

GEISTER TEILCHEN.

Die Neutrino-Astrophysik –
Ein neues Fenster zum Universum



Woher kommt die kosmische Strahlung? Aus dem Weltall gelangen ständig unterschiedliche Arten von Teilchen auf die Erde, die Auskunft über die Geschehnisse in den fernen Weiten des Kosmos geben können. Die DESY-Forscher am Standort Zeuthen nutzen Neutrinos als Himmelsboten, um den Geheimnissen der kosmischen Strahlung auf die Spur zu kommen.

Beschleuniger | Forschung mit Photonen | [Teilchenphysik](#)

Deutsches Elektronen-Synchrotron
Ein Forschungszentrum der Helmholtz-Gemeinschaft



Geheimnisvolle kosmische Strahlung

Unablässig prasseln Teilchen aus den fernen Weiten des Universums auf die Erdatmosphäre – Protonen, Heliumkerne, aber auch schwerere Elemente wie etwa Eisenkerne. Hoch oben in zwanzig Kilometern Höhe treten sie ganze Lawinen sekundärer Teilchen los, die die gesamte Erdatmosphäre durchqueren und schließlich auch durch uns Menschen hindurchjagen. Soweit sie elektrisch geladen sind, ionisieren diese Teilchen die Materie, die sie durchfliegen. Über Jahrmillionen haben sie dadurch zur Veränderung des biologischen Erbguts beigetragen – die kosmische Strahlung ist somit einer der Motoren der Evolution, die auch den Menschen hervorgebracht hat.

Einige dieser Teilchen aus dem Kosmos erreichen schwindeleerregende Energien. Doch wo liegen die Quellen dieser hochenergetischen Geschosse? Wie gelingt es der Natur, die Teilchen auf derartige Energien zu beschleunigen? Um diese Fragen zu beantworten, bauten die Zeuthener Wissenschaftler am Südpol gemeinsam mit Kollegen aus aller Welt den größten Teilchendetektor der Welt – IceCube, ein Neutrinoobservatorium der Superlative.

Geisterteilchen auf der Spur

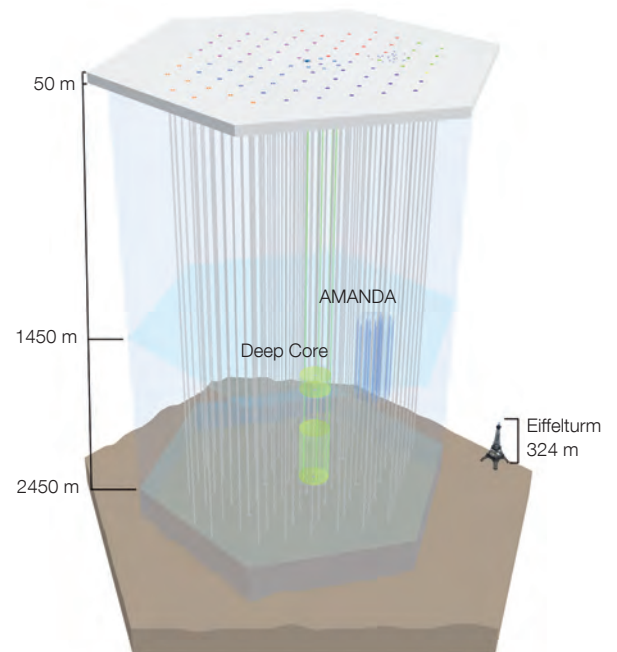
Die DESY-Forscher in Zeuthen arbeiten schon seit zwei Jahrzehnten auf dem Gebiet der Astroteilchenphysik. Ihr besonderes Interesse gilt Neutrinos – extrem leichten Teilchen, die nahezu ungestört durch alles hindurchfliegen, was sich ihnen in den Weg stellt. Neutrinos entstehen zum Beispiel bei der Kernfusion im Innern der Sonne oder bei Sternexplosionen, so genannten Supernovae. Fast unbemerkt treffen sie auf die Erde. Pro Sekunde rasen etwa 60 Milliarden Sonnenneutrinos durch jeden Quadratzentimeter der Erdoberfläche – fast ohne jede Reaktion mit ihrer Umgebung. Die geisterhaften Teilchen lassen sich daher nur mit viel Aufwand nachweisen, beispielsweise in großen Tanks in Bergwerken oder mit Messapparaturen in Seen, Ozeanen oder im ewigen Eis des Südpols.

