

**DER SPIEGEL 31/2000**URL: <http://www.spiegel.de/spiegel/0,1518,87964,00.html>

# Geisterjagd im Tunnel

**Physiker am US-Teilchenbeschleuniger Fermilab haben das Tau-Neutrino aufgespürt. Sie feiern die Entdeckung des letzten von zwölf Teilchen, aus denen die Welt besteht. Zugleich hoffen die Forscher, dass die Neutrinos ihnen das Tor öffnen zu einem Kosmos neuer Naturgesetze.**

Das erste der vier ist noch immer Bruce Ballers Lieblings-Neutrino. Keines der drei anderen habe eine so schöne Spur in der Fotoemulsion zurückgelassen.

Als ihnen allerdings am Nachmittag des 18. April 1997 erstmals ein Tau-Neutrino ins Netz ging, ahnten weder Baller noch einer seiner 53 Physikerkollegen etwas von ihrem Fang. Schließlich war die "schöne Spur" nichts als ein mikroskopisch kleiner Strich inmitten eines Nebels aus Millionen anderer Strichelchen. Und auch im Meer der Detektordaten, die in den Rechner des "Donut"-Experiments fluteten, machten die Signale dieses einen Ereignisses nicht mehr als ein paar Nullen und Einsen aus.

Es dauerte drei Jahre, bis sich das Forscherteam vom Teilchenbeschleuniger Fermilab bei Chicago seiner Deutung sicher genug war, um sich an die Öffentlichkeit zu wagen. Ende vorvergangener Woche taten die Physiker der Welt schließlich kund: Das letzte der zwölf Teilchen, aus denen alles Materielle besteht, ist gefunden.

Mit dem Elektron und seinen beiden Verwandten, dem Myon und dem Tau, sind die Forscher schon seit Jahrzehnten vertraut; den Satz aller sechs Quarks, den Bausteinen der Atomkerne, haben sie vor fünf Jahren komplettiert; auch zwei der drei Neutrino-Sorten sind seit langem nachgewiesen (siehe Grafik). Allein das letzte, das Tau-Neutrino, fehlte noch.

Während die Physikerwelt nun den letzten Zugang zur Teilchenfamilie willkommen heißt, gerät der Fundort des Teilchen-Benjamins schon wieder in Vergessenheit. Nur noch selten verschlägt es jemanden ins Kellergewölbe des Gebäudes mit den Initialen HIL. Und meist sind die Besucher nur aufs Ausschlachten bedacht: Sie suchen einen Detektor, ein Kalorimeter oder einen Signalverstärker, um ein neues Experiment damit aufzurüsten.

Nur der radioaktive Wolframstab strahlt noch immer hinter dicken Betonklötzen vor sich hin. Sechs Monate lang stand er fast ohne Unterbrechung unter Dauerbeschuss: Die Physiker hatten die extrem energiereichen Protonen des "Strahls West" auf ihn geschleudert und so einen Schauer von Teilchentrümmern erzeugt. Aus dieser durch den Raum schießenden Wolke aus Neutronen, Myonen, Mesonen und Photonen galt es die Unscheinbarsten herauszufiltern - eben jene Tau-Neutrinos, denen die Neugier der Physiker galt.

Die Forscher machten sich dabei zu Nutze, dass Neutrinos so unbeirrbar wie keine anderen Teilchen sind. Geladene Partikel lassen sich von Magnetfeldern ablenken, massereiche Teilchen durch Beton abbremsen. Neutrinos hingegen passieren all diese Hindernisse gänzlich unverändert - "sie sind Teilchen ohne Eigenschaften", so hat es einmal der Nobelpreisträger Leon Lederman vom Fermilab formuliert.

Mit Hilfe von Betonplatten und Magnetfeldern konnten die Forscher den Teilchenstrahl folglich von Neutronen, Myonen und sonstigem Teilchenschrott säubern. Die übrig bleibenden Tau-Neutrinos nachzuweisen, war dennoch schwierig. Denn sie durchrasen nicht nur meterdicken Beton, sondern auch jederlei Messgerät. Nur wenn es gelingt, Abermilliarden der kaum fassbaren Teilchen durch einen Detektor zu lenken, besteht eine Chance, dass wenigstens einige wenige darin stecken bleiben.

Genau das ist den Physikern im "Donut"-Experiment gelungen. Die Entdeckung bestätigt einmal mehr das so genannte Standardmodell - jenes beispiellos erfolgreiche Formelgebäude, das die theoretischen Physiker vor rund 25 Jahren vollendeten. Mit wenigen Gleichungen gelang es ihnen damals, sämtliche bekannten Phänomene der Teilchenphysik zu erklären. Eine ihrer Schlussfolgerungen: Alle Materie bestehe

aus nicht mehr als zwölf elementaren Bestandteilen - ebenjenen zwölf, deren letztes jetzt, wie von den Theoretikern prophezeit, gefunden wurde.

