

Das solare Neutrino-Rätsel

Nobelpreis für Physik 2015

*"for the discovery of neutrino oscillations,
which shows that neutrinos have mass"*

wird der Nobelpreis 2015 für Physik vergeben an:

Prof. Takaaki Kajita (geb. 1959 in Japan)

tätig an der Universität Tokyo, Kashiwa, Japan
und

Prof. Arthur B. McDonald (geb. 1943 in Kanada)

tätig an der Queen's University, Kingston, Canada

Poltergeister

Bis 1932 waren nur Proton und Elektron als Kernbausteine bekannt. Als man in den Jahren nach 1920 bei β -Zerfällen die Energien der emittierten Elektronen maß, stand man vor einem Rätsel: Beim Zerfall des Kerns in Tochterkern und Elektron sollten die Elektronen einen festen Bruchteil der frei werdenden Energie wegtragen. Die gemessene Elektronenenergie schwankte jedoch zufällig zwischen zwei extremen Werten. Niels Bohr zweifelte bereits am Energiesatz: Energie könnte eventuell nur im statistischen Mittel erhalten sein – so ausweglos erschien die Situation. Im Frühjahr 1930 löste Wolfgang Pauli das Problem, indem er für den β -Zerfall die gleichzeitige Emission eines weiteren, aber

nicht beobachtbaren Teilchens vorschlug, er nannte es Neutron – heute wird es Neutrino genannt. Zeitgenossen nannten es scherzhaft Poltergeist, weil sein direkter Nachweis hoffnungslos erschien und es nur zur Rettung des Energiesatzes diente. 1932 entdeckte James Chadwick das Neutron als schwereres neutrales Gegenstück zum Proton. Damit erschien es plausibel, dass Elektron und Neutrino erst beim Zerfall entstehen. Die Zerfallsenergie verteilt sich auf Tochterkern, Neutrino und Elektron, deren Energien von den relativen Rückstoßrichtungen abhängen. Heute kennt man 3 Arten von Neutrinos, die neutralen Partner von Elektron, Myon und Tauon: ν_e , ν_μ , ν_τ .

Rätselhafte Sonnenneutrinos

Neutrinos treten nur sehr schwach mit Materie in Wechselwirkung. Daher konnten sie erst 1956 nachgewiesen werden. 1967 begann Raymond Davis in einem Goldbergwerk in 1600 m Tiefe, die von der Sonne kommenden Neutrinos nachzuweisen. In der Sonne entstehen bei der Fusion von Wasserstoff zu Helium Neutrinos (ν_e). Aus der Strahlungsleistung der Sonne weiß man, wie viele Neutrinos auf der Erde ankommen sollten. Als Davis die Umwandlung von Chlor in Argon durch solare ν_e untersuchte, fand er nur ein Drittel der vorhergesagten Neutrinos. War das Experiment fehlerhaft, hatte man falsche Vorstellungen von den Prozessen im Sonneninneren, von der Natur der Neutrinos?

Neue Rätsel stellten sich beim Versuch, Myon-Neutrinos (ν_μ) nachzuweisen, die in der Atmosphäre durch die kosmische Strahlung erzeugt werden: Gibt es einen Unterschied, wenn sie von oben durch 1 km Gestein oder von unten durch 12000 km zum Detektor gelangen? Das japanische Experiment Super-Kamiokande zeigte, dass von unten nur halb so viele ν_μ wie von oben kommen, während es für ν_e keinen Unterschied gibt.

Wie löst sich das Rätsel?

Ein raffiniertes Experiment am Sudbury Neutrino Observatory in Kanada (Abb. 1) brachte die Lösung: Der Detektor enthält 1000 m³ schweres Wasser (D₂O), Wasser mit dem Isotop Deuterium, dessen Kern neben dem Proton ein Neutron enthält.

