionen und an linkshändige Antifermionen
Keine Paritätsverletzung:	W koppelt gleichermassen an rechts- und linkshändige Teilchen

Im Fall hoher Energien sind auch die Quarks und das Positron polarisiert ($\beta = v/c \approx 1$). In dieser Tabelle sind alle drehimpulserhaltenden Zerfallskombinationen gegeben:

	Erzeugung	Zerfall ($\theta^* = 0^\circ$) Experimentell $P = P_{max}$	Zerfall ($\theta^* = 180^\circ$) Experimentell $P = 0$
V-A: ($S_z = 1$)	S: $\frac{\bar{d}}{\rightarrow} \bullet \frac{u}{\rightarrow}$ (RH) (LH)	$\frac{\nu}{\rightarrow} \frac{e^+}{\rightarrow}$ (LH) (RH) OK in V-A	$\frac{e^+}{\rightarrow} \frac{\nu}{\rightarrow}$ (LH) (RH) nicht möglich in V-A
V+A: ($S_z = -1$)	S: $\frac{\bar{d}}{\leftarrow} \bullet \frac{u}{\leftarrow}$ (LH) (RH)	$\frac{\nu}{\leftarrow} \frac{e^+}{\leftarrow}$ (RH) (LH) OK in V+A	$\frac{e^+}{\leftarrow} \frac{\nu}{\leftarrow}$ (RH) (LH) nicht möglich in V+A
Keine Paritätsverletzung: $S_z = \pm 1$:	S: $\frac{\bar{d}}{\rightarrow} \bullet \frac{u}{\rightarrow}$ (RH) (LH)	$\frac{\nu}{\rightarrow} \frac{e^+}{\rightarrow}$ (LH) (RH) OK	$\frac{e^+}{\rightarrow} \frac{\nu}{\rightarrow}$ (LH) (RH) OK
	S: $\frac{\bar{d}}{\leftarrow} \bullet \frac{u}{\leftarrow}$ (LH) (RH)	$\frac{\nu}{\leftarrow} \frac{e^+}{\leftarrow}$ (RH) (LH) OK	$\frac{e^+}{\leftarrow} \frac{\nu}{\leftarrow}$ (RH) (LH) OK
	S: $\frac{\bar{d}}{\rightarrow} \bullet \frac{u}{\leftarrow}$ (RH) (RH) $S=0$	$\frac{\nu}{\rightarrow} \frac{e^+}{\leftarrow}$ (LH/RH) (LH/RH) OK	$\frac{e^+}{\rightarrow} \frac{\nu}{\leftarrow}$ (LH/RH) (LH/RH) OK
	S: $\frac{\bar{d}}{\leftarrow} \bullet \frac{u}{\rightarrow}$ (LH) (LH) $S=0$	$\frac{\nu}{\leftarrow} \frac{e^+}{\rightarrow}$ (LH/RH) (LH/RH) OK	$\frac{e^+}{\leftarrow} \frac{\nu}{\rightarrow}$ (LH/RH) (LH/RH) OK

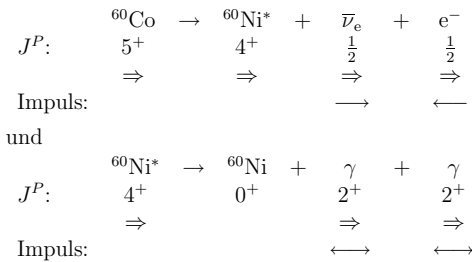
$\Rightarrow$ In maximal paritätsverletzender Wechselwirkung ist der Streuwinkel $\theta^* = 180^\circ$ unterdrückt. In paritätserhaltender Wechselwirkung können alle drehimpulserhaltenden Kombinationen auftreten und die Winkelverteilung sollte denselben Wert bei $\theta^* = 180^\circ$ und $\theta^* = 0^\circ$ betragen. Die experimentellen Daten zeigen, dass die Wechselwirkung des W-Bosons maximal paritätsverletzend ist.

Die Form V-A oder V+A kann nicht aus dieser Winkelverteilung geschlossen werden, weil nur der Winkel zwischen der Positron- und Antiprotonrichtung und nicht der Winkel zwischen der Positron- und W-Spinrichtung bekannt ist.

Weil die z-Komponente des Spins +1 oder -1 ist, muss J des W-Bosons > 0 sein.

3. “Experimental Test of Parity Conservation in Beta Decay”

- a) Die analysierten Reaktionen und die möglichen Spin und Impuls Orientierungen sind:



- b) Nach dem Artikel wurden Elektronen mit einer mittleren Geschwindigkeit von $v/c \approx 0.6$, was einer kinetischen Energie von etwa 90 keV entspricht, gemessen. Wegen der kurzen Reichweite der Elektronen musste der Detektor sehr nahe an der Quelle, innerhalb des entmagnetisierenden Kryostats, installiert werden. Folglich muss auch die Quelle selbst entsprechend dünn sein. Eine weitere Herausforderung war es eine möglichst hohe Polarisierung des ${}^{60}\text{Co}$ zu erreichen. Dieses Problem konnte durch die Kombination von einer tiefen Temperatur mit einem grossen magnetischem Feld gelöst werden.
- c) Die Polarisierung der ${}^{60}\text{Co}$ Quelle wurde durch die Anisotropie der Gamma Strahlen aus dem Zerfall des ${}^{60}\text{Ni}^*$ bestimmt. Im Experiment wurden zwei NaI Zähler, die jeweils Gamma's in der horizontalen Ebene und in der vertikalen Ebene messen konnten, benutzt. Im Experiment wurde eine maximale Polarisierung von etwa 0.6 beobachtet.
- d) Die Winkelverteilung beim β Zerfall kann in der folgenden Form beschrieben werden:

$$I(\theta) = I(1 + \alpha \frac{v}{c} \cos(\theta))$$

dabei ist α der beobachtete experimentelle Asymmetrie Koeffizient:

$$\alpha = \frac{I(0) - I(\pi)}{2 \cdot I \cdot \frac{v}{c}} \approx \frac{0.76 - 1.22}{2 \cdot 0.6} \approx -0.4$$

Berücksichtigt man noch die beobachtete Anisotropie der Gamma Strahlung von 0.6, dann erhält man als untere Grenze für die korrigierte Asymmetrie den Wert:

$$\beta = \frac{\alpha}{<I_z>/I} \approx \frac{-0.4}{0.6} \approx -0.7$$

Das Experiment lieferte den ersten direkten und eindeutigen Beweis, dass die Parität beim β Zerfall nicht erhalten ist. Eine genauere Messung der Asymmetrie β erforderte eine genauere Analyse der verschiedenen Effekte und insbesondere die Rückwärtsstreuung in nachfolgenden Experimenten.

4. CKM Matrix

Das B^0 Meson besteht aus den Quarks $d\bar{b}$, das π^- hingegen aus $d\bar{u}$. Beim Zerfall $B^0 \rightarrow \pi^- l^+ \nu_l$ wandelt sich also ein $\bar{b}$ -Quark (dritte Generation) in ein $\bar{u}$ -Quark (erste Generation) um. Der kleinen Zerfallswahrscheinlichkeit für diesen Kanal entspricht daher ein kleiner Wert für den Betrag $|V_{ub}|$ des entsprechenden Elementes der CKM-Matrix. (Der aktuell beste Wert beträgt $|V_{ub}| = (3.6 \pm 0.7) \times 10^{-3}$)