

Ausgabe: 5/2010, Seite 64 - Erde & Weltall

ZEITREISEN DURCH HÖHERE DIMENSIONEN

Eine neue Sorte von Elementarteilchen steht im Verdacht, überlichtschnell in die Vergangenheit zu flitzen.

von Rüdiger Vaas

„No Strings Attached“ ist zuweilen auf flippigen T-Shirts zu lesen. Das kann Verschiedenes bedeuten: Werbung für eine A-cappella-Band aus Hamburg (die Pop-Musik ohne Saiteninstrumente spielt), Reminiszenz an ein Festival für außergewöhnliches Theater in Mainz – oder einfach das englische Idiom für „bedingungslos“, „ohne Haken und Ösen“, „ohne weitere Verpflichtungen“. Langjährige Leser von bild der wissenschaft denken trotz der Verneinung natürlich sofort an die Stringtheorie – den heißesten Kandidaten für eine „Weltformel“, die Quantentheorie und Relativitätstheorie miteinander verbindet und die Naturkräfte einheitlich beschreibt. Mithilfe der Stringtheorie haben Physiker nun gezeigt, wie bestimmte Elementarteilchen auf Zeitreise gehen könnten. Das hätte nicht nur wahrhaft mehrdimensionale Konsequenzen für unser Weltbild. Es würde auch seltsame Messungen von Neutrino-Experimenten erklären, vielleicht ein kosmologisches Rätsel lösen und eine Vermutung von Stephen Hawking widerlegen.

Um das alles zu verstehen, muss man freilich etwas ausholen – sogar bis in die fünfte und sechste Dimension. Zu schwierig? Nun, die Stringtheorie postuliert sogar die Existenz von sechs oder sieben zusätzlichen Raumdimensionen. Doch diese sind alle (oder fast alle) extrem klein und daher nicht wahrnehmbar. Sie sind gleichsam aufgerollt – ähnlich wie ein Gartenschlauch aus großer Entfernung als eindimensionale Linie erscheinen mag, obwohl er in Wirklichkeit eine Dicke hat. Die zusätzlichen String-Dimensionen sind freilich vielleicht nur 10–32 Zentimetern groß. Das ist auch die Länge der schwingenden Strings („Saiten“), aus deren Anregungszuständen der Stringtheorie zufolge alle Elementarteilchen entstehen. Die Welt wäre gleichsam das Konzert dieser submikroskopischen Winzlinge.

WIE FÄDEN AUF PAPIER

In bestimmten Szenarien der Stringtheorie gibt es neben den Strings auch „D-Branen“, die zwei- oder mehrdimensional sind. Darüber wurde bereits in den 1970er-Jahren nachgedacht – unter anderem von Michael Green, der seit November 2009 Stephen Hawkings Lehrstuhl-Nachfolger in Cambridge ist. Das „D“ ehrt den deutschen Mathematiker Johann Peter Gustav Lejeune Dirichlet (1805 bis 1859). An diesen D-Branen setzen die offenen Strings an – ähnlich wie die beiden Enden eines Fadens, die auf ein Stück Papier geklebt wurden (siehe Grafik „Strings und Branen“). Denkbar ist, dass D-Branen multidimensionale Materieformen bilden oder Schwarze Löcher. Vielleicht ist sogar unser gesamtes Universum eine riesige D-Bran in einem höherdimensionalen Raum. Alles, was wir kennen, bestünde dann aus schwingenden Strings, die an dieser Bran haften.

Alles? Vielleicht nicht ganz! Denn geschlossene Strings, die ringförmig sind und daher keine Enden haben, wären nicht auf die Bran beschränkt. Sie könnten in die zusätzlichen Raum-Dimensionen entweichen, den „Bulk“ (englisch für „Hauptteil“). Dies wäre bei den Gravitonen, den Überträgerpartikeln der Schwerkraft, der Fall. Das meinen jedenfalls viele Stringtheoretiker, die Gravitonen als geschlossene Strings auffassen.

Falls nun das Ausmaß mindestens einer dieser Extradimensionen relativ groß wäre – ein Tausendstel Millimeter stünde mit den bisherigen Messungen der Gravitationskonstante in Einklang –, dann hätte diese Hypothese einen großen Vorteil: Sie könnte erklären, warum die Schwerkraft so viel schwächer ist – 1032-mal schwächer! – als die zweitschwächste Kraft in der Natur, die Schwache Wechselwirkung, die unter anderem für den radioaktiven Beta-Zerfall verantwortlich ist. Im Gegensatz zu allen anderen Kräften, die auf die Bran beschränkt sind, wirkt die Gravitation nämlich in alle Dimensionen. Denn die Gravitonen entfleuchen von der Bran – im Gegensatz zu den Überträgerpartikeln der anderen Kräfte –, und das „verdünnt“ die Schwerkraft entsprechend.