Solare ν_e können zweierlei Reaktionen auslösen: Beim Stoß mit einem Proton können sie ebenso wie ν_μ und ν_τ elastisch gestreut werden, zusätzlich können sie beim Stoß mit einem Neutron dieses in ein Proton und sich in ein Elektron verwandeln. Nachgewiesen werden die geladenen Teilchen durch die Cherenkov-Strahlung (Licht), die entsteht, wenn geladene Teilchen sich schneller als mit der Lichtgeschwindigkeit im Medium bewegen.

Man fand: Die Erzeugung von Elektronen durch ν_e erfolgt mit einem Drittel der erwarteten Rate. Hingegen erfolgt die elastische Streuung so häufig, wie entsprechend der Kernfusion in der Sonne zu erwarten war.

Dieses Ergebnis erlaubt die Deutung: Zwei Drittel der in der Sonne entstandenen Neutrinos vom Typ ν_e haben sich am Weg zur Erde in ν_μ und ν_τ verwandelt und können daher keine Elektronen erzeugen. Ähnlich wird das japanische Experiment gedeutet: ν_μ wandeln sich am Weg durch die Erde in ν_τ um.

Neutrino-Oszillationen

Die Ursache dieser Umwandlungen (Oszillationen) zwischen den Neutrinoarten ist noch unbekannt. Sie zeigen, dass das „Standardmodell“ der Teilchenphysik erweitert werden muss. Sie haben als weitere Konsequenz, dass Neutrinos vermutlich sehr kleine, aber unterschiedliche Massen besitzen müssen – jahrzehntelang war die Mehrheit der Physiker von der Masselosigkeit der Neutrinos überzeugt! Da Neutrinos fast so zahlreich wie Photonen durch das Universum fliegen, tragen sie zur dunklen Materie bei mit noch näher zu erforschenden Konsequenzen für die Strukturbildung von Galaxien.

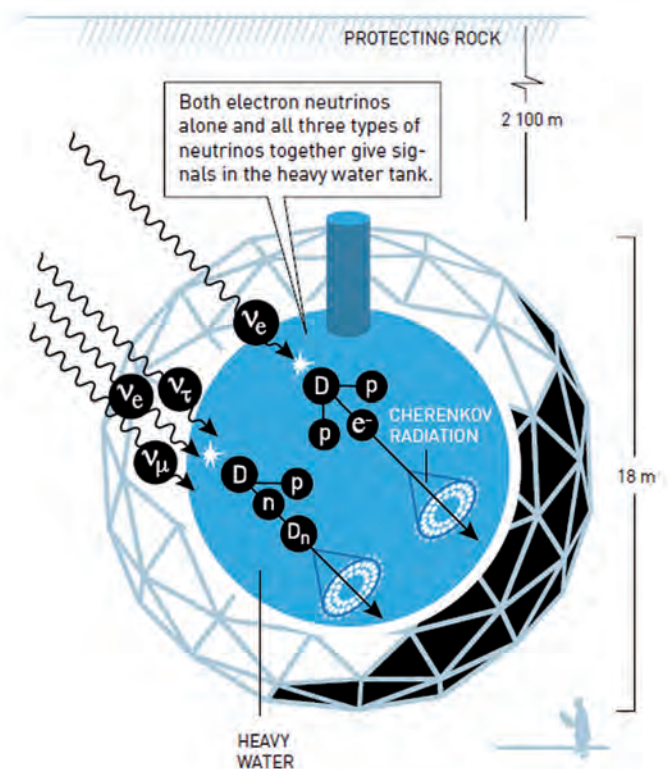


Abb. 1: Das Sudbury Neutrino Observatorium weist in der Sonne produzierte Elektron-Neutrinos nach. Die Reaktionen im Schwerwassertank ermöglichen es, sowohl die Elektron-Neutrinos allein als auch alle 3 Neutrinoarten gemeinsam zu erfassen.
(Quelle: http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2015/popular-physicsprize2015.pdf)