



Doctoral Thesis

## Suche nach dem seltenen Zerfall $\{ \pi \} \rightarrow e \bar{e}$

**Author(s):**

Niebuhr, Carsten Barthold

**Publication Date:**

1989

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000510444> →

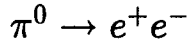
**Rights / License:**

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

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH Nr. 8798

# Suche nach dem seltenen Zerfall



ABHANDLUNG  
zur Erlangung des Titels  
Doktor der Naturwissenschaften  
der Eidgenössischen Technischen  
Hochschule Zürich

vorgelegt von  
CARSTEN BARTHOLD NIEBUHR  
Dipl. Phys., Bonn  
geboren am 22. April 1958  
aus Deutschland

Angenommen auf Antrag von:  
Prof. Dr. J.P. Blaser, Referent  
PD Dr. H.K. Walter, Korreferent  
Dr. A. van der Schaaf, Korreferent



1989  
Zentralstelle der Studentenschaft

## Zusammenfassung

Inhalt dieser Arbeit ist die Beschreibung von Durchführung und Analyse eines Experimentes zur Suche nach dem seltenen Zerfall  $\pi^0 \rightarrow e^+e^-$ . Das kombinierte Resultat für das Verzweigungsverhältnis von diesem Prozeß aus zwei vorangegangenen Experimenten lautet:

$BR_{\pi^0 \rightarrow e^+e^-} = \Gamma_{\pi^0 \rightarrow e^+e^-} / \Gamma_{\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma} = (1.8_{-0.6}^{+0.7}) \cdot 10^{-7}$ . Dies ist etwa dreimal größer als die bestehenden recht verlässlichen theoretischen Vorhersagen im Rahmen der QED von  $BR_{\pi^0 \rightarrow e^+e^-}^{theor.} = 0.6 \cdot 10^{-7}$  und gab Anlaß zu Spekulationen über die Rolle von exotischen Beiträgen zu diesem Zerfall. Wegen der unbefriedigenden experimentellen Situation wurde im Jahre 1987 am Paul Scherrer Institut (vormals SIN) ein weiteres Experiment zur Suche nach diesem Zerfall durchgeführt. Zur  $\pi^0$ -Produktion wurde die Reaktion  $\pi^-p \rightarrow \pi^0n$  in Ruhe ausgenutzt, indem ein  $\pi^-$ -Strahl in einem Target aus flüssigem Wasserstoff gestoppt wurde. Die Vorteile einer hohen Ausbeute an  $\pi^0$ 's pro  $\pi^-$ -Stopp (60.7%) und einer definierten Kinematik des Anfangszustandes rechtfertigen die Hinnahme eines hohen kontinuierlichen Untergrundes von  $\pi^-p \rightarrow e^+e^-n$  bei diesem Produktionsmechanismus. Die Bildung eines  $\pi^0$ 's wird über die Messung des gleichzeitig entstehenden monoenergetischen ( $T_n=420$  keV) Neutrons mit Hilfe einer Matrix aus 60 Neutronzählern nachgewiesen. Die Messung der Neutrongeschwindigkeit mit einer Auflösung von 1.3% (FWHM) erlaubt die Reduktion des kontinuierlichen Untergrundes auf ein Niveau von  $2.2 \cdot 10^{-7}$ . Das  $e^+e^-$ -Paar wird mit einem zylindrischen Magnetspektrometer (SINDRUM I) nachgewiesen, das aus fünf konzentrischen Vieldrahtproportionalkammern und einem Szintillationshodoskop besteht.

Bei der Analyse werden die Besonderheiten der Dreikörperkinematik ausgenutzt, um die große Zahl anderer  $\pi^0$ -Zerfälle zu unterdrücken, die im kinematischen Grenzfall ebenfalls ein  $\pi^0 \rightarrow e^+e^-$ -Ereignis vortäuschen können. Hierbei ist es von großem Vorteil, daß die Reaktionen  $\pi^-p \rightarrow e^+e^-n$  und  $\pi^-p \rightarrow \pi^0n$ ,  $\pi^0 \rightarrow e^+e^-$  nahezu identische Auflösungsfunktionen und Akzeptanzen besitzen. Nach der Selektion von Dreikörperereignissen ist es daher möglich, in der Geschwindigkeitsverteilung des Neutrons an der Stelle der  $\pi^0$ -Resonanz auf ei-