Für Experimentatoren wie Baller ist der Triumph des Standardmodells gleichwohl eine bittere Erfahrung. Denn seit 25 Jahren machen sie nichts anderes, als immer aufs Neue Vorhersagen zu bestätigen, die von kaum einem mehr in Zweifel gezogen werden. "Es wäre eine unglaubliche Überraschung gewesen", sagt etwa David Caldwell von der University of California in Santa Barbara, "wenn die das Tau-Neutrino nicht gefunden hätten."

Das Fermilab ist eine jener Stätten, die bisher dazu verdammt schienen, stets nachzuweisen, was bereits als so gut wie sicher gilt. Im Laufe der Jahre tasteten sich die Physiker dort langsam in Regionen immer höherer Energien vor. Mit immer größerer Wucht schleuderten sie Protonen und Mesonen auf ihre Proben. Bis in immer feinere Details vermaßen sie die Struktur des Protons oder das Verhalten des Charm-Quarks. Und doch war das Ergebnis all dieser Experimente in einer Hinsicht immer dasselbe: Das Standardmodell stimmt.

"Natürlich gab es auch bei uns Zweifler, die gesagt haben: ‚Wozu sucht ihr dieses Tau-Neutrino? Ihr wisst doch sowieso, dass es existiert‘", gesteht Baller. Doch dann beteuert er gleich: "Aber es wäre doch ganz unwissenschaftlich, wenn wir Dinge als wahr annähmen, deren wir uns nie wirklich vergewissert haben."

Solcher Durchhalteparolen zum Trotz gibt es kaum einen Physiker am Fermilab, der nicht hoffen würde, endlich Risse in dem so unverschämt überzeugenden Standardmodell aufzuspüren. Denn fast alle Physiker sind sich einig: So erfolgreich dieses Formelwerk bisher auch gewesen sein mag, es kann unmöglich die letzte aller Antworten sein.

Warum gibt es fast nur Materie, jedoch kaum Antimaterie im All? Wieso haben Teilchen überhaupt eine Masse? Vor allem aber: Wieso gibt es ausgerechnet vier verschiedene Kräfte in der Natur, und warum will sich eine von ihnen, nämlich die Schwerkraft, nicht in das Formelwerk der anderen einfügen?

All diese Fragen vermag das Standardmodell nicht zu beantworten. Schon deshalb sind die Physiker davon überzeugt, dass sie irgendwann an die Grenzen dieser Theorie stoßen werden - und dass sich ihnen dann eine neue, noch tiefere Wahrheit erschließen werde.

In den letzten Jahren glauben viele Forscher, fündig geworden zu sein bei ihrer verzweifelten Suche nach Haarrissen im Formelgebäude der Theoretiker: Als Wegweiser in die wundersame Welt jenseits des Standardmodells, so hoffen sie, könnten ihnen die Neutrinos dienen.

Neutrinos sind die schüchternsten, die introvertiertesten, die verschlossensten Mitglieder der Teilchenwelt. Weitaus zahlreicher als alle anderen Teilchen bevölkern sie das All. Doch da Planeten und Sterne für die eigenartigen Geisterteilchen durchlässiger sind als Glas für Licht, schwirren sie umher, fast ohne Spuren ihrer Existenz zu hinterlassen.

Mit dem "Projekt Poltergeist" - der Name sollte dem eigentümlichen Wesen des Untersuchungsobjekts angemessen sein - begann in den fünfziger Jahren die Ära der experimentellen Neutrino-Physik. Lange Zeit waren die Forscher froh, wenn es ihnen überhaupt gelang, irgendein Lebenszeichen der kosmischen Irrläufer einzufangen. Inzwischen aber wächst die Erwartung der Physiker: Neutrinos, so hoffen einige von ihnen, könnten ihre ganze Wissenschaft grundlegend verändern.

"Am Ende des zwanzigsten Jahrhunderts", schreiben die Münchner Physiker Michael Altmann und Lothar Oberauer in der Zeitschrift "Naturwissenschaften", "haben Neutrinos eine Hauptrolle in der modernen Wissenschaft übernommen." So unterschiedliche Disziplinen wie die Kosmologie, die Kern-, die Astro-, die Teilchen- und die Geophysik haben plötzlich die Bedeutung der geisterhaften Schattenteilchen erkannt.

