

Anlage zur Bestimmung der Radon-Ausgasrate.

Radioaktive Verunreinigungen

Die kritischste Störstrahlung stammt von im Xenon gelösten radioaktiven Edelgasisotopen (Radon und Krypton). Der Gehalt an Krypton im Xenon muss auf unter 0,1 ppt gedrückt werden. Deshalb wird das Xenon über eine Destillationskolonne gereinigt. Eine Schlüsseltechnologie dafür ist der hochempfindliche Nachweis von Krypton in Xenon mit einem speziellen Edelgas-Massenspektrometer am MPIK.

Zur Auswahl von Materialien allerhöchster Reinheit wurden am MPIK Strahlungsdetektoren entwickelt, die geringste Spuren von Restradioaktivität nachweisen können. Neben den weltweit empfindlichsten Gammastrahlungsdetektoren gehören dazu Messgeräte für Radon mit einer Nachweisgrenze von wenigen Atomen. Damit ist das MPIK eines der wenigen Institute, die Materialien auf ihre Radon-Ausgasrate hin selektieren können. Dennoch gelangen einzelne Radon-Atome bis ins Detektorinnere, weswegen am MPIK hocheffiziente Methoden entwickelt werden, um das Radon in Xenon noch weiter zu unterdrücken.

Lichtsensoren

Entscheidend für das Experiment sind auch zuverlässige, hochempfindliche Lichtsensoren, die lange Zeit problemlos bei etwa -96°C funktionieren. Die beste Lösung sind optimierte PMTs (photomultiplier tubes) aus ausgewählten Materialien mit sehr geringer Radioaktivität. Diese hat das MPIK zusammen mit dem Hersteller entwickelt. Alle PMTs für XENONIT und XENONnT wurden auf Reinheit, Stabilität und Kältebeständigkeit getestet, bevor die Montage in die beiden Trägerplatten erfolgte.

Ansprechpartner:

Prof. Dr. Dr. h.c. Manfred Lindner
Tel.: 06221 516800
E-Mail: manfred.lindner@mpi-hd.mpg.de

PD Dr. Teresa Marrodán Undagoitia
Tel.: 06221 516803
E-Mail: teresa.marrodan@mpi-hd.mpg.de

Dr. Hardy Simgen
Tel.: 06221 516530
E-Mail: hardy.simgen@mpi-hd.mpg.de



Das XENON-Projekt

Suche nach Dunkler Materie

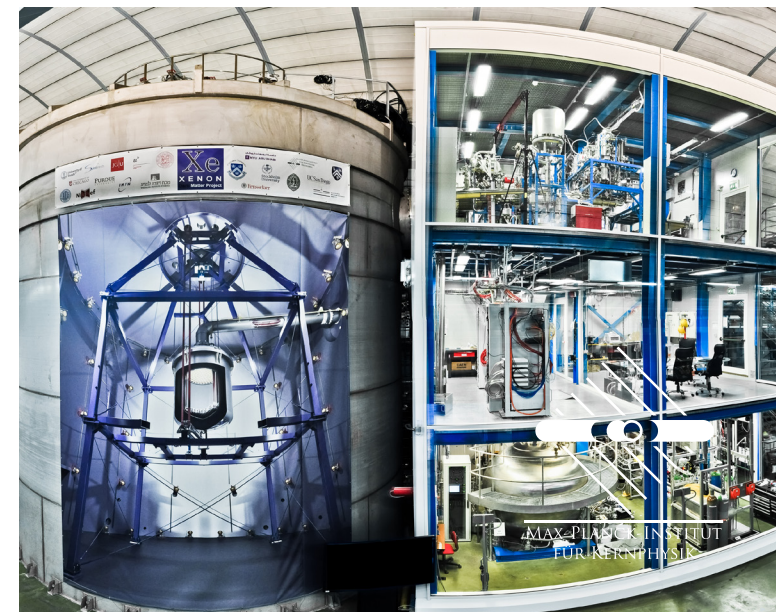


Saupfercheckweg 1
69117 Heidelberg

www.mpi-hd.mpg.de



Das Max-Planck-Institut für Kernphysik (MPIK) ist eines von 86 Instituten und Forschungseinrichtungen der Max-Planck-Gesellschaft. Das MPIK betreibt experimentelle und theoretische Grundlagenforschung auf den Gebieten der Astroteilchenphysik und der Quantendynamik.



