

Erwartete energieabhängige Ereignisrate ohne Umwandlung in sterile Neutrinos (schwarz) und mit Umwandlung, wobei das Spektrum für die reaktornächste (rot) und die am weitesten entfernte Zelle (blau) eingezeichnet ist.

entsprechend verbessern. Mit dem kompletten Datensatz sollte auch der verbleibende Teil des erlaubten Parameterbereichs getestet werden können.

Beiträge des MPIK

Der Neutrinonachweis erfolgt in einem Gd-beladenen Flüssigszintillator, der das Herz des STEREO-Detektors bildet. Am MPIK wurde für das Double Chooz-Experiment eine neuartige Methode zur Gd-Dotierung entwickelt. Die Zusammensetzung dieser organischen Flüssigkeit wurde für die Anforderungen im STEREO-Experiment optimiert. Die Untergrundrate wird durch eine höhere Gd-Konzentration (0.2%) und dadurch eine kürzere Koinzidenzzeit reduziert. Außerdem wurden im Szintillatordesign die Möglichkeiten der Pulsformanalyse zur weiteren Reduzierung des Untergrunds stärker berücksichtigt. Eine weitere Detektorkomponente, für die unser Institut zuständig ist, sind die PMTs zur Messung des Szintillationslichts. Diese wurden am MPIK vor ihrem Einbau getestet und kalibriert. Schließlich ist unsere Gruppe auch maßgeblich an Simulationsrechnungen und der Datenanalyse beteiligt, speziell in den Bereichen der Energierekonstruktion, der Effizienzbestimmung für den Neutronennachweis und der Analysekoordination.

Titelbild: Blick in den Forschungsreaktor am Institut Laue Langevin in Grenoble. (© ILL/JL Baudet)

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



MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT

STEREO

Stecken sterile Neutrinos hinter der Reaktor-Antineutrino-Anomalie?

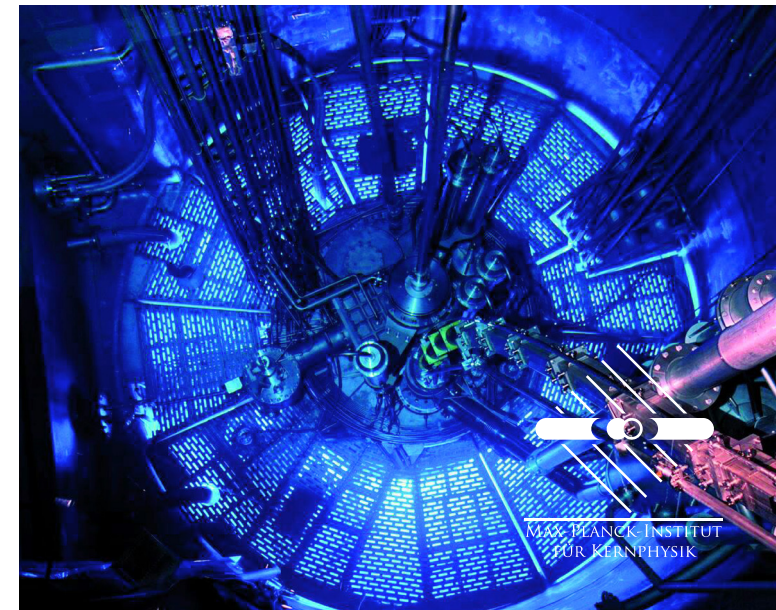


Saupfercheckweg 1
69117 Heidelberg

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.



MAX-PLANCK-INSTITUT
FÜR KERNPHYSIK

STEREO

Stecken sterile Neutrinos hinter der Reaktor-Antineutrino-Anomalie?