Wenn eine fesche Frau also „No Strings Attached“ auf ihrem T-Shirt trägt, wird sie sich die Frage stellen lassen müssen, ob sie denn keine D-Bran sei – und ob wenigstens gravitative Interaktionen mit ihr erlaubt seien. Dieser Artikel handelt also nicht nur von exotischen Themen der Theoretischen Physik, sondern gibt auch nützliche Tipps fürs Anbandeln bei der nächsten Party. Doch Vorsicht: Vielleicht kennt sich das Party-Girl bestens mit Strings aus, also mit der Stringtheorie, und kontert schlagfertig, dass sie doch keine sterilen Neutrinos an ihre Wäsche lasse. Tatsächlich werden diese zurückhaltenden Geschwister der normalen Neutrinos oft als geschlossene Strings beschrieben, genau wie die Gravitonen. Sie wären dann nicht auf die D-Bran beschränkt, sondern wie die Gravitonen in der Lage, in den extradimensionalen Bulk zu entschwinden – was vermutlich auch die geistig hochdimensionale Frau tut, wenn sie sich auf der Party intellektuell unterversorgt vorfindet.

STERILE SELTSAMKEITEN

Ob es sterile Neutrinos gibt, ist unklar. Einige Elementarteilchen-Modelle zur Vereinigung der Naturkräfte sagen ihre Existenz voraus. Doch ein experimenteller Nachweis ist extrem schwierig, weil sterile Neutrinos nicht einmal der Schwachen Wechselwirkung unterworfen sind wie die normalen Neutrinos – gerade deshalb heißen sie „steril“. Sie unterliegen nur der Gravitation und vielleicht exotischen Austauschprozessen mit sogenannten schweren Higgs-Teilchen. Doch sterile Neutrinos könnten durchaus eine schwergewichtige Rolle im Universum spielen: Sie sind ein guter Kandidat zur Erklärung der ominösen Dunklen Materie. Diese macht sich über ihre Schwerkraft bemerkbar und regiert die Bewegung von Galaxien und Galaxienhaufen. Aber sie leuchtet nicht, weil sie nicht elektromagnetisch in Erscheinung tritt.

Trotzdem müssten sich sterile Neutrinos anderweitig bemerkbar machen: Da gewöhnliche Neutrinos – es gibt drei Typen von ihnen – sich ineinander umwandeln, wie erst seit wenigen Jahren bekannt ist, könnten sie sich sporadisch auch in sterile Neutrinos umwandeln. Auch diese würden wieder zu normalen Neutrinos, die dann scheinbar aus dem Nichts auftauchen. Tatsächlich wurde bei zwei Experimenten zum Nachweis von Neutrino-Umwandlungen Irritierendes gemessen. Das eine Experiment, LSND (Liquid Scintillator Neutrino Detector), lief bereits in den 1990er-Jahren am Los Alamos National Laboratory. Das andere, MiniBooNE (BooNE steht für Booster Neutrino Experiment), folgte ab 2002 am Fermilab bei Chicago. Bei beiden hielten jeweils über 1200 empfindliche Photomultiplier-Detektoren in großen Mineralöl-Tanks Ausschau nach schwachen sporadischen Lichtblitzen, die es auch tatsächlich gab. Sie wurden durch Neutrinos erzeugt, die von außen in die Tanks eindrangen. Bei beiden Experimenten werden die Resultate nach wie vor kontrovers diskutiert. Sie sind widersprüchlich und erfordern noch mehr und noch genauere Daten. Denn sie passen nicht zu den Voraussagen des Standardmodells der Elementarteilchen, könnten aber unter bestimmten Umständen mit sterilen Neutrinos erklärt werden.

Einen besonderen Aspekt steuerte Heinrich Päs bei. Der studierte Physiker und passionierte Partygänger arbeitet nach Aufhalten unter anderem in Spanien, Italien, den USA und auf Hawaii jetzt als Physik-Professor an der Technischen Universität Dortmund. Zusammen mit drei Kollegen zeigte er, wie sterile Neutrinos die Lichtgeschwindigkeit überlisten könnten. Dabei kommen die D-Branen der Stringtheorie wieder mit ins Spiel: Wenn nämlich der Bulk mindestens eine

zusätzliche kleine Raum-Dimension hat und in sich gekrümmt beziehungsweise gestaucht ist, würden sich die sterilen Neutrinos darin überlichtschnell fortbewegen – relativ zu den Verhältnissen auf der Bran. (Noch ein Gedanke für die Diskussion mit dem Party-Girl: Vielleicht sind die normalen Neutrinos deshalb so leicht, weil ihre Hauptmasse im Bulk steckt – oder mit Heinrich Päs präziser ausgedrückt: „Die Masse ist als Übergang von links- nach rechtshändigen Teilchen unterdrückt, weil die Überlappung der Bulk- und der Bran-Wellenfunktionen klein ist.“ Alles klar?)