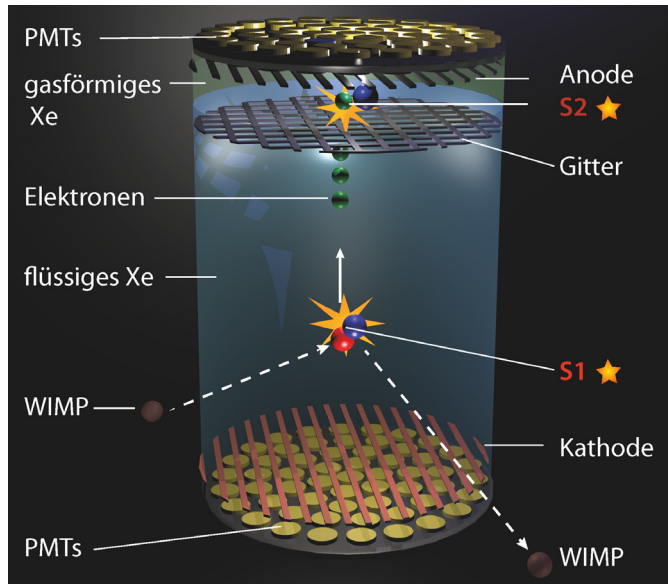
Das XENON-Projekt:

Suche nach Dunkler Materie

Eine Reihe astrophysikalischer und kosmologischer Beobachtungen lässt sich nicht mit unserem derzeitigen Wissen über Materie erklären. Die Rotation von Galaxien, Bildung von Galaxienclustern und Gravitationslinsen oder der kosmische Mikrowellenhintergrund legen die Anwesenheit einer noch unentdeckten Art von Materie nahe, die etwa 85% aller Materie im Kosmos ausmacht. Sie wird „Dunkle Materie“ genannt, da sie nicht leuchtet und, falls überhaupt, nur sehr schwach mit normaler Materie in Wechselwirkung tritt.

Nachweisprinzip

Aus theoretischer Sicht gehören hypothetische schwach wechselwirkende schwere Teilchen, genannt Weakly Interacting Massive Particles (WIMPs), zu den aussichtsreichsten Kandidaten für Dunkle Materie, da derartige Teilchen im frühen Universum in ausreichender Menge entstanden sein sollten. Die Mitglieder der internationalen XENON-Kollaboration



Bau und Funktionsweise der Zeit-Projektionskammer; PMTs: Lichtsensoren (Photomultiplier).

suchen mit einer Xenon-gefüllten Zeit-Projektionskammer nach solchen WIMPs. Wenn WIMPs tatsächlich existieren, müssten sie gelegentlich mit normaler Materie wie den Xenon-Atomkernen im Detektor wechselwirken.

Eine solche Wechselwirkung in tiefkaltem flüssigem Xenon würde sowohl ein promptes Lichtsignal (S1), als auch ein leicht verzögertes Ladungssignal (S2) erzeugen. Die eingesetzte Technologie erlaubt es, die Teilchenart zu identifizieren, was entscheidend für den Ausschluss von Störsignalen ist. Außerdem lassen sich die deponierte Energie und der Ort des getroffenen Xenonatoms in allen drei Dimensionen bestimmen.

Letzteres ist äußerst wichtig, weil es damit möglich wird, nur das Detektorinnere für die WIMP-Suche zu benutzen. Denn obwohl der Detektor aus Materialien allerhöchster Reinheit besteht, enthält er immer noch geringste Spuren von Radioaktivität. Diese ist zwar Millionen Mal schwächer als die allgegenwärtige Umgebungsradioaktivität, führt aber insbesondere in den Randbereichen des Detektors zu Störsignalen.

