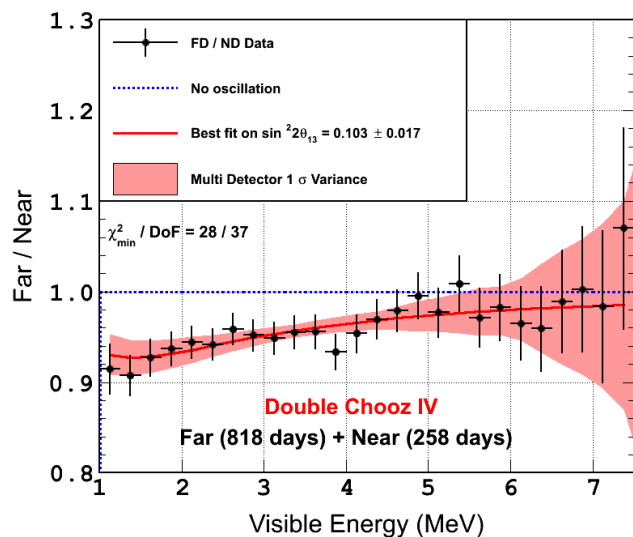




MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT



Ansprechpartner:

Prof. Dr. Dr. h.c. Manfred Lindner

Tel: 06221 516800

E-Mail: manfred.lindner@mpi-hd.mpg.de

Dr. Christian Buck

Tel: 06221 516829

E-Mail: christian.buck@mpi-hd.mpg.de

Verhältnis der Energiespektren aus nahem zu fernem Detektor. Die Kurven mit (rote Linie) und ohne (blau gestrichelt) Neutrinooszillation, sowie die Datenpunkte (schwarz) sind eingezeichnet.

MPIK vermessen und zum Einbau im Experiment vorbereitet. Auch im Bereich der Datenanalyse lieferte das MPIK entscheidende Beiträge.

Die Flüssig-Szintillatoren bestehen aus organischen Verbindungen. Die Hauptschwierigkeit bei der Herstellung eines Gd-FS besteht darin, eine in einer organischen Flüssigkeit lösliche Form von Gd zu finden. Dies gelang mit einer Komplexverbindung mit speziellen Beta-Diketonen. Der Szintillator muss dabei verschiedene Anforderungen erfüllen: Stabilität über mehrere Jahre, Kompatibilität mit den umgebenden Materialien, radiochemische Reinheit und geeignete optische Eigenschaften. Er soll möglichst viel sichtbares Licht pro Ereignis erzeugen und zugleich transparent dafür sein, damit möglichst viel die PMTs erreicht.

In jedem Detektor weisen 390 PMTs das vom Szintillator emittierte Licht nach. In enger Zusammenarbeit mit japanischen Wissenschaftlern und der RWTH Aachen wurden am MPIK 800 PMTs auf wesentliche Merkmale hin untersucht wie Quanteneffizienz, Signalqualität und Zeitauflösung. In einem Teststand in einem lichtdichten Faraday-Käfig konnten bis zu 30 PMTs auf einmal getestet werden. Der Fokus des MPIK im Bereich Simulation und Datenanalyse lag auf der optischen Modellierung der Lichtproduktion und -ausbreitung, der Bestimmung der Energieskala sowie der Untersuchung der Nachweifeffizienz.



Saupfercheckweg 1
69117 Heidelberg

www.mpi-hd.mpg.de



Das Max-Planck-Institut für Kernphysik (MPIK) ist eines von 84 Instituten und Forschungseinrichtungen der Max-Planck-Gesellschaft. Das MPIK betreibt experimentelle und theoretische Grundlagenforschung auf den Gebieten der Astroteilchenphysik und der Quantendynamik.

Double Chooz

Der dritte Mischungswinkel der Neutrinos



MAX-PLANCK-INSTITUT
FÜR KERNPHYSIK

Double Chooz

Der dritte Mischungswinkel der Neutrinos

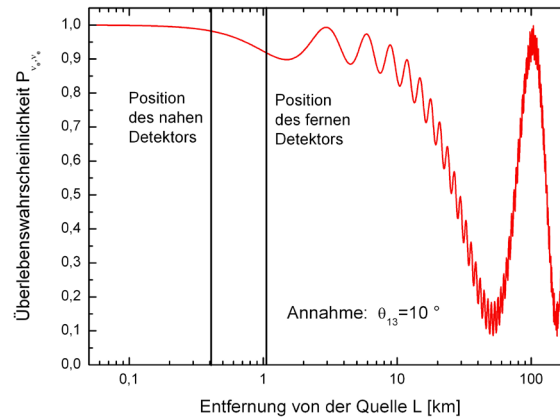
Im Double Chooz Experiment wird die besondere Eigenart von Neutrinos untersucht, sich von einer Sorte in eine andere umzuwandeln. Das Experiment wird im Rahmen einer internationalen Kollaboration in Frankreich an einem Kernreaktor betrieben, in dem Antineutrinos in Kernprozessen in großer Zahl entstehen. Zur Bestimmung der Umwandlungswahrscheinlichkeit wurden zwei quasi identische Detektoren in unterschiedlichen Entfernungen zum Reaktor aufgebaut. Da Neutrinos eine sehr geringe Reaktionswahrscheinlichkeit haben, wurde seit 2011 etwa 7 Jahre lang gemessen, um genügend Neutrinos nachzuweisen und die kleine Umwandlungswahrscheinlichkeit mit hoher Präzision zu messen.