Extradimensionale Neutrinos sind eine aufregende Hypothese, da gemäß der Speziellen Relativitätstheorie überlichtschnelle Bewegungen auch solche zurück in die Vergangenheit sein können. Das wäre etwa bei Tachyonen der Fall, wenn es sie denn gibt (bild der wissenschaft 2/2003, „Tachyonen – schneller als das Licht“). Bei überlichtschnellen sterilen Neutrinos wäre das aber nicht automatisch so. Dafür bedarf es einer zweiten gestauchten „großen“ Extradimension für die Rückreise. Sonst gelangen die Teilchen zwar in die relative Vergangenheit, nicht aber an ihren Ausgangsort zurück.

Zeit-Zickzack nach dem Urknall

Wären mit sterilen Neutrinos Botschaften in frühere Zeiten möglich, dann gäbe es überall im Universum „Zeitmaschinen“ – genauer: überall in dessen höherdimensionaler Nachbarschaft. Einige Kosmologen denken sogar darüber nach, ob zeitreisende Neutrinos eine Alternative zum Szenario der Kosmischen Inflation sein könnten. Damit erklären viele Forscher die gleichförmige Temperatur der Kosmischen Hintergrundstrahlung. Dieses Restleuchten vom Feuerballstadium ist homogen mit Abweichungen von lediglich 1 zu 100 000 (siehe Beitrag „Der Dunkle Fluss“ in diesem Heft). Falls im frühen Universum Neutrinos zickzack durch die Zeit schwadronierten, könnten sie diese Homogenisierung bewirkt haben. Die Annahme einer inflationären Ausdehnung des sehr frühen Universums, die bei manchen Kosmologen auf Skepsis stößt, wäre dann unnötig.

„Diese Ideen sind wundervoll und aufregend“, sagt Bill Louis vom Los Alamos National Laboratory in New Mexico, der Sprecher der MiniBooNE-Forschergruppe. „Die Frage ist nur, ob sie auch wahr sind.“ Das lässt sich nicht am Schreibtisch entscheiden, denn niemand kann mit Berechnungen allein beweisen, dass es sterile Neutrinos und stabile Bulk-Räume gibt. Die Hypothese ist aber durchaus überprüfbar. Wenn beispielsweise ein asymmetrisches Verhalten von Neutrinos und ihren Anti-materie-Partnern, den Antineutrinos, gemessen würde, dann spräche das gegen die Bulk-Hypothese, da sterile Neutrinos keinen Unterschied machen. Genauere Messungen sind also unumgänglich. Am Fermilab wird daher bereits der MiniBooNE-Nachfolger konzipiert. Das 15 Millionen Dollar teure MicroBooNE-Projekt soll einen Tank mit über 100 Tonnen flüssigem Argon haben, in dem Neutrinos Ionisierungen auslösen können.

Im Szenario von Heinrich Päs bauen also mehrere Hypothesen aufeinander auf, die alle noch nicht bestätigt sind und immer exotischer werden. Es gibt:

- sterile Neutrinos,
- mindestens eine „große“ Extradimension, in die sterile Neutrinos entweichen können (das würde erklären, warum die normalen Neutrinos so geringe Massen haben),
- eine asymmetrische Stauchung oder Krümmung der Extradimension (das würde den sterilen Neutrinos eine effektiv überlichtschnelle „Abkürzung“ ermöglichen und die LSND- sowie vielleicht auch die MiniBooNE-Messungen erklären),
- noch mindestens eine zweite gestauchte „große“ Extradimension (das würde Neutrino-Zeitreisen in die Vergangenheit erlauben und vielleicht zudem die Gleichförmigkeit der Kosmischen Hintergrundstrahlung erklären).

Zeitordnung in Gefahr

Wenn sich die Neutrino-Zeitschleifen bestätigen sollten, hätte dies weitreichende Konsequenzen für unser Naturverständnis. Der berühmte Physiker Stephen Hawking hatte 1992 eine „Vermutung zum Schutz der Zeitordnung“ formuliert, derzufolge die Naturgesetze keine Zeitschleifen erlauben: Zeitmaschinen könnten nicht gebaut werden oder von selbst entstehen – und wenn doch, würden

Quantengravitationseffekte sie sofort wieder zerstören. Seither haben Physiker zwar einige Beispiele berechnet, die die Vermutung bestätigen, aber ein Nachweis, dass sie allgemeingültig ist, steht noch aus. Und so sind im Rahmen der Allgemeinen Relativitätstheorie zahlreiche „Zeitmaschinen“ in der Diskussion: vor allem Wurm Löcher, aber auch Kosmische Strings, nackte Singularitäten, Ringlaser und rotierende Masse-Konzentrationen (bild der wissenschaft 1/2006, „Zeitreisen – wenn gestern morgen ist“). Sie setzen freilich exotische Raumzeiten oder Randbedingungen wie negative Energien voraus und scheinen nicht gerade für den Alltagsgebrauch geeignet.