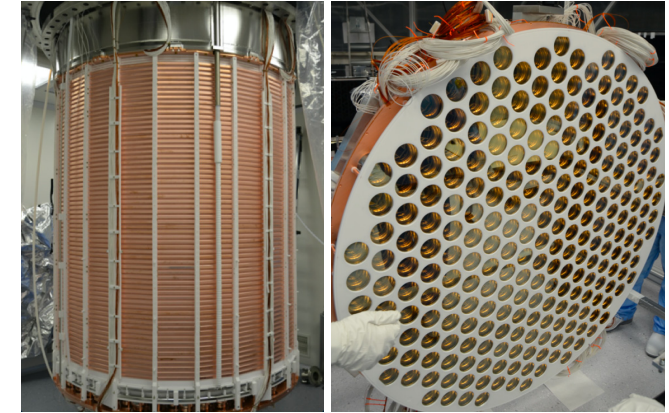
Das XENON-Projekt

XENON ist ein gemeinschaftliches Projekt (xenon1t.org) mit rund 160 Forschenden aus Europa, den USA und Asien. Der Detektor XENON1T, 100fach empfindlicherer Nachfolger von XENON100, hat von 2016 bis Ende 2018 Daten genommen. Danach erfolgte der Umbau zu XENONnT, das mit der dreifachen aktiven Detektormasse von 5,9 Tonnen Xenon und weiter reduzierten radioaktiven Verunreinigungen etwa zehnmals empfindlicher ist. Der Messbetrieb von XENONnT startet 2020.

Das prompte Lichtsignal und das in Licht umgewandelte Ladungssignal (s. Skizze links) werden von insgesamt 494 oben und unten angeordneten Lichtsensoren registriert, die einzelne Photonen nachweisen können. Reflektierende Teflonplatten sorgen dafür, dass möglichst viel Licht bei ihnen ankommt. All das befindet sich zusammen mit den Elektroden für das elektrische Feld und dem tiefkalten flüssigen Xenon in einem großen Isoliergefäß. Verflüssigung und kontinuierliche Reinigung des Xenon-Gases erfolgen im dreistöckigen Gebäude neben dem riesigen Wassertank, s. Titelbild. Zwei große Tanks können die insgesamt 8,4 bei XENONnT eingesetzten Tonnen Xenon sowohl gasförmig als auch flüssig aufnehmen.

Das Instrument befindet sich im Gran-Sasso-Untergroundlabor in Italien und ist mit etwa 700 Tonnen Wasser als aktivem Veto umgeben, das verbleibende kosmische Strahlung durch schwache Lichtblitze anzeigt und Radioaktivität aus dem Gestein abschirmt. Dotierung des Wassers mit Gadolinium er-

möglicht es jetzt auch, störende Neutronen aus radioaktiven Zerfällen nachzuweisen – ebenfalls über Lichtblitze in einem optisch abgetrennten Volumen um den Detektor.



Die Zeit-Projektionskammer von XENONnT (Durchmesser 1,3 m, Höhe 1,5 m) und eines der beiden PMT-Arrays.

Ergebnisse von XENON1T

XENON1T hat zwar keine Dunkle Materie gefunden, aber die weltbeste Empfindlichkeit für die Suche nach WIMPs erreicht. Diese außerordentlich hohe Sensitivität erlaubte es, erfolgreich nach verschiedenen neuen Teilchen und bisher unbeobachteten Prozessen zu suchen.

So gelang es eine Zeit zu messen, gegen die das Alter des Universums nicht mehr als ein Wimpernschlag ist. Die Halbwertszeit der zuvor noch nicht direkt beobachteten Umwandlung von Xenon-124 in Tellur-124 durch doppelten Elektroneneinfang mit Emission von 2 Neutrinos beträgt unvorstellbare $1,8 \times 10^{22}$ Jahre.

Bei der Suche nach anderen seltenen Prozessen zeigte sich ein Überschuss in den elektronischen Wechselwirkungen. Die Quelle dieses überraschenden, nicht auf WIMP-Wechselwirkungen zurückführbaren Signals ist noch rätselhaft: Es könnte von einer winzigen Menge radioaktiven Tritiums stammen, aber auch ein Hinweis sein auf die Existenz neuer Teilchen, den theoretisch vorhergesagten solaren Axionen, oder eine bisher unbekannte Eigenschaft von Neutrinos. Daten von XENONnT sollten dieses Rätsel lösen.

Das MPIK ist umfangreich an XENON1T/nT beteiligt; nachfolgend zwei Beiträge im Detail: