

E8-Struktur - Erster Beweis für die Weltformel?

Von FOCUS-Redakteur Michael Odenwald

Forscher fanden eine bislang rein mathematische Struktur bei einem Experiment unerwartet in der realen Welt. Vielleicht weist ihnen diese Entdeckung den Weg zu einer „Weltformel“.

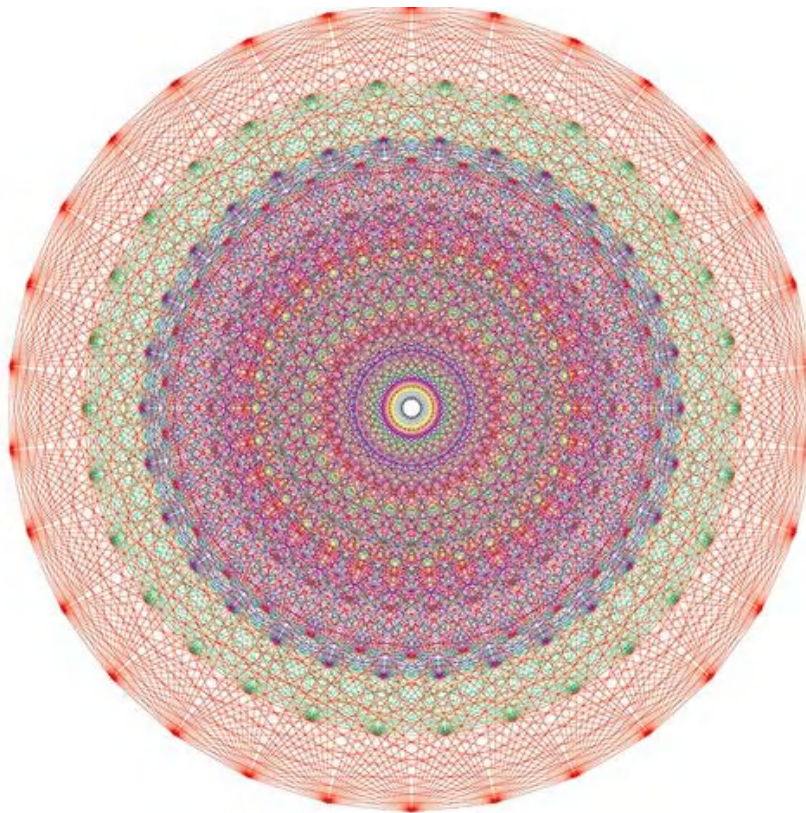
„Dass ich erkenne, was die Welt im Innersten zusammenhält“ – für dieses Ziel ließ schon Faust nichts unversucht, ebenso wie die vielen Naturwissenschaftler, die nach Erkenntnissen über Ursprung und Entwicklung des Universums suchen.

Jetzt gelang ihnen möglicherweise ein großer Sprung nach vorn. In einem Experiment, mit dem Physiker der Universität Oxford Änderungen von Quantenzuständen von Materie in Magnetfeldern untersuchten, tauchten unerwartet Quantenmuster auf, die einer schon länger bekannten mathematischen Struktur entsprechen.

Auf der Basis dieser sogenannten E8-Struktur hatten andere Forscher zuvor eine „Theorie von allem“ entwickelt, die alle Vorgänge und Zustände im Universum beschreibt, sowohl im allerkleinsten Bereich der Quanten als auch auf der Ebene der größten kosmischen Strukturen, den Galaxienhaufen und -superhaufen. Bis dahin galt dieses Formelwerk jedoch – ebenso wie E8 selbst – als rein mathematisches Konstrukt ohne Bezug zur realen Welt. Dass sich die Struktur nun in real existierender Materie zeigte, lässt die beteiligten Physiker hoffen, mit ihrer Weltformel auf der richtigen Spur zu sein.

Die Struktur zählt zu den sogenannten Lie-Gruppen, benannt nach dem norwegischen Mathematiker Sophus Lie, der im 19. Jahrhundert die Regeln der Symmetrieerzeugung studierte. Die einfacheren Gruppen beschreiben Objekte wie Fußbälle, Zylinder oder Kegel, die rotationssymmetrisch sind, also auch nach einer Drehung den gleichen Anblick bieten. E8 dagegen ist viel komplexer. Die Struktur umfasst ein Gebilde mit 248 Dimensionen. Damit sind aber nicht Raumdimensionen gemeint, sondern Freiheitsgrade. So bezeichnen Mathematiker die Variablen eines Systems. Ändert sich ihre Größe, nimmt auch die gesamte Struktur einen anderen Wert an.

Ein Punkt im Raum etwa hat drei Freiheitsgrade, nämlich die Koordinaten der drei Raumachsen, entlang derer er sich bewegen kann. Bei einem Ball dagegen sind es sechs, denn es kommt die Rotation um jede der Achsen hinzu.



E8 umfasst ein Gebilde mit 248 Dimensionen

Die Struktur zählt zu den sogenannten Lie-Gruppen, benannt nach dem norwegischen Mathematiker Sophus Lie, der im 19. Jahrhundert die Regeln der Symmetrienerzeugung studierte. Die einfacheren Gruppen beschreiben Objekte wie Fußbälle, Zylinder oder Kegel, die rotationssymmetrisch sind, also auch nach einer Drehung den gleichen Anblick bieten. E8 dagegen ist viel komplexer. Die Struktur umfasst ein Gebilde mit 248 Dimensionen. Damit sind aber nicht Raumdimensionen gemeint, sondern Freiheitsgrade. So bezeichnen Mathematiker die Variablen eines Systems. Ändert sich ihre Größe, nimmt auch die gesamte Struktur einen anderen Wert an. Ein Punkt im Raum etwa hat drei Freiheitsgrade, nämlich die Koordinaten der drei Raumachsen, entlang derer er sich bewegen kann. Bei einem Ball dagegen sind es sechs, denn es kommt die Rotation um jede der Achsen hinzu.

Um G8 zu visualisieren, müssen die Forscher eine zweidimensionale Projektion der Struktur erzeugen, gewissermaßen ihren Schatten. Dabei entsteht eine komplexe Figur von höchster Symmetrie. Sie enthält 248 Punkte sowie noch acht Dimensionen. Die Punkte lassen sich auf mannigfache Weise miteinander verbinden. Wie viele solcher Verknüpfungen möglich sind, ermittelte in jahrelanger Arbeit eine internationale Mathematikergruppe um den US-Zahlenkünstler Jeffrey Adams von der University of Maryland. Um das Endergebnis zu berechnen, benötigte ein Supercomputer 77 Stunden. Die Liste besteht aus einer Matrix mit über 205 Milliarden Einträgen. Sie umfasst 60 Gigabyte an Daten – mit der gleichen Menge würde ein MP3-Gerät 45 Tage lang Musik abspielen. Das für einen Ausdruck benötigte Papier hätte eine Fläche so groß wie Manhattan.

Jedes einzelne Verbindungsmuster repräsentiert eine bestimmte Struktur, die zur Beschreibung der Natur und ihrer physikalischen Komponenten dienen kann. Einfachere Lie-Gruppen geben die Bahn von Elektronen um den Atomkern wieder. Eine höhere Gruppe umfasst die Symmetrien von Quarks, jenen subatomaren Teilchen, aus denen Protonen und Neutronen bestehen. Diese wiederum bilden die Atomkerne. E8 aber als komplexeste Gruppe knüpft an die Stringtheorie (von englisch „string = Saite) an, die ein Kandidat für die lange gesuchte Theorie von allem ist. Dass ein solcher Zusammenhang besteht, bemerkten einige Physiker bereits in den 70er-Jahren, als sich in den String-Formeln Elemente der E8-Symmetrie fanden.

