





# Durchbruch unter Tage

**Ändern Neutrinos ihren Typ, während sie von der Sonne zur Erde fliegen? Diese Schlüsselfrage der Physik haben jetzt Wissenschaftler des Sudbury Neutrino Observatory beantwortet – mit dabei: Spezialglas von Schott.**

► Kaum ein Teilchen bietet so tiefe Einblicke in die Vorgänge und Geschichte unseres Universums wie das Neutrino. Schon 1930 wurde es von Wolfgang Pauli vorhergesagt. Lange galt es jedoch als „Geisterteilchen“, bis Frederick Reines und Clyde Cowan 1956 der experimentelle Nachweis gelang. Forscher des kanadischen Sudbury Neutrino Observatory (SNO) sind sich jetzt sicher, dem Neutrino ein weiteres Geheimnis entlockt zu haben.

Vom Neutrino existieren drei Arten. Alle besitzen einen extrem niedrigen Wirkungsquerschnitt, so dass sie kaum an Reaktionen mit anderen Teilchen teilnehmen. Für die Wissenschaft sind sie deshalb „unbestechliche Zeugen“, da sie die unverfälschte Geschichte des Universums erzählen. Diese Tugend ist leider zugleich mit Schwierigkeiten verbunden. Denn der niedrige Wirkungsquerschnitt stellt höchste Anforderungen an die Neutrino-Detektoren, die sie nachweisen sollen.

## Das Rätsel der Sonnen-Neutrinos

Neutrinos entstehen unter anderem bei der Verschmelzung von Wasserstoff zu Helium. Dabei handelt es sich um die so genannten Elektron-Neutrinos. Der Prozess ist der Energielieferant der Sonne und ermöglicht letztlich Leben auf unserem Planeten. Jahrelang stand die Physik vor einem Rätsel: Nur rund die Hälfte der erwarteten solaren Neutrinos erreicht die Erde. Den Physikern und Astronomen am SNO ist es jetzt erstmals gelungen, in ihren Experimenten gleichzeitig auch Tau- und die Myon-Neutrinos nachzuweisen. Die Gesamtbilanz der gezählten Teilchen entspricht in etwa der erwarteten Zahl der solaren Neutrinos. Die Wissenschaftler erklären dies mit Neutrino-Oszillationen, auf dem Weg von der Sonne zur Erde ändern die Neutrinos ihren Typ.

Der Aufwand für die Experimente spiegelt sich in den beeindruckenden Dimensionen von SNO wider. Das Neutrino-Teleskop hat

die Größe eines zehnstöckigen Gebäudes und ist zwei Kilometer tief in einer Nickelmine vergraben. Auf diese Art soll die kosmische Hintergrundstrahlung gefiltert werden, die ansonsten die Messungen verfälscht. Das Herz des Detektors sind rund 1.000 Tonnen hochreinen schweren Wassers, die in eine Kunststoffkugel mit zwölf Meter Durchmesser gefüllt sind. Das schwere Wasser besteht aus Sauerstoff und Deuterium. Diese schwere Form von Wasserstoff ist für die Nachweisreaktionen erforderlich.



Wichtig für die Qualität der Neutrino-Messungen sind Glaskolben mit hervorragenden optischen sowie physikalisch-chemischen Eigenschaften.

## Augen mit Spezialglas

Beim Flug durch das schwere Wasser erzeugen die Neutrinos einzelne Lichtteilchen (Photonen) – ganz, ganz wenige nur, sonst wäre der Nachweis nicht so schwierig. Hierzu sind sogenannte Photomultiplier erforderlich. Diese extrem empfindlichen Instrumente können sogar ein einzelnes Lichtteilchen (Photon) nachweisen, indem sie es in ein elektrisches Signal verwandeln und dieses verstärken. Damit sind sie die Augen des Detektors, die auf der gesamten Oberfläche der Wasserkugel verteilt sind. Dank dieser Anordnung und des extrem reinen Wassers gelingt es mit SNO, nicht nur die Energie der Neutrinos zu messen. Die Richtung, aus der sie kommen, kann ebenfalls bestimmt werden. Die Photomultiplier arbeiten allerdings nur im luftleeren Raum und sind deshalb vakuumdicht von einem Glaskolben umgeben.