Anders wäre das bei extradimensionalen Neutrino-Zeitschleifen: Sie würden Hawkings Vermutung auf eine harte Probe stellen und wären im Prinzip an jedem Ort zugänglich. „Während wir nicht wissen, wo man nach einem Wurmloch suchen sollte, wären die Extradimensionen überall“, sagt Heinrich Päs. „Auch wären negative Energien nur in einer sehr milden Form und nur im Bulk nötig.“ Wenn er recht hat, braucht man nicht Wurm Löcher oder extreme Materie-Konfigurationen zu bemühen, sondern könnte Zeitschleifen hier auf der Erde studieren.

Ein Experiment, mit dem solche Forschungen möglich wären, hat er sich bereits ausgedacht: Man schicke normale Neutrinos durch die Erde, etwa vom Südpol in einen Detektor am Äquator. Wenn sie sich sporadisch in sterile Neutrinos verwandeln und wieder zurück, dann wahrscheinlich am ehesten bei Dichteunterschieden wie zwischen dem Erdinneren und der Luft. Falls man am Äquator dann gewöhnliche Neutrinos messen würde, noch bevor sie überhaupt losgeschickt wurden – die Erdrotation würde bei der Zeitbestimmung mitwirken –, wäre das ein Indiz dafür, dass sie als sterile Zwischenform eine sechsdimensionale Abkürzung genommen haben, die als Zeitschleife wirkte. Ein solches Experiment könnte in einigen Jahrzehnten realisierbar sein. Bis dahin werden Anlagen wie MicroBooNE Pionierarbeit leisten.

BOTSCHAFTEN AUS DER ZUKUNFT?

Wer weiß – vielleicht sind die Ergebnisse dieser Experimente dank kapriziöser Neutrino-Botschaften aus der Zukunft ja schon bekannt – und „No strings attached“ lautet das geheime Erkennungsmotto der Wissenden. Das würde auch erklären, weshalb Heinrich Päs' Forschungen bereits in Science-Fiction-Romanen auftauchen: in „The Accidental Time Machine“ von Joe Haldeman sowie in „Die Würfel Gottes“ von Mark Alpert. Und warum ganz oben auf Päs' Homepage ein Zitat des amerikanischen Schriftstellers Jack Kerouac steht: „We had finally found the magic land at the end of the road.“ Ist dies der Ort, wo unsere Bran-Welt aufhört, wo keine Strings mehr anhaften, und wo die Knechtschaft der Zeit ein Ende hat? ■

STRINGS UND BRANEN

Verwegene Hypothese: Offene „Strings“ sollen mit ihren Enden an „Branen“ (hier eine zweidimensionale Bran) haften bleiben. Geschlossene Strings (wie sterile Neutrinos und Gravitonen) können sich dagegen lösen und in den höherdimensionalen „Bulk“ in der Umgebung entweichen.

ZEITSPRÜNGE ÜBER EXTRADIMENSIONEN

Die vertraute Raumzeit könnte der Stringtheorie zufolge eine vierdimensionale Bran sein, die in einen höherdimensionalen Raum eingebettet ist. In diesen Bulk könnten sterile Neutrinos (falls es sie gibt) entweichen. Ist der Bulk innerlich gestaucht und sechsdimensional, also mit zwei Raumdimensionen mehr ausgestattet als die uns vertraute Raumzeit, dann könnten sich die sterilen Neutrinos darin sogar überlichtschnell – relativ zur Bran – bewegen. Wenn sich nun normale Neutrinos in sterile umwandeln und später wieder zurück, hätte das unglaubliche Folgen: Man könnte sie nachweisen, bevor sie überhaupt gestartet

sind. Sie wären in ihre eigene Vergangenheit gesprungen.

MEHR ZUM THEMA

Lesen

bdw-Redakteur Rüdiger Vaas beschreibt die Science und Fiction von Zeitreisen, Überlichtgeschwindigkeit und anderen Dimensionen ausführlich in seinem aktuellen Buch:

TUNNEL DURCH RAUM UND ZEIT Kosmos-Verlag, Neuausgabe 2010, €19,95

Internet

Homepage von Heinrich Päs: www.physik.uni-dortmund.de/~paes/