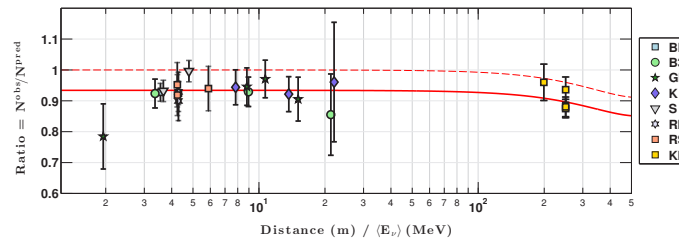
Kernreaktoren sind starke Neutrinoquellen, die sich gut zur Erforschung der fundamentalen Eigenschaften dieser Elementarteilchen eignen. Das wachsende Verständnis von Neutrinoeigenschaften ermöglicht es umgekehrt auch, aus dem Nachweis von Neutrinos in der Nähe von Kernreaktoren detaillierte Informationen über die komplexen Vorgänge und Zerfälle im Inneren des Reaktorkerns zu erhalten. Das STEREO-Experiment soll hierzu entscheidende Beiträge leisten. Das primäre Ziel des Experiments ist, die mögliche Existenz von sogenannten sterilen Neutrinos zu prüfen. Ein Hinweis auf deren Existenz wäre ein scheinbares Verschwinden der im Reaktorkern erzeugten Neutrinos durch Umwandlung in sterile Neutrinos, die für STEREO nicht sichtbar wären.

Neutrinos aus Kernreaktoren

Neutrinos sind Elementarteilchen, die in drei bekannten Sorten auftreten: Elektron-Neutrino, Myon-Neutrino und Tau-Neutrino. Zu jedem Neutrino gibt es ein Antineutrino. Der radioaktive Zerfall von Spaltprodukten im Kernreaktor liefert als Nebenprodukt Elektron-Antineutrinos, die in alle Richtungen davon fliegen. Aufgrund der hohen Erzeugungsrate an einem eng begrenzten Ort eignen sich Kernreaktoren gut als Quelle für Neutrinoexperimente. Ein kommerzieller Reaktorkern kann pro Sekunde bis zu einer Trilliarde Neutrinos produzieren. Da diese Elementarteilchen kaum mit Materie wechselwirken, ist ihr Nachweis trotz der großen Anzahl schwierig und erfordert Teilchendetektoren mit Massen im Tonnenbereich. Neutrinoexperimente an Kernreaktoren haben wesentlich zum heutigen Verständnis dieser Teilchen beigetragen. So konnte durch ein Experiment am Reaktor das Neutrino zum ersten Mal überhaupt experimentell nachgewiesen werden. Außerdem lieferten derartige Experimente den Beweis, dass sich Neutrinos von unterschiedlicher Sorte während sie sich im Raum ausbreiten ineinander umwandeln können (z. B. Double-Chooz-Experiment).

Die Reaktor-Antineutrino-Anomalie

Der in vielen Experimenten gemessene Neutrinofluss in der Nähe von Kernreaktoren (Abstand zwischen Detektor und Reaktor <500 m) liegt wesentlich (mehr als 6 Prozent) unter den theoretisch erwarteten Flussraten. Die Wahrscheinlichkeit einer rein statistischen Schwankung ist weniger als 1%. Diese sogenannte Reaktor-Antineutrino-Anomalie könnte durch Umwandlungen in ‚sterile‘ Neutrinos zustande kommen, die in den Detektoren nicht nachweisbar wären. Nach anderen Ursachen, z. B. durch bisher unberücksichtigte Effekte in den Berechnungen zum Neutrinofluss, wird ebenfalls gesucht.

