

Determination of a time reversal invariance violating coupling from the measurement of the transverse polarization of positrons from the decay of polarized muons

Doctoral Thesis**Author(s):**

Danneberg, Norbert

Publication date:

2001

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004136787>

Rights / license:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

Diss. ETH No 14041

**Determination of a Time Reversal Invariance
Violating Coupling from the Measurement of the
Transverse Polarization of Positrons from the Decay
of Polarized Muons**

A dissertation submitted to the

SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ZÜRICH

for the degree of
Doctor of Natural Sciences

presented by

Norbert Danneberg

Dipl. Phys., Ludwig-Maximilians-University, Munich

born on July 2nd 1971

in Munich, Germany

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. J. Lang, examiner

Prof. Dr. W. Fetscher, coexaminer

Prof. Dr. O. Naviliat, coexaminer

Zürich 2001

Zusammenfassung

Der Zerfall des Myons ist nicht nur einer der wichtigsten Prozesse, um die Lorentzstruktur der schwachen Wechselwirkung zu bestimmen [1], sondern bietet auch die Möglichkeit, nach Zeitumkehrverletzung in einem rein leptonischen Zerfall zu suchen [2, 3]. Er ist also nicht nur ein wichtiger Baustein des Standardmodells, sondern ermöglicht es auch, nach neuen physikalischen Prozessen jenseits dieses Modells zu suchen.

Die Zeitumkehrinvarianz wäre verletzt, falls die Positronen vom Zerfall positiver, polarisierter Myonen eine transversale Polarisationskomponente P_{T_2} hätten, die orthogonal zu der Ebene liegt, die vom Positronimpuls und der Myonpolarisation aufgespannt wird. Eine solche Komponente kann durch eine zusätzliche, skalare Kopplung g_{RR}^S verursacht werden, die mit der linkshändigen Vektorkopplung des Standardmodells interferiert. Aus der zweiten transversalen Polarisationskomponente des Positrons P_{T_1} , die in der erwähnten Ebene liegt, kann der Fehler der modellunabhängigen Fermi-Kopplungskonstante verkleinert werden.

In dieser Arbeit werden neue Grenzen für P_{T_1} , P_{T_2} , die zugehörigen Michel-Parameter η , η'' , $\frac{\alpha'}{A}$ und $\frac{\beta'}{A}$ sowie für neue skalare Kopplungen $|g_{RR}^S|$ in der schwachen Wechselwirkung präsentiert. Weiterhin wird ein verkleinerter Fehler für die Fermi-Kopplungskonstante G_F angegeben. Diese Arbeit beschreibt auch die Messung der longitudinalen Positronpolarisationskomponente P_L . Zum ersten Mal wurden alle drei Polarisationskomponenten im Rahmen eines einzigen Experiments bestimmt. Die Ergebnisse für die Polarisationskomponenten sind in Tabelle 3 zusammengestellt. Für die Fermi-Kopplungskonstante ergibt sich daraus ein Wert von $G_F = (1.16532 \pm 0.00069) \times 10^{-5} (\hbar c)^3 \text{GeV}^{-2}$, die Grenze für neue skalare Kopplungen ist $|g_{RR}^S| = 0.009 \pm 0.028$.

		Dieses Exp.		Vorh. Exp. [4, 5]	
P_{T_1}	=	5	± 16	16	± 21
P_{T_2}	=	1	± 16	7	± 23
P_L	=	1088	± 149	-	-

Table 1: Energiegemittelte Positron-Polarisationskomponenten. Alle Werte sind in Einheiten von 10^{-3} angegeben. Die Fehler enthalten die statistischen und systematischen Anteile. Die Ergebnisse des vorherigen Experiments sind ebenfalls angegeben.

Alle Ergebnisse, die in dieser Arbeit vorgestellt werden, liegen innerhalb dessen, was man im Rahmen des Standardmodells erwarten würde. Dabei werden die bisher bekannten Grenzen für transversale Polarisation um etwa einen Faktor 1.3 verbessert. Insbesondere konnte kein Hinweis auf eine Verletzung der Zeitumkehrinvarianz gefunden werden. Die nächste Phase des Experiments wird die Statistik für alle Messgrößen um etwa einen Faktor zehn, und somit die statistischen Fehler um etwa einen Faktor drei weiter verbessern.