So versenken Astrophysiker gegenwärtig eine Art Riesen-Mobile aus Messgeräten kilometertief im antarktischen Eispanzer. Am Ende wollen sie fähig sein, einen Kubikkilometer Eis rund um die Uhr zu überwachen, um jedes aufprallende Neutrino kosmischen Ursprungs zu registrieren. Die-

se gänzlich neuartige Form des Teleskops soll es möglich machen, Regionen des Himmels zu durchleuchten, die den Augen der Forscher bisher verschlossen sind. Die Geophysiker hoffen unterdessen,

den Aufbau des Erdinnern genauer untersuchen zu können, indem sie studieren, wie viele Neutrinos dort beim radioaktiven Zerfall entstehen.

Die wohl größte Erregung hat jedoch die Teilchenphysiker erfasst. "Bei den Neutrinos sehen wir endlich ein Verhalten, das die Standardtheorie nicht vorsieht", erklärt begeistert Debbie Harris, die zusammen mit rund 250 Forscherkollegen das Experiment "Minos" am Fermilab vorbereitet.

Sie spricht von einem Phänomen, das zurzeit wie kaum ein anderes die Teilchenphysik beschäftigt: Die Indizien verdichten sich, dass Neutrinos regelrechte Verwandlungskünstler sind. Es scheint, als änderten sie von Zeit zu Zeit ihre Identität - aus einem Myon- wird ein Tau-, aus einem Elektron- ein Myon-Neutrino.

Als "wichtigsten Durchbruch der Teilchenphysik in den letzten zehn Jahren" pries es der kalifornische Teilchenphysiker Joel Primack, als vor zwei Jahren der japanische Detektor Super-Kamiokande die bisher stichhaltigsten Beweise für diesen rätselhaften Vorgang lieferte. Die Neutrinos waren dort in einem katedralengroßen, unterirdischen Tank gemessen worden, in den die Forscher 50 000 Tonnen Wasser gepumpt hatten.

Für die Teilchenphysiker hat der Verwandlungsprozess deshalb eine so große Bedeutung, weil für ihn kein Platz ist im Standardmodell. Haben die Experimentatoren folglich nach 25 frustrierenden Jahren endlich den Punkt erreicht, wo das Formelwerk der Theoretiker versagt? "Diese Aussicht ist so spannend, dass wir das Phänomen in allen Einzelheiten untersuchen müssen", erklärt Harris.

Dazu soll das Experiment "Minos" dienen. Um besser zu verstehen, wie sich die drei Teilchentypen ineinander verwandeln, wollen Harris und ihre Kollegen einen Neutrino-Strahl in die Erde richten. 730 Kilometer vom Fermilab entfernt, soll er in einer alten Mine auf 486 wuchtige Stahlplatten von je acht Meter Durchmesser treffen. Gegenwärtig sind die Forscher damit beschäftigt, diesen 5000-Tonnen-Detektor in genormte Einzelteile zu zerlegen, die in den Fahrstuhl der Mine passen.

Einem noch eigentümlicheren Verwandlungsprozess will sich Janet Conrad zuwenden. "Unser Experiment entscheidet über die Zukunft des Fermilab", verkündet die Physikerin von der New Yorker Columbia University selbstbewusst. Stolz stapft sie über eine von Reifen zerwühlte Sandpiste zu einem Loch im Boden, das den Blick in einen leeren, ziemlich gewöhnlich anmutenden Öltank freigibt.

"Wir füllen Mineralöl hinein", erläutert Conrad voller Begeisterung, als handele es sich dabei um eine völlig überraschende Form der Nutzung für einen Tank. Eher Nebensache ist für die Physikerin, was sie als nächstes vorhat: "Dann beschießen wir das Ganze mit energiereichen Neutrinos."

Conrad hofft, feststellen zu können, ob einige der Teilchen auf dem Weg zwischen Beschleuniger und Öltank verloren gehen. "Das wäre der Beweis, dass sie sich in sterile Neutrinos verwandelt haben", erklärt sie.

Gelänge ihr das, so wäre dies in der Tat eine Sensation. Denn sterile Neutrinos sind - falls es sie überhaupt gibt - Bewohner einer Schattenwelt, die, praktisch ohne je in Wechselwirkung mit der sichtbaren Welt zu treten, neben dieser her existiert.

Bisher gibt es die Phantomschwester der Neutrinos nur in den Köpfen von phantasiereichen Physikern. Aber schon dass sie dort eine äußerst lebhaft existenz führt, zeigt, wie lebendig das Forschungsfeld der Neutrinos ist. JOHANN GROLLE