

Die Stringtheorie unter Druck!

Wolfgang Domberger

Im Frühjahr stieß ich beim Durchblättern diverser Tageszeitungen auf einen anregenden Artikel von Thomas Bührke mit dem Titel „Strings im Stress“. Darin geht es um die Frage, ob und wann die Stringtheorie endlich so weit und in der Lage ist, konkrete Vorhersagen zu liefern, die man überprüfen kann, entweder auf experimentellem Wege im Labor oder durch die Analyse und Interpretation astrophysikalischer Daten. Nach meinem Eindruck ist die weltweite Gemeinde der Astrophysiker ziemlich gespalten. Die einen sind begeistert von dieser Theorie, andere stehen ihr skeptisch bis ablehnend gegenüber. Die einen schwärmen von ihrer Eleganz und der Schönheit ihrer mathematischen Struktur und halten sie für die aussichtsreichste Kandidatin, die Quantenmechanik mit der Allgemeinen Relativitätstheorie zu einer Theorie der Quantengravitation zu vereinigen. Die anderen hingegen kritisieren die hohe Komplexität der derzeitigen Theorie und wieder andere halten sie sogar für mathematische Spielerei auf höchstem Niveau mit wenig oder gar keinem Bezug zur Realität.

Zur Stringtheorie

Kurz gesagt geht die Stringtheorie - oder besser die Superstringtheorie - davon aus, dass die Natur in ihrem tiefsten Innern aus extrem dünnen ein-dimensionalen Fäden oder Saiten voller Energie aufgebaut ist, zu Schleifen geformt, ähnlich etwa einem Gummiband. Diese schleifenförmigen Saiten heißen Strings. Ein String führt extrem schnelle Schwingungen, Oszillationen oder Vibrationen aus und zwar mit genau definierter Frequenz und ganz charakteristischem Schwingungsmuster: der String befindet sich in einem Eigenzustand. Je nach dem, welcher Eigenzustand vorliegt, kann der entsprechend vibrierende String z. B. einem Quark, einem Elektron, einem Neutrino usw. zugeordnet werden. Zum Beispiel kann man mit Hilfe der Ruhemasse des Elektrons, der Lichtgeschwindigkeit und der Planckschen Konstante angeben, mit welcher Frequenz ein String, der einem Elektron entsprechen soll, schwingen muss, nämlich mit $1,24 \cdot 10^{20}$ Hz ! Dieser enorm hohe Wert zeigt, dass die Spannung dieser Strings unglaublich hoch sein muss.

Es ist ein angenehmer Zug der Stringtheorie, dass sie den Strings eine gewisse Ausdehnung zuweist - ganz im Gegensatz zu den Elementarteilchen in der Teilchenphysik des Standardmodells. Hier werden die Grundbausteine der Materie nämlich als punktförmige Teilchen, also als Teilchen ohne jegli-

che Ausdehnung, vorausgesetzt, woraus sich unangenehme mathematische Probleme ergeben, wie z. B. Divergenzen, Singularitäten etc. Andererseits erfordert die mathematische Formulierung der Superstringtheorie eine elfdimensionale Raumzeit, d. h. zehn Raumdimensionen und eine Zeitdimension.

Da wir jedoch in einer Welt leben, die nur drei Raumdimensionen aufweist, fragt man sich doch: „Wo sind sie denn hin, die anderen sieben Raumdimensionen? Gibt es sie oder gibt es sie nicht? Wenn es sie gibt, könnte man sie dann auch nachweisen?“

Extradimensionen

In diesem Zusammenhang bringen die Stringphysiker gern das folgende Beispiel: Betrachtet man aus der Ferne einen Gartenschlauch, den jemand schnurgerade auf den Boden gelegt hat, würde man doch sagen, der Schlauch ist eine Linie und seine einzige Raumdimension ist die Länge. Tritt man aber näher heran, sind noch zwei weitere Dimensionen zu erkennen, die Breite und die Höhe. Diese beiden Extradimensionen sind auf kleiner Skala „aufgerollt“ und bleiben so dem weit entfernten Beobachter verborgen. Ganz ähnlich wird in der Stringtheorie argumentiert: Von den zehn mathematisch verlangten Raumdimensionen hätten nur drei makroskopische Ausmaße erreicht und seien deswegen von uns wahrnehmbar; die übrigen sieben dagegen seien „ver-

borgen“ und auf extrem kleinen Skalen „aufgerollt“.

Es gibt die Vorstellung, dass ganz zu Anfang, als das Universum im Urknall entstand und zu expandieren begann, zunächst auch alle Raumdimensionen expandierten. Dann aber, nach einer kurzen Zeit vergleichbar mit der Planck-Zeit (ca. 10^{-43} s), wurden einige Dimensionen von einer unbekannt, hypothetischen Kraft eingefangen, die ihre weitere Expansion verhinderte und sie stattdessen auf einer winzigen Skala von der Größenordnung einer Planck-Länge (ca. 10^{-33} cm) zusammenhielt.