	Dieses Experiment				Vorh. Experiment [4, 5]			
	Analyse 1		Analyse 2		Analyse 1		Analyse 2	
η	=	95 ± 61	-4 ± 14	11 ± 85	-12 ± 16			
η''	=	98 ± 58	- -	48 ± 125	- -			
$\frac{\alpha'}{A}$	=	-13 ± 29	- -	-47 ± 52	- -			
$\frac{\beta'}{A}$	=	8 ± 16	1 ± 7	17 ± 18	3 ± 8			

Table 2: Zur transversalen Polarisation gehörende Michel-Parameter. Alle Werte sind in Einheiten von 10^{-3} angegeben. In der ersten Analyse wurden alle vier Michel-Parameter bestimmt, in der zweiten wurde $\frac{\alpha'}{A} = \frac{\alpha}{A} = 0$ angenommen. Die Ergebnisse des vorherigen Experiments sind ebenfalls angegeben.

Abstract

Muon decay is not only one of the basic ingredients in determining the Lorentz structure of weak interactions [1], but also serves as an excellent tool to search for the violation of time reversal invariance in a purely leptonic decay [2, 3]. It is therefore not only an important building block of the Standard Model, but also offers the possibility to look for new physics beyond.

Time reversal invariance would be violated if the positrons from the decay of positive, polarized muons had a transverse polarization component P_{T_2} perpendicular to the plane spanned by its momentum and the muon polarization. Such a polarization component can be introduced by an additional scalar coupling g_{RR}^S which interferes with the lefthanded vector coupling of the Standard Model. The second transverse positron polarization component P_{T_1} , which lies in the mentioned plane, can be used to improve the error on the model independent Fermi coupling constant.

This thesis presents new values for P_{T_1} , P_{T_2} , the associated Michel parameters η , η'' , $\frac{\alpha'}{A}$ and $\frac{\beta'}{A}$, setting new limits on scalar couplings $|g_{RR}^S|$ in weak interactions and improving the error on G_F . It also describes the measurement of the longitudinal positron polarization component P_L . It is the first experiment which measures all three polarization components simultaneously. Table 3 lists the results of the measurement of the positron polarization components, table 4 summarizes the measured Michel parameters. The value of the Fermi coupling constant resulting from the analysis is $G_F = (1.16532 \pm 0.00069) \times 10^{-5}(\hbar c)^3 \text{GeV}^{-2}$. The new limit on possible scalar couplings is $|g_{RR}^S| = 0.009 \pm 0.028$.

	this exp.		prev. exp. [4, 5]	
$P_{T_1} =$	5	± 16	16	± 21
$P_{T_2} =$	1	± 16	7	± 23
$P_L =$	1088	± 149	-	-

Table 3: Results on energy averaged positron polarization components. All values in units of 10^{-3} . The errors on $P_{T_{1/2}}$ include statistical and systematic errors. Results from the previous experiment are also given.

All results presented in this thesis agree with the expectations from the Standard Model, improving the previous errors on transverse polarization by about a factor of 1.3. In particular no evidence for the violation of time reversal invariance violation has been found. During the next phase of data taking, the statistics will be increased by at least a factor of ten, thereby improving the statistical errors on all measured quantities by a factor of three.

		this experiment				prev. experiment [4, 5]			
		Analysis 1		Analysis 2		Analysis 1		Analysis 2	
η	=	95	\pm 61	-4	\pm 14	11	\pm 85	-12	\pm 16
η''	=	98	\pm 58	-	-	48	\pm 125	-	-
$\frac{\alpha'}{A}$	=	-13	\pm 29	-	-	-47	\pm 52	-	-
$\frac{\beta'}{A}$	=	8	\pm 16	1	\pm 7	17	\pm 18	3	\pm 8

Table 4: Michel parameters presented in this thesis. All values in units of 10^{-3} . In the first analysis all four michel parameters were measured, the second analysis assumes $\frac{\alpha'}{A} = \frac{\beta'}{A} = 0$. Results from the previous experiment are also given.