So wie Licht bestimmte Phänomene sichtbar macht, „sieht“ man andere nur mit Hilfe von Neutrinos. Paradoxe Weise macht nämlich gerade ihre Reaktionsunfreudigkeit Neutrinos zu idealen kosmischen Boten. Teilchen, die kaum aufzufassen sind, können fast ungehindert auch die dicksten Materieschichten durchdringen: Licht- oder Gammastrahlen aus fernen Galaxien bleiben auf ihrem Weg zur Erde leicht in Materiewolken stecken; geladene Teilchen werden durch kosmische Magnetfelder von ihrer Bahn abgelenkt und verlieren die Information über ihre ursprüngliche Richtung, so dass sich ihr eigentlicher Ursprung nicht mehr feststellen lässt. Neutrinos dagegen scheren sich weder um Materiewolken noch um Magnetfelder und können uns Informationen aus kosmischen Regionen übermitteln, die uns sonst verborgen bleiben würden.

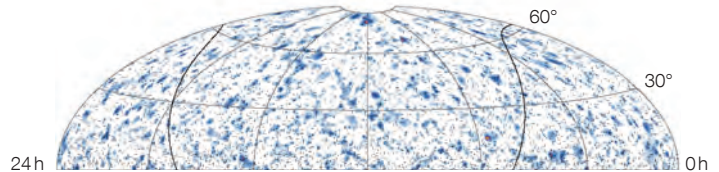
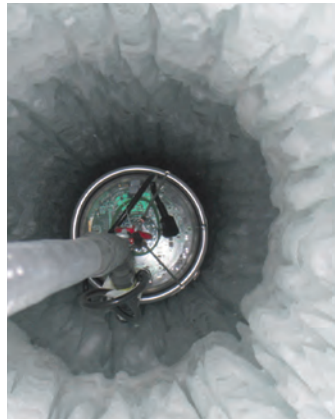
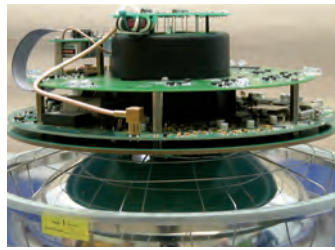
IceCube

Neutrinoobservatorium im Eis des Südpols, ergänzt durch ein Detektorfeld an der Eisoberfläche (IceTop)

- > **Fertigstellung:** 18. Dezember 2010
- > **Volumen:** ein Kubikkilometer
- > **Tiefe im Eis:** zwischen 1450 und 2450 Metern
- > **Anzahl der Trossen mit je 60 optischen Modulen:** 86
- > **Gesamtanzahl der optischen Module:** 5160
- > **Größe von IceTop:** ein Quadratkilometer
- > **Anzahl der Detektorstationen von IceTop:** 81
- > **Beteiligung:** über 200 Wissenschaftler aus 8 Ländern



Der IceCube-Detektor



- Im Uhrzeigersinn von links oben:
1. Innenansicht eines optischen Moduls.
 2. Die IceCube-Mannschaft versenkt im Dezember 2010 das letzte Modul im Eis.
 3. Richtungsverteilung von ca. 14.000 Neutrinos, die mit dem teilinstallierten IceCube-Detektor im Jahr 2008 registriert wurden. Das Bild zeigt den Nordhimmel, den IceCube „durch die Erde hindurch“ sieht.
 4. Hinablassen eines optischen Moduls in das 2450-m-tiefe Eisloch am Südpol.