Neutrinos

Neutrinos sind Elementarteilchen, die in drei verschiedenen Sorten auftreten: Elektronneutrino, Myonneutrino und Tau-neutrino. Zu jedem Neutrino gibt es ein Antineutrino. Experimentell wurden in den letzten Jahren große Fortschritte erzielt: Mittlerweile weiß man, dass Neutrinos sich ineinander umwandeln können. Um die Wahrscheinlichkeiten für die Umwandlungen zu beschreiben, benötigt man unter anderem die so genannten Mischungswinkel. Inzwischen sind alle drei Mischungswinkel gemessen worden, wobei das Double Chooz Experiment zur Bestimmung des dritten Winkels wesentlich beigetragen hat. Das Ergebnis ist ein wichtiger Schritt zum vollständigeren Verständnis der Neutrinos und der zugrunde liegenden theoretischen Modelle. Double Chooz ist auch ein Schlüsselexperiment für zukünftige Experimente mit Neutrinostrahlen zur Suche nach leptonischer CP-Verletzung.

Konzept des Double Chooz Experiments

Der radioaktive Zerfall von Spaltprodukten im Kernreaktor liefert als Nebenprodukt Antielektronneutrinos, die in alle Richtungen fliegen. Einer von zwei Detektoren wird relativ nahe am Reaktor aufgestellt. Die Antineutrinos haben bis zum nahen Detektor noch nicht die Möglichkeit, sich in eine andere Sorte umzuwandeln. Der zweite Detektor ist dagegen in einem größeren Abstand platziert, in dem Umwandlungen



Überlebenswahrscheinlichkeit (= eins minus Umwandlungswahrscheinlichkeit) von Antielektronneutrinos unter der Annahme, dass der Wert des gesuchten Mischungswinkels 10° beträgt.

wahrscheinlicher werden. Die Detektoren können ausschließlich die im Reaktor erzeugten Antielektronneutrinos messen. Misst man also im fernen Detektor weniger Neutrinos als durch die Abstandsverdünnung erwartet, kann man davon ausgehen, dass die Antielektronneutrinos sich teilweise in eine andere Sorte umgewandelt haben. Aus der Anzahl der Neutrinoereignisse im fernen Detektor im Vergleich zum nahen Detektor schließt man darauf, wie groß die Umwandlungswahrscheinlichkeit ist.

Detektorprinzip

Der Detektor besteht aus verschiedenen Teilen, die spezielle Aufgaben erfüllen. Im Innersten des Detektors werden die Neutrinoereaktionen in einem Flüssig-Szintillator nachgewiesen. Dabei trifft ein Neutrino auf ein Proton und es entstehen ein Neutron und ein Positron (das Antiteilchen des Elektrons).

Beide Reaktionsprodukte werden detektiert, um ein klar definiertes Neutrinosignal zu erhalten: Das Positron zerstrahlt zusammen mit einem Elektron aus der Umgebung und erzeugt damit zwei hochenergetische Photonen. Um das Neutron einzufangen, enthält der Szintillator Gadolinium. Dabei entstehen ebenfalls hochenergetische Photonen, die zeitlich etwas verzögert zum Positron-Signal auftreten. Im Flüssigszintillator der inneren zwei Volumina des Detektors wird die Energie der Photonen schrittweise umgewandelt, bis man am Ende sichtbares Licht erhält. Dieses Licht wird mithilfe von Photovervielfachern detektiert. Photovervielfacher sind Geräte, die einzelne Photonen im sichtbaren Bereich in ein elektrisches Signal umwandeln.

Der äußere Teil des Detektors schirmt radioaktive Strahlung aus der Umgebung ab. Das vierte Volumen wird zur aktiven Untergrundunterdrückung verwendet. Vor allem kosmische Myonen, welche die Messung stören können, werden in diesem Teil des Detektors erkannt.



Die PMTs und Acrylbehälter im Double Chooz Detektor.

Double Chooz Ergebnisse

Erste Ergebnisse basierend auf den Messungen vom fernen Detektor allein wurden bereits im November 2011 publiziert. Zum ersten Mal gab ein Reaktoneutrinoexperiment einen Hinweis auf das Verschwinden von Elektronantineutrinos bei kurzen Weglängen (im 1 km Bereich), die auf Neutrinooszillationen und einen Wert des Neutrino-mischungswinkels θ_{13} hindeuteten, der ungleich Null ist. Mit dem Start des zweiten Detektors zu Beginn des Jahres 2015 konnte eine wesentliche Verbesserung des Ergebnisses erzielt werden. Die Nichtexistenz von Neutrinooszillationen kann nun mit einer Sicherheit von mehr als 6 Standardabweichungen ausgeschlossen werden. In der Analyse werden Rate und Form des Neutrinospektrums ausgenutzt. Das gute Verständnis des Detektors und von Untergrundeignissen erlaubt es inzwischen sogar, nicht nur Neutroneneinfänge auf Gadolinium, sondern auch die schwieriger nachzuweisende Einfänge auf Wasserstoff in der Analyse mit einzubeziehen.

Double Chooz und das MPIK

Die MPIK-Gruppe, einer der Initiatoren des Experiments, entwickelte einen neuartigen, stabilen gadoliniumbeladenen Flüssig-Szintillator (Gd-FS) für das Experiment. Weiter wurde ein großer Teil der Photovervielfacher (PMTs) am