Ein Zoo aus 200 bekannten TeilchenDie Stringtheorie beschreibt Elementarteilchen als eindimensionale, schwingende Fäden. Je nach ihrem Schwingungszustand nehmen sie andere Eigenschaften an und bilden so Elektronen, Quarks, Lichtteilchen (Photonen) oder andere Partikel aus dem „Zoo“ der über 200 bekannten Teilchen. Die Strings können aber nur in einem höherdimensionalen Raum in der erforderlichen Weise schwingen. Je nach Modell könnten es zehn, elf oder gar 21 Raumdimensionen sein.

Damit geht das Formelwerk über das sogenannte Standardmodell der Materie hinaus. Dieses kann zwar die Teilchen und die zwischen ihnen herrschenden Kräfte beschreiben, doch es ist auf die starke Kraft (sie hält die Atomkerne zusammen), die schwache Kraft (sie löst radioaktive Zerfälle aus) und den Elektromagnetismus (er lässt den Strom in den Leitungen fließen und hält so unsere technische Zivilisation am Laufen) beschränkt.

Die Gravitation, die den großräumigen Aufbau des Universums orchestriert, bleibt ausgeschlossen. Die Stringtheorie schließt die Gravitation indes ein. Ihre Formeln würden Quanten- und Relativitätstheorie zur „Quantengravitation“ vereinen, die damit zur Weltformel würde.

Spontane Muster

Nur: Für die Stringtheorie fehlt bis heute jeder experimentelle Beweis. Da die Strings so winzig sind – ihre Größe liegt im Bereich der Planck-Länge von 10^{-33} Zentimeter –, werden zu ihrer Entdeckung viel höhere Energien benötigt als in den heutigen Teilchenbeschleunigern erreicht werden. Deshalb wurde noch keines dieser Urpartikel gefunden. Umso größer war die Überraschung, als in dem Experiment in Oxford die Spuren der E8-Symmetrie auftauchten. Durchgeführt wurde es von einer Gruppe um den Physiker Radu Coldea. Die Forscher kühlten Kristalle aus Kobalt und Niob auf eine Temperatur von 0,04 Grad Celsius über dem absoluten Nullpunkt ab. Dabei lagerten sich die Atome darin in langen, parallelen Ketten zusammen. Ihre Elektronen verhielten sich aufgrund einer Eigenschaft namens Spin – eine Art Drehimpuls der Teilchen – wie kleine Stabmagneten, die entweder nach oben oder unten zeigten.

Als die Forscher ein starkes Magnetfeld rechtwinklig zu den Spinachsen anlegten, geschah etwas Merkwürdiges: In den Elektronenspins in den Ketten bildeten sich spontan Muster. Bei einer Anordnung von drei Elektronen kann es beispielsweise die Konfigurationen auf-auf-ab, ab-auf-ab oder auf-ab-auf geben. Mit jeder dieser Spinanordnungen war eine bestimmte Energie verbunden. Die Verhältnisse dieser Energieniveaus ließen erkennen, dass sich die Spins gemäß der mathematischen Beziehungen der E8-Symmetrie geordnet hatten.

Der Mechanismus, der diesem Verhalten der Teilchen zugrunde liegt, ist noch ein Rätsel. Es zeigt aber, dass aus einfachen Anordnungen eine komplexe Symmetrie entstehen kann – ein weiterer Beweis für die enorme Fähigkeit zur Selbstorganisation in der Natur, die vielen anderen Phänomenen zugrunde liegt, einschließlich der Entstehung von Leben. Zwar blieben manche Forscher skeptisch. Dass diese Symmetrie auftaucht, sage zunächst noch nichts über die Stringtheorie aus, argumentieren sie, und bewiesen sei sie damit schon gar nicht. Die Struktur sei separat von anderen physikalischen Phänomenen zu sehen. Andererseits sei es bemerkenswert, dass E8 nicht nur als mathematisches Konstrukt, sondern auch in der realen Welt auftaucht.