nem flachen Untergrund nach einem Überschuß von Ereignissen zu suchen, die als  $\pi^0 \rightarrow e^+e^-$ -Zerfälle identifiziert werden können. Um einen Wert für das Verzweigungsverhältnis zu erhalten, kann auf die Zahl der in der Nähe der  $\pi^0$ -Resonanz vorhandenen  $\pi^-p \rightarrow e^+e^-n$ -Ereignisse normiert werden. Die im vorliegenden Experiment erreichte Empfindlichkeit reicht allerdings nicht aus, um in der Geschwindigkeitsverteilung des Neutrons einen  $\pi^0$ -Peak erkennbar werden zu lassen. Es kann jedoch eine obere Grenze für das gesuchte Verzweigungsverhältnis von:

$$BR_{\pi^0 \rightarrow e^+e^-} < 1.4 \cdot 10^{-7} \quad (90\% C.L.)$$

angegeben werden, die in Übereinstimmung mit der theoretischen Vorhersage steht und keinen Anlaß mehr gibt zusätzliche nicht-elektromagnetische Beiträge zum Zerfall  $\pi^0 \rightarrow e^+e^-$  zu fordern.

## Abstract

This thesis describes an experimental search for the rare decay  $\pi^0 \rightarrow e^+e^-$ . Two previous experiments gave a combined result for the corresponding branching ratio of  $BR_{\pi^0 \rightarrow e^+e^-} = \Gamma_{\pi^0 \rightarrow e^+e^-} / \Gamma_{\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma} = (1.8_{-0.6}^{+0.7}) \cdot 10^{-7}$ . This experimental value amounts to about three times the firm theoretical prediction of  $BR_{\pi^0 \rightarrow e^+e^-}^{theor.} = 0.6 \cdot 10^{-7}$  based on QED and gave rise to speculations about possible exotic contributions to this decay mode. Owing to the unsatisfactory experimental situation a new experiment has been performed in 1987 at the Paul Scherrer Institute (formerly SIN). The  $\pi^0$ s are produced through the reaction  $\pi^-p \rightarrow \pi^0n$  at rest by stopping a  $\pi^-$ -beam in a target of liquid hydrogen. The advantages of a high yield of  $\pi^0$ s (60.7% per  $\pi^-$ -stop) and a kinematically well defined initial state justify the acceptance of a high continuous background from  $\pi^-p \rightarrow e^+e^-n$ . The production of a  $\pi^0$  is tagged by detection of the associated monoenergetic ( $T_n=420$  keV) neutron with an array of 60 neutron counters. The measurement of the neutron velocity with a resolution of 1.3% (fwhm) reduces the continuous background to a level of  $2.2 \cdot 10^{-7}$ . The  $e^+e^-$  pair is measured with a cylindrical magnetic spectrometer (SINDRUM I) consisting of five concentric multiwire proportional chambers and a scintillation hodoscope.

The analysis takes advantage of the characteristics of the three body kinematics to reduce the huge number of other  $\pi^0$ -decays which in the kinematical limit can fake  $\pi^0 \rightarrow e^+e^-$ -events. For the whole analysis it is very helpful that  $\pi^-p \rightarrow e^+e^-n$  and  $\pi^-p \rightarrow \pi^0n$ , followed by  $\pi^0 \rightarrow e^+e^-$  have nearly identical resolution functions and acceptances. After selection of three body events  $\pi^0 \rightarrow e^+e^-$  events are searched in the neutron velocity distribution. A surplus of events at the  $\pi^0$  resonance on top of a flat background could be identified as  $\pi^0 \rightarrow e^+e^-$  decays. To obtain a value for the branching ratio the normalisation is done relative to the number of  $\pi^-p \rightarrow e^+e^-n$  events at the  $\pi^0$  resonance. The sensitivity of this experiment is too low to show a  $\pi^0$  peak in the velocity distribution of the neutrons. It is,

however, possible to give an upper limit for the branching ratio of:

$$BR_{\pi^0 \rightarrow e^+e^-} < 1.4 \cdot 10^{-7} \quad (90\% \text{ C.L.})$$

which is consistent with the theoretical prediction. There appears to be no need to invoke non-electromagnetic contributions to the decay which were suggested by the earlier results.