Normales Glas ist hierzu ungeeignet. Denn die erzeugten Lichtteilchen gehören zur ultravioletten Strahlung, die von normalem Glas nicht durchgelassen wird. Das ist bei Brillenglas zum Beispiel auch gut so, denn dadurch wird das Auge vor der Sonnenstrahlung geschützt. Für das kanadische Präzisionsexperiment ist das allerdings nicht akzeptabel. Die Wissenschaftler von SNO haben sich deshalb an Schott gewandt. „Die Anforderungen waren enorm“, erinnert sich Dr. Peter Brix, Leiter Materialentwicklung Technische Gläser bei Schott, „ein solches Glas gab es selbst bei uns nicht von der Stange.“

## Glas vom Reinsten

Dennoch haben die Glasspezialisten die Herausforderung angenommen. „In der Automobilbranche würde man wohl von einem „Extrem-Tuning“ sprechen“, schmunzelt Peter Brix. „Und genau das haben wir mit unserem Glastype 8246 getan.“ Ob bei der Wahl der Rohstoffe, bei den eigens konstruierten Schmelzwannen, beim Transport und sogar bei den Prüfwerkzeugen – stets haben die Glasmacher am Limit des technisch Machbaren gearbeitet und immer ging es um extreme Reinheit. Mit Erfolg: insgesamt 12.000 Einzelstücke, alle Handarbeit – und kein Einziges wurde beanstandet!

Bei dieser Fülle von Argusaugen fiel es sogar den scheuen Neutrinos schwer, unentdeckt zu bleiben. Man kann sogar zwischen drei Arten unterscheiden, auf die sie mit dem schweren Wasser reagieren, wobei sie am Ende der Reaktion stets den erwähnten ultravioletten Lichtblitz erzeugen. Diese so genannte Cherenkov-Strahlung wird dann von den Photomultipliern registriert.

Bei dieser Fülle von Argusaugen fiel es sogar den scheuen Neutrinos schwer, unentdeckt zu bleiben. Man kann sogar zwischen drei Arten unterscheiden, auf die sie mit dem schweren Wasser reagieren, wobei sie am Ende der Reaktion stets den erwähnten ultravioletten Lichtblitz erzeugen. Diese so genannte Cherenkov-Strahlung wird dann von den Photomultipliern registriert.

## Der optische Überschallknall

Trifft etwa ein Elektron-Neutrino auf einen Deuterium-Kern, so zerfällt er. Aus seinen beiden ursprünglichen Bausteinen – ein positiv geladenes Proton und ein ungeladenes Neutron – werden zwei Protonen

Herzstück des in zwei Kilometern Tiefe in einer Nickelmine vergrabenen Neutrino-Teleskops ist der Detektor. In dem fassähnlichen Behälter sind etwa 10.000 Sensoren, sogenannte Photomultiplier, installiert. Das Bild zeigt den Detektor nach der Installation der unteren Photomultiplier und vor der Verkabelung.

und ein negativ geladenes Elektron. Im Elektron steckt dann der Hauptteil der Neutrino-Energie. Es bewegt sich deshalb mit Lichtgeschwindigkeit davon – schneller als das Licht selbst. Denn dieses wird im Wasser „gebremst“ und ist langsamer als im Vakuum. Der Lichtkegel mit Cherenkov-Strahlung, den das Elektron vor sich herschiebt, ist deshalb einem Überschallknall vergleichbar. Mit den Messungen der Photomultiplier können die Physiker auf Häufigkeit und Energie der Neutrinos schließen.

Die Ergebnisse haben weitreichende Konsequenzen, denn die Umwandlungen sind nur möglich, wenn Neutrinos eine Ruhemasse haben wie andere Elementarteilchen auch. Das Standardmodell der Elementarteilchenphysik lässt dies in seiner jetzigen Form nicht zu. Die so genannte Leptonenzahl wäre keine Erhaltungsgröße mehr, und das Modell bedürfte einer Erweiterung. Die Existenz einer Neutrino-Masse trüge zudem zur „Dunklen Materie“ des Universums bei. Da Neutrinos so zahlreich sind, könnten sie beispielsweise für fehlende Massen von Galaxien verantwortlich sein.