Dimensionen und Naturgesetze
Der große Philosoph Immanuel Kant (1724 - 1804) war ein begeisterter Anhänger und Verfechter der Mechanik und der Gravitationstheorie des englischen Naturforschers Isaac Newton (1643 - 1727). Aufgrund der speziellen Form des Newtonschen Gravitationsgesetzes, wonach die Schwerkraft zwischen zwei Massen umgekehrt proportional zum Quadrat ihres Abstands abnimmt, stellte sich Kant als erster die Frage: „Warum hat der Raum drei Dimensionen?“ Er erkannte, dass die Anzahl der Raumdimensionen und die Gestalt der Naturgesetze eng miteinander verknüpft sind. Hätten wir es beispielsweise nicht mit drei, sondern mit vier Raumdimensionen zu tun, nähme die Gravitationskraft nicht proportional zu $1/r^2$ ab, sondern

zu $1/r^3$. Und allgemein würde sich in einem n-dimensionalen Raum die Gravitationskraft proportional zu $1/r^{(n-1)}$ verringern. Das Newtonsche Gesetz mit $1/r^2$ gilt in dieser Form nur, weil unser Raum dreidimensional ist.

Im 19. Jahrhundert entwickelte der Mathematiker Bernhard Riemann (1826 - 1866) eine mehrdimensionale nichteuklidische Geometrie, was die Beschreibung von Linien, Formen und Vorgängen auf gekrümmten Flächen und in gekrümmten Räumen ermöglichte. Albert Einstein (1879 - 1955) konnte darauf zurückgreifen.

Paul Ehrenfest (1880 - 1933), ein enger Freund Einsteins, stellte in Anlehnung an Kants Gedanken fest, dass die Bahnen von Planeten um einen Zentralstern nur dann stabil sind, wenn der Raum dreidimensional ist. Auch die Atome sind nur in einem dreidimensionalen Raum stabil, da die elektromagnetische Kraft zwischen den Elektronen der Hülle und dem Kern eines Atoms ebenfalls eine $1/r^2$ -Abhängigkeit aufweist. Weiterhin zeigte Ehrenfest, dass sich wellenförmige Vorgänge, wie z. B. eine elektromagnetische Welle, nur in einem dreidimensionalen Raum störungsfrei ausbreiten können. Ansonsten wird die Welle deformiert und verschiedene Teile der Welle breiten sich mit verschiedenen Geschwindigkeiten aus. Es scheint also, dass eine Welt mit drei Raumdimensionen etwas Besonderes darstellt.

Dennoch ist der Stein des Nachdenkens über die Anzahl der Raumdimensionen ins Rollen gekommen. Der Physiker, Mathematiker und vielseitige Gelehrte Theodor Kaluza (1885 - 1954) fand 1919 einen eleganten und verheißungsvollen Weg, die Gravitationstheorie Einsteins und Maxwells Theorie des Elektromagnetismus zu vereinigen, indem er die Existenz einer vierten Raumdimension annahm. Einstein war begeistert.

Dass es sich bei der fünften Dimension Kaluzas um mehr handeln könnte als nur ein mathematischer Trick, zeigte 1926 ein Schüler Kaluzas, der schwedische Mathematiker und Physiker Oskar Klein (1894 - 1977). Er wies nach, dass die zusätzliche vierte Raumdimension nicht bemerkt wird, weil sie äußerst klein und dazu noch eingerollt ist und zwar auf einen Umfang von etwa 10^{-30} cm.

Zwar geriet die Kaluza - Klein - Theorie nach anfänglicher Euphorie wieder in Vergessenheit, weil es nicht gelang, die Schwache und die Starke Kernkraft in die Theorie einzufügen. Doch zusammen mit der Idee von den Strings als auf engstem Raum heftig schwingende extrem dünne Schleifen können einige Elemente der Kaluza - Klein - Theorie als Auslöser für den Anfang der Stringtheorie in den 1980er Jahren gelten. So wäre das Auffinden von Extradimensionen über den dreidimensionalen Raum

hinaus auch ein später Triumph des genialen Theodor Kaluza.

Suche nach Extradimensionen

Dass die von der Theorie geforderten sieben zusätzlichen Raumdimensionen im Vergleich zu unseren gewohnten drei makroskopischen Raumdimensionen sehr klein und unveränderlich sein müssen, ist zu erwarten. Ansonsten würden ihre Effekte ja bis in unsere wahrnehmbare Welt hineinreichen. Um so erstaunlicher ist es für mich, dass die Stringtheoretiker mathematische Lösungen gefunden haben, wonach die verborgenen Extradimensionen unterschiedlich groß sind und davon einige sogar bis in den Submillimeter- bis Millimeterbereich vordringen können. Bei diesen im Vergleich zur Planck-Länge riesigen Ausmaßen wären diese großen Extradimensionen im Experiment nachweisbar. Man könnte z. B. die Gravitation zwischen zwei Massen bei geringen Abständen r messen und sie mit Newtons $1/r^2$ -Gesetz vergleichen. Würde man Abweichungen finden in der Weise, dass die Kraft stärker mit dem Abstand r abnimmt, nämlich mit $1/r^k$, wobei $k > 2$ ist, könnte man das als einen Hinweis auf die Existenz von Extradimensionen werten.