Teleskope für Neutrinos

Aufgrund der gewaltigen Entfernungen treffen hochenergetische Neutrinos aus den Weiten des Alls nur selten auf die Erde. Um sie aufzuspüren, müssen die Wissenschaftler deshalb Neutrino-Teleskope bauen, die hundert- oder tausendmal größer sind als die Detektoren in Schächten oder Tunneln, die für den Nachweis von Sonnenneutrinos verwendet werden. Solche gigantischen Instrumente werden tief ins Wasser oder ins Eis eingelassen. Gemeinsam mit Kollegen aus zahlreichen anderen Ländern sind die DESY-Forscher den Geisterteilchen mit Neutrino-Teleskopen im Baikalsee und am Südpol auf der Spur. Am Südpol befindet sich, tief ins Polareis eingeschmolzen, das Neutrino-Teleskop IceCube, der größte Teilchendetektor der Welt. Mit dem Nachweis von Neutrinos aus dem tiefen Weltraum werden die Forscher die ersten Fähnchen auf die gegenwärtig noch weiße Himmelskarte des Hochenergie-Neutrinouniversums stecken. Weiterhin nutzen sie die Neutrino-Teleskope, um den seltenen Supernova-Explosionen aufzulauern und nach Teilchen der dunklen Materie oder noch exotischeren Partikeln wie etwa magnetischen Monopolen zu fahnden.

Kosmische Spuren im ewigen Eis

Das Neutrino-Teleskop IceCube besteht aus mehreren Tausend Glaskugeln mit Lichtsensoren, den so genannten optischen Modulen, die an langen Drahtseilen befestigt wie Perlschnüre tief ins Polareis der Antarktis eingeschmolzen werden. Der dicke Eispanzer schirmt Störsignale weitgehend ab. Das kristallklare Eis erlaubt es, die Herkunftsrichtung der Teilchen zu bestimmen. Bei der Reaktion eines Neutrinos mit einem Atomkern entsteht ein Myon, ein Teilchen, das in Wasser oder Eis so genannte Cherenkov-Strahlung aussendet. Die Elektronik in den Glaskugeln zeichnet den Lichtkegel der Cherenkov-Strahlung und damit die Bahn des

Myons auf. Aus den Sensordaten, die an die Messstation an der Oberfläche gesandt werden, lässt sich die Richtung des Verursacher-Neutrinos berechnen. Verblüffenderweise führen Neutrino-Reaktionen nicht nur zu optischen, sondern auch zu akustischen Signalen. Allerdings werden die winzigen Knall-Laute nur von extrem hochenergetischen Neutrinos erzeugt. Ob die Neutrinos am Südpol auch akustisch nachgewiesen werden können wird derzeit mit der Test-Anordnung SPATS (South Pole Acoustic Test Setup) untersucht. Als größter Teilchendetektor der Welt umfasst IceCube ein Volumen von einem Kubikkilometer und ist etwa 30-mal so empfindlich wie sein Vorgänger AMANDA. IceCube wurde im Dezember 2010 fertig gestellt, jedoch wurden auch schon mit den Ausbaustufen der Vorjahre Daten genommen. Zusätzlich wird das Neutrino-Teleskop durch ein weiteres, ein Quadratmeter großes Detektorfeld namens IceTop an der Eisoberfläche ergänzt. Mit Hilfe von IceTop beobachten die Wissenschaftler ausgedehnte Luftschauer, die von hochenergetischer kosmischer Strahlung in der Atmosphäre ausgelöst werden. ●

Beteiligung von DESY

Der Standort Zeuthen beteiligt sich mit folgenden Beiträgen an der Realisierung des IceCube-Projekts:

- > Fertigung und Test von 1300 der 5160 optischen Module,
- > Entwicklung und Fertigung von elektronischen Komponenten für die Datenauslese,
- > Entwicklung von Software für die Datenanalyse,
- > Entwicklung und Test neuer Methoden für den Nachweis von Teilchen.

Deutsches Elektronen-Synchrotron Ein Forschungszentrum der Helmholtz-Gemeinschaft

In der Helmholtz-Gemeinschaft haben sich 18 naturwissenschaftlich-technische und medizinisch-biologische Forschungszentren zusammengeschlossen. Ihre Aufgabe ist es, langfristige Forschungsziele des Staates und der Gesellschaft zu verfolgen. Die Gemeinschaft strebt nach Erkenntnissen, die dazu beitragen, Lebensgrundlagen des Menschen zu erhalten und zu verbessern. Dazu identifiziert und

bearbeitet sie große und drängende Fragen von Gesellschaft, Wissenschaft und Wirtschaft durch strategisch-programmatisch ausgerichtete Spitzenforschung in sechs Forschungsbereichen: Energie, Erde und Umwelt, Gesundheit, Schlüsseltechnologien, Struktur der Materie sowie Luftfahrt, Raumfahrt und Verkehr.

www.helmholtz.de