

Neutrinos doch nicht schneller als Licht

Von Georg Wolschin

Am 23. September 2011 trat das Team des Neutrinodetektors OPERA mit einer sensationellen Nachricht an die Öffentlichkeit. Der in einem Untergrundlabor im italienischen Gran-Sasso-Massiv installierte Detektor misst Myon-Neutrinos, die am Teilchenbeschleuniger SPS des Teilchenforschungszentrums CERN bei Genf erzeugt werden, und sucht nach Tau-Neutrinos, die durch Oszillationen entstehen. Dabei hatten die OPERA-Forscher festgestellt, dass die Teilchen die etwa 731 Kilometer weite Reise durch die Erdkruste schneller als mit Lichtgeschwindigkeit ("superluminal") zurücklegen.

Die Meldung traf in Fachkreisen meist auf ungläubiges Staunen. Denn seit Albert Einstein 1905 die spezielle Relativitätstheorie formulierte, gilt als fester Bestandteil physikalischer Theorie, dass sich kein Signal schneller als Licht im Vakuum ausbreiten kann. Nur wenn das Licht seinerseits ein Medium durchquert und dadurch verlangsamt wird, kann es überholt werden – beispielsweise von Elektronen, die dann in den Wassertanks von Neutrinodetektoren wie Superkamiokande bläuliches Cherenkovlicht abstrahlen.

Die Forscher hatten guten Grund, die Ruhe zu bewahren. Denn dass die Geschwindigkeitsobergrenze auch für Neutrinos gilt, war eigentlich schon in früheren Experimenten belegt worden. 1979 hatten Forscher am Fermilab Neutrinos (gemeinsam mit Myonen) auf eine Strecke von mehr als 500 Meter durch Stahl und Erde geschickt und im Rahmen der Messgenauigkeit keine Abweichung gefunden. Einen weiteren Beleg liefert die Supernova 1987A. Wären die OPERA-Daten korrekt, hätten erste Neutrinos bereits rund 4,2 Jahre vor dem ersten Lichtsignal auf der Erde eintreffen müssen – was nicht der Fall war. Allenfalls eine starke Energieabhängigkeit der Neutrinogeschwindigkeiten hätte dieses Ergebnis noch widerlegen können.

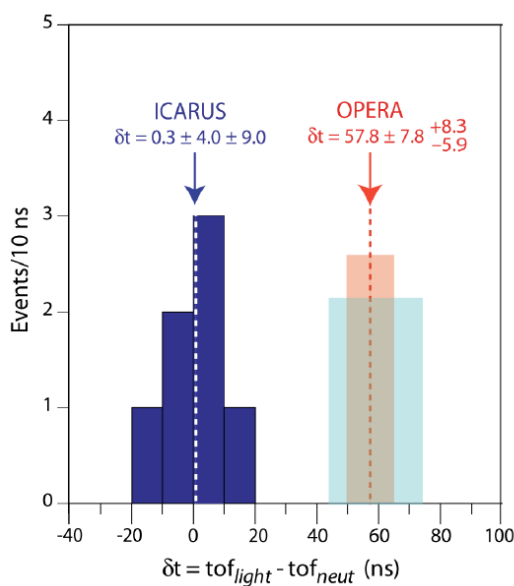
Gleichwohl war der Ehrgeiz begabter Theoretiker geweckt. Binnen weniger Monate erschienen mehr als 150 Arbeiten auf dem Preprint-Server arXiv. Auf dieser Plattform verbreiten Forscher ihre Ergebnisse schon vor dem bei Fachzeitschriften üblichen Begutachtungsprozess. Dabei entwickelten sie eine Vielzahl origineller Ideen. Vielleicht breiten sich die Neutrinos ja durch zusätzliche Raumdimensionen aus und nehmen so gewissermaßen eine Abkürzung. Oder die drei bekannten Neutrinoarten (Elektron-, Myon- und Tau-Neutrinos) bewegen sich mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten. Bei vielen theoretischen Ansätzen ist das Konzept der so genannten Lorentz-Invarianz, das der speziellen Relativitätstheorie zugrunde liegt, verletzt. Andrew Cohen und Nobelpreisträger Sheldon Glashow, beide von der Boston University, rechneten vor, wieviel Energie superluminale Neutrinos durch die Erzeugung von Elektronen und Positronen verlieren würden – das ICARUS Experiment im Gran Sasso fand dafür aber keinerlei Anzeichen.

Viele der Arbeiten konzentrierten sich auf die Suche nach denkbaren Messfehlern. Die jüngsten Nachrichten gaben dieser Strategie recht. Denn am 15. März hieß es plötzlich: Fehlalarm. Die OPERA-Forscher hatten die Laufzeitmessung gründlich überprüft und

waren auf zwei mögliche Fehlerursachen gestoßen, deren Entdeckung bei einem so großen und komplexen Detektor wie OPERA akribische Kleinarbeit erforderte. Insbesondere war der Lichtleiter nicht richtig verschraubt, der das externe GPS-Signal zu der in OPERA eingebauten Uhr transportiert. Das Zeitsignal wird deshalb verzögert und so eine kürzere Neutrinolaufzeit auf dem Weg zwischen CERN und Gran Sasso vorgetäuscht. Ein zweiter Effekt wirkt sich gegenläufig aus, hebt die Verzögerung des Zeitsignals aber nicht auf.

Eine plausible Erklärung ersetzt allerdings keine harten Messdaten, schon gar nicht in einem Fall von solch grundlegender Bedeutung. Am 16. März gab das CERN darum bekannt, dass im Mai 2012 an allen vier Neutrinoexperimenten im Gran Sasso – neben OPERA auch Borexino, LVD und ICARUS – neue Laufzeitmessungen mit dem gepulsten Myon-Neutrinostrahl vom SPS-Beschleuniger vorgenommen werden sollen. Dann aber stellte das ICARUS-Team schon im März weitere Resultate vor (preprint 1203.3433). Sie beruhen auf sieben Ende 2011 gemessenen Neutrinoereignissen – und deuten auf Ausbreitung mit (fast) Vakuum-Lichtgeschwindigkeit (siehe Bild).

Voraussichtlich also, und vorbehaltlich der Prüfung im Mai: Die Neutrinos haben offenbar die Überholspur verlassen und bewegen sich mit Lichtgeschwindigkeit. Wer Daten aufnimmt, welche die Grundfesten der Physik ins Wanken bringen, muss sein Experiment besonders genau prüfen. Das haben die OPERA-Kollegen zwar getan - aber doch zwei wichtige Details übersehen.



x-Achse: Differenz zwischen Laufzeit von Licht (im Vakuum) und Laufzeit von Neutrinos in Milliardstel Sekunden

y-Achse: Ereignisse pro 10 Milliardstel Sekunden

© ICARUS-Kollaboration, arXiv: 1203.3433

Text: Die Ergebnisse des ICARUS-Teams zeigen, dass es im Mittel keine Abweichung zwischen Lichtlaufzeit im Vakuum über die gleiche Strecke, und Neutrinolaufzeit gibt. Im Fall der fehlerhaften Opera-Messungen betrug die vermeintliche Differenz 57,8 Milliardstel Sekunden.