Zur Zeit führt Eric Adelberger von der Washington Universität in Seattle mit seiner Gruppe ganz besonders präzise Messungen zu dieser Fragestellung durch. Dazu stellten sie zwei kreis-

runde, etwa CD - große Scheiben aus Molybdän her. In beiden werden, auf einem konzentrischen Kreis angeordnet, eine bestimmte Anzahl (z. B. 16 oder 42) äquidistanter Löcher gebohrt. Eine solche durchlöchernte Scheibe erinnert an eine Wählscheibe alter, nostalgischer Telefone. In einer präzisionsmechanischen Vakuumanlage wird eine Scheibe waagrecht auf einem Rotator befestigt und um eine senkrechte Achse in genau definierte Rotation versetzt. Die zweite Scheibe wird an einem dünnen Torsionsfaden exakt parallel über die erste gehängt. Dreht sich nun die untere Scheibe, wirkt die Gravitationskraft genau dann optimal, wenn zwei nicht gelochte Bereiche der Scheiben genau übereinander liegen. Im Laufe des Experiments beginnt die obere Scheibe ein klein wenig in dieselbe Richtung zu drehen wie die untere. Aus dieser Drehung - sie wird mit einem Laser sehr genau gemessen - wird die Gravitationskraft berechnet. Nach jeder Messung wird der Abstand r zwischen den Scheiben von 10 Millimeter schrittweise bis hinunter auf 55 Mikrometer verkleinert. Nach Berücksichtigung aller denkbaren Einflüsse, die zu Fehlern führen könnten, war absolut keine Abweichung vom Newtonschen Gravitationsgesetz festzustellen! Bis hinunter zu 55 Mikrometern ist unsere Welt dreidimensional und die größte der aufgerollten Zusatzdimensionen muss kleiner sein als 55 Mikrometer.

„Wenn das Newtonsche Gesetz bei zehn oder einem Mikrometer Abstand immer noch gilt, wird es für die Stringtheorie sehr eng“, sagte Hermann Nicolai, Direktor am Albert-Einstein-Institut der Max-Planck-Gesellschaft in Potsdam auf der Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft in Heidelberg, wo Eric Adelberger zu Gast war und seine Resultate vortrug.

Literaturhinweise:

Thomas Bürhke: *Strings im Stress*, Süddeutsche Zeitung, 15.3.07

John D. Barrow: *Der Ursprung des Universums*, Goldmann, 2000

John D. Barrow: *Das 1x1 des Universums*, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 2004

Brian Greene: *Das elegante Universum*, Goldmann, 2006

Daniela Wünsch: *Der Erfinder der fünften Dimension - Zum 50. Todestag von Theodor Kaluza*, Neue Züricher Zeitung, 21.1.04

Klaus Pilberg: *Über die „Allgemeine Naturgeschichte und die Theorie des Himmels“ von 1755 - Zum 200. Todestag Immanuel Kants*, Andromeda Nr.1/2004

Eric Adelberger et al. und einige Originalartikel im Internet unter: www.npl.washington.edu/eotwash/

Bildnachweise:

S. 6	Jürgen	JS
S. 7	Bernhard, Ewald	JS
S. 9	Dr. Voss	ES
S. 10	Dr. Voss	ES
S. 13	Dr. Voss	ES
S. 14	Gerd Neumann	JS
S. 15	Gerd Neumann	JS
S. 16	Kinder + Dobson + Michael	KK,
S. 17	Christiane im Museum	JS
	Christiane vor dem Museum	KK
	Ehepaar Noeh	JS
S. 18	Daniel Kuna u. Schwester	KK
S. 20	Bild Herkules	WP
S. 21	M13	GN
S. 24	Aufstellung der Sternfreunde	KK
	Auf der Brücke	KK
	Ilona, Klaus, Jürgen	MD
S. 25	Unheimliche Begegnung	WS
	Die Würstchen kommen	KK
	Beim Essen	MD
S. 26	Bildschirmfoto I	MD
S. 27	Bildschirmfotos II, III, IV	MD
S. 28	Bildschirmfoto V	MD

MD - Michael Dütting, ES - Ewald Segna

KK - Klaus Kumbink, GN - Gerd Neumann,

JS - Jürgen Stockel, WP - Wikipedia,

WS - Wolf Steinle

Kollage Titelseite: Folgende Objekte wurden verwendet:

M1, M13, M27, M33, M42, M65, M66, M82, M101, M106

alle Bilder: Gerd Neumann

Kollage Rückseite: Folgende Objekte wurden verwendet:

M1, M3, M4, M11, M27, M33, M35, M36, M37, M42, M43, M45, M51, M57, M64, M67, M81, M82, M86, M87, M95, M97, M101

von Michael Dütting

Ferner:

M63, M66, M87, M104, M108

von: Andreas Göttker, Andreas Pietsch, David Troyer

M13, M65

von Gerd Neumann