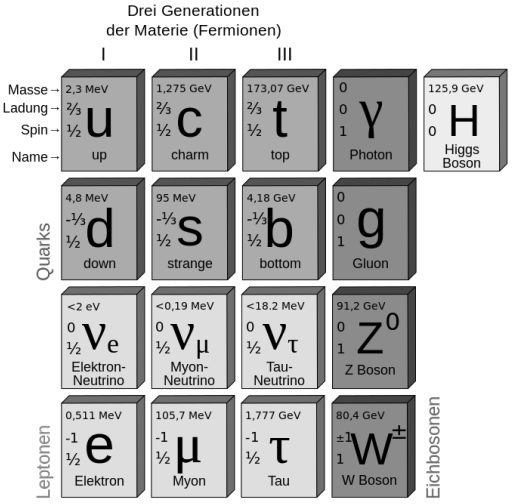
Neutrinomassen und -oszillationen

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Abstract zur Präsentation von Erik Fitzke
Theorieseminar: Kernstruktur und Nukleare Astrophysik
21. April 2015

Neutrinos als Elementarteilchen

Bereits im Jahr 1914 wies James Chadwick nach, dass die Energiespektren von β^--Strahlern kontinuierlich sind. Damit die Energie- und Impulserhaltung auch für den β^--Zerfall ihre Gültigkeit behalten, wurde später die Existenz eines zusätzlich teilnehmenden, kaum mit der Umgebung wechselwirkenden Teilchens postuliert. Das offenbar neutrale Teilchen wurde von Enrico Fermi später Neutrino getauft. Mit der Einordnung des Neutrinos ins Standardmodell der Elementarteilchen wird unter Berücksichtigug der Leptonenzahlerhaltung jedoch klar, dass es sich bei diesen Teilchen um Elektron-Antineutrinos handelt. Später wurden auch zu den anderen Leptonen die entsprechenden Neutrinos gefunden, sodass heute neben dem Elektron-Neutrino noch zwei weitere Flavour, das Myon-Neutrino und das Tau-Neutrino, und die zugehörigen Antineutrinos bekannt sind. Alle Reaktionen, an denen Neutrinos teilnehmen, laufen über die schwache Wechselwirkung ab, wodurch Neutrinos experimentell schwer nachzuweisen sind.
Bisher ungeklärt ist, ob Neutrinos Majorana-Fermionen und damit ihre eigenen Antiteilchen sind. Die exakten Massen der Neutrinos sind Gegenstand aktueller Forschung, bisher sind lediglich Obergrenzen bekannt. Das Auftreten sogenannter Neutrinoszillationen impliziert jedoch, dass mindestens zwei Neutrinos eine von Null verschiedene Masse besitzen.



Das solare Neutrinoproblem

Bei der Beobachtung von Elektron-Neutrinos, die bei verschiedenen Kernreaktionen in der Sonne entstehen, wurde ab den sechziger Jahren ein erhebliches Neutrinodefizit festgestellt. Der gemessene Neutrinostrom betrug je nach Experiment nur ein Drittel bis die Hälfte dessen, was die ansonsten gut bestätigten Sonnenmodelle erwarten ließen. Zur theoretischen Lösung des Problems wurde der Mechanismus der Neutrinooszillation vorgeschlagen. Experimentell verifiziert wurde diese später mit anderen Nachweismethoden und Detektoren, unter anderem auch bei atmosphärischen Neutrinos. Mit Tscherenkow-Detektoren wie dem Super-Kamiokande und dem SNO-Experiment wurde dazu auch die Bewegungsrichtung der detektierten Neutrinos untersucht. Im Jahr 2015 wurde der Nobelpreis in Physik an Arthur McDonald vom SNO und an Takaaki Kajita vom Super-Kamiokande verliehen - für den experimentellen Nachweis von Neutrinooszillationen.

Neutrinooszillationen

Neutrinooszillationen treten auf, weil die Massen-Eigenzustände der Neutrinos nicht mit den wechselwirkenden Zuständen (Elektron-, Myon- oder Tau-Neutrino) übereinstimmen. Diese sind hingegen eine Mischung der drei orthogonalen Massen-Eigenzustände. Die Mischung wird mit Hilfe der PMNS-Matrix beschrieben, benannt nach den Physikern Pontecorvo, Maki, Nakagawa und Sakata. Da der Impulsübertrag bei der Erzeugung des Neutrinos aufgrund der verschiedenen Massen für jeden Eigenzustand ein anderer ist, ist die relative Phasenverschiebung der Eigenzustände abhängig von der Entfernung zwischen dem Neutrinodetektor und dem Entstehungsort des Neutrinos. Abhängig von diesen Phasenverschiebungen oszilliert die Wahrscheinlichkeit, einen bestimmten Neutrinoflavour zu detektieren, periodisch mit dem Abstand des Detektors zum Entstehungsort.