### Ein Würfel aus Eis

Das Neutrino birgt dennoch weiterhin viele Rätsel, deshalb gibt es weltweit neue Projekte wie zum Beispiel IceCube. Dieses Neutrino-Teleskop besteht aus einem Eiskwürfel mit einem Kilometer Kantenlänge, der bis zu zweieinhalb Kilometer tief in den arktischen Eispanzer ragt. Was das schwere Wasser für SNO, ist für IceCube das antarktische Eis. Nirgendwo auf der Erde gibt es ein reineres Medium. Außerdem wirkt die Erde beim Blick in den nördlichen Himmel selbst als Filter, um unerwünschte Strahlung zu vermeiden. „Ein wissenschaftlich sehr reizvolles Vorhaben“, findet auch Brix. „Ich denke, Schott könnte bei diesem internationalen Projekt ebenfalls wertvolle Technologie und Know-how einbringen.“ Zum Beispiel druckstabile Behälter aus „Duran“, welche die rund 5.000 Photomultiplier von IceCube aufnehmen und schützen können. Auch andernorts steht das Neutrino bei vielen Projekten im Brennpunkt, zählt es doch zu den interessantesten Forschungsfeldern der heutigen Physik. Das scheue Geisterteilchen wird wohl so lange keine Ruhe haben, bis es den Wissenschaftlern alle Geheimnisse preisgegeben hat. ◀

# Neues Fenster im Universum

**IceCube ist ein internationales Projekt nahe des Südpols, mit dem Neutrinos weiter erforscht werden sollen. Die Arbeitsgruppe um Professor Dr. Lutz Köpke vom Institut für Physik der Mainzer Johannes Gutenberg-Universität ist maßgeblich beteiligt.**

*Herr Professor Köpke, auf der ganzen Welt wird Neutrino-Forschung mit hohem Aufwand betrieben. Was macht Neutrinos so interessant und ihre Erforschung wichtig?*

**Köpke:** Seit rund 30 Jahren besitzen wir eine erfolgreiche „Standard-Theorie“ der Elementarteilchen und der Kräfte, die zwischen diesen zwölf Grundbausteinen der Materie wirken. Neutrinos sind dabei ganz besondere Vertreter. Als einzige unterliegen sie ausschließlich der sogenannten schwachen Kraft und eignen sich deshalb besonders für deren Untersuchung. Ganz glücklich sind wir mit unserer „Standard“-Theorie nicht, obwohl sie die Messungen bislang hervorragend beschreibt. Schon jetzt wissen wir, dass Neutrinos im Gegensatz zur Standard-Theorie eine winzige Masse besitzen, deren genauen Wert wir allerdings noch nicht kennen. Dieser Umstand kann das ganze Universum beeinflussen, dessen Entwicklung und Ende und sogar die beobachteten Strukturen. Für mich ist es immer wieder faszinierend, wie die kleinsten und leichtesten Teilchen die ganze Welt beeinflussen können!

*IceCube befindet sich zweifellos an einem außergewöhnlichen Ort. Welche weiteren Besonderheiten hat das Projekt und welche Ergebnisse versprechen Sie sich?*

**Köpke:** Seit den fünfziger Jahren haben Wissenschaftler darauf hingewiesen, dass eine Astronomie mit den flüchtigen Neutrinos möglich sein sollte. Nach vielen Fehlschlägen sind seit einigen Jahren Neutrino-Teleskope im Baikalsee und am Südpol am Werk. Diese arbeiten sehr erfolgreich, aber zu unserem großen Bedauern wurden noch keine Neutrinos aus anderen Galaxien entdeckt! Es zeigt sich, dass der Bau des 200fach größeren und empfindlicheren IceCube-Nachfolgers technisch möglich und finanzierbar ist. Theoretische Abschätzungen versichern uns, dass damit der Nachweis von Neutrinos aus fernen Galaxien gelingen sollte. Dann können wir das Rätsel der Herkunft extrem hochenergetischer kosmischer Strahlung lösen und Prozesse in der Nähe von schwarzen Löchern studieren.

*Für die kompletten Photomultiplier ist im Gespräch, dass diese von „Duran“ Kugeln umgeben werden. Welche Funktion haben diese Kapseln?*

**Köpke:** Unter dem 2.000 Meter dicken Eispanzer herrscht 200facher Atmosphärendruck, vor dem die empfindlichen Photomultiplier samt Elektronik geschützt werden müssen. Das besonders haltbare „Duran“ Borosilicatglas bietet sich deshalb als Druckkugel an. Wir sind sehr froh, dass Schott für uns eine UV-durchlässigere Glasvariante entwickelt, mit 50 Prozent höherem Durchlass für die schwachen „Neutrino-Lichtblitze“. ◀



Der Forscher vor Ort: Professor Lutz Köpke und sein Team erhoffen sich vom IceCube-Projekt am Südpol, Neutrinos aus fernen Galaxien nachweisen zu können.