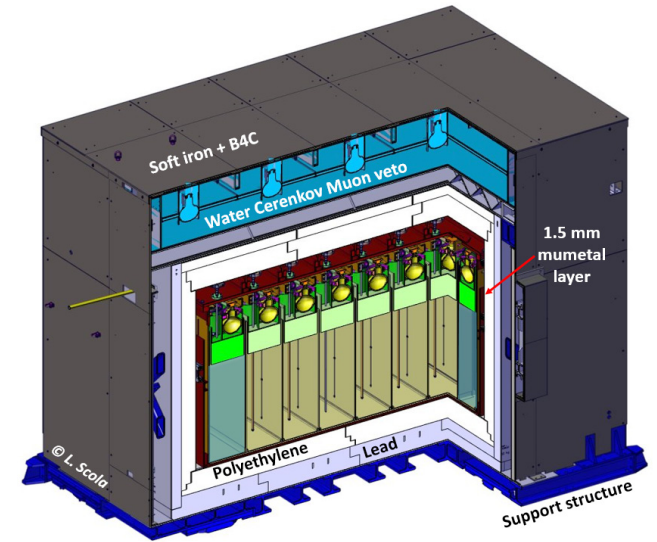


Das Verhältnis aus beobachtetem zu vorhergesagtem Fluss beträgt $0,938 \pm 0,024$. Dies entspricht einer Signifikanz für die Abweichung von der 1 von 99,3% (2,7 sigma).

Das STEREO-Experiment

Der STEREO-Detektor befindet sich in etwa 10 m Abstand von einem Forschungsreaktor (58 MW thermische Leistung) am Institut Laue Langevin in Grenoble, Frankreich. Die Neutrinoreaktionen finden in 1800 Litern eines gadoliniumbeladenen Flüssigszintillators statt. Die Neutrinos werden dort über den inversen Betazerfall an Wasserstoffkernen (Protonen) in der Targetflüssigkeit gemessen. In dieser Reaktion entsteht ein Koinzidenzsignal (wenige Mikrosekunden voneinander getrennt) aus promptem (Positronenergie) und verzögertem (Neutroneneinfang am Gadolinium) Szintillationslicht, das von insgesamt 48 Lichtsensoren (PMTs) an der Detektoroberseite gemessen wird. Mehrere Schichten Material (65 Tonnen!), hauptsächlich aus Blei und Polyethylen, dienen als Abschirmung gegen Höhenstrahlung und Radioaktivität aus den umgebenden Neutronenstreu-Experimenten. Ein zusätzlicher Detektor oberhalb des eigentlichen Neutrinodetektors weist kosmische Myonen nach, eine dominierende Quelle von Störsignalen.

Das auf Neutrinos sensitive Volumen des STEREO-Detektors ist in 6 gleich große Zellen unterteilt, die jeweils einen leicht



Der segmentierte STEREO-Detektor und die Abschirmung.

unterschiedlichen Abstand vom kompakten, mit ^{235}U angereicherter Reaktorkern haben. Umwandlungen in sterile Neutrinos würden sich in Deformationen im Energiespektrum der Neutrinos zeigen. Aufgrund der unterschiedlichen Entfernungen der einzelnen Zellen von der Neutrinoquelle erwartet man, dass sich die Deformation in verschiedenen Energiebereichen der gemessenen Neutrinospektren zeigt.

Datennahme und Ergebnisse

Nach der Installation des Detektors im November 2016 wurden zunächst Daten über 2 Reaktorzyklen (84 Tage) und zwei Phasen bei abgeschaltetem Reaktor (32 Tage) genommen. Dieser Phase-I folgte ein Jahr von Instandhaltungsarbeiten am Reaktor. Dieser Zeitraum wurde genutzt, um Teile des Detektors zu reparieren und die Abschirmung zu optimieren. Phase-II des Experiments startete dann im Oktober 2017, während der Reaktor immer noch abgeschaltet war. Das Ziel ist vor Ende des Jahres 2019 insgesamt mindestens 300 Tage mit hochgefahrenem Reaktor zu messen.

Alleine mit den Daten aus Phase-I konnte ein wesentlicher Bereich des erlaubten Gebiets der sterilen Neutrino-parameter ausgeschlossen werden. Die wahrscheinlichste Parameterkombination aus der Reaktor-Antineutrino-Anomalie kann bereits zu 98.6% ausgeschlossen werden. Die statistischen und systematischen Fehler werden mit zunehmender Messdauer weiter abnehmen und die Sensitivität