Bestätigung für Aussteiger Garret Lisi Ein Physiker dürfte sich aber grandios bestätigt fühlen, nämlich der Kalifornier Garrett Lisi. Weil er sich keiner Denkschule anschließen wollte, verzichtete er auf eine Universitätslaufbahn und arbeitet als Privatgelehrter. Dabei verbringt er im Sommer viel Zeit beim Surfen auf Hawaii, im Winter gibt er in Kaliforniens Bergen Unterricht im Snowboard-Fahren. Lange Zeit war Physik für ihn eher ein Hobby. Das hinderte ihn nicht, eine eigene Theorie von allem zu entwickeln, die auf der E8-Struktur beruht. Dies trug Lisi manche Häme von Kollegen ein. „Die Stringtheoretiker arbeiten seit den 70er-Jahren mit E8“, schimpft einer von ihnen, ein Brite. „Wir brauchen keinen Surferschnösel, um zu wissen, was Sache ist.“

Lisi hatte zunächst einige Formeln für seine Theorie entworfen. Dann bemerkte er, dass manche davon mit der E8-Struktur übereinstimmten. „In diesem Moment explodierte mein Gehirn, als ich die Implikationen und die Schönheit dieses Dings sah“, erinnert er sich. „Ich dachte: Heiliger Bimbam, das ist es.“ Nun wollte er die Symmetrien der Lie-Gruppen für seine Arbeit nutzen. Zunächst wählte er ein einfaches sechseckiges Muster namens G2. Mit dessen Hilfe wollte er die Funktion der starken Kernkraft erklären. Sie beruht auf „Gluonen“ genannten Bindeteilchen. Diese halten die jeweils drei Quarks zusammen, aus denen Protonen und Neutronen bestehen.

Quarks haben eine besondere Eigenschaft, die sogenannte Farbladung, bezeichnet mit rot, grün oder blau. Sie beschreibt, wie die Quarks von den Gluonen beeinflusst werden. Nun ordnete Lisi den Punkten von G2 Quarks und Antiquarks jeder Farbe zu, ebenso mehrere Arten von Gluonen. Durch Rotation von G2 war zu erkennen, wie die Quarks durch die Wechselwirkung mit ihren Bindeteilchen die Farbe wechseln. Damit war die klassische Theorie des Standardmodells auf einfache geometrische Weise reproduziert.

„Ist das die Theorie von allem?“

Ähnliches gelang dem Kalifornier mit einer anderen Lie-Gruppe, genannt F4. Mit ihrer Hilfe konnte er die Wechselwirkung zwischen Neutrinos und Elektronen erklären, die bei der schwachen Kraft eine Rolle spielt. Diese wird vom Standardmodell bereits erfolgreich mit dem Elektromagnetismus zur „elektroschwachen Kraft“ vereint. Lisi aber fügte noch die Gravitation hinzu, indem er in das F4-Diagramm zwei weitere Bindeteilchen – „E-Phi“ und „Omega“ getauft – einfügte, als Überträger der Gravitationskraft. Auf diese Weise schuf er ein Abbild einer „gravi-elektroschwachen Kraft“.

Damit bestätigten sich Vermutungen aus anderen physikalischen Theorien, die besagen, dass die Gravitation nur eine Spielart des Elektromagnetismus ist.

Nun wandte sich Lisi der E8-Struktur zu. Er füllte ihre 248 Punkte mit mehreren Spielarten der bekannten Teilchen und Kräfte (die Partikel unterscheiden sich beispielsweise durch ihren Spin). Dabei blieben 20 Punkte unbesetzt, denen der Forscher hypothetische Teilchen zuordnete, darunter wieder Überträger der Gravitation. In einem Computermodell ließ er die Struktur nun rotieren (unter dem Titel „Is this the theory of everything?“ gibt es dazu ein anschauliches Video auf YouTube). Die nun entstehenden Muster zeigen die möglichen Wechselwirkungen von Teilchen und Kräften an.

Schönheit und Einfachheit In einigen Konfigurationen konnte er die früheren Verknüpfungen von Quarks und Gluonen sowie der elektromagnetischen und schwachen Kräfte mit der Gravitation reproduzieren. Bei fortgesetzter Rotation ergaben sich andere aufregende Muster. So lagerten sich Quarks in ihren jeweiligen Farbgruppen um die gravi-elektromagnetischen Teilchen.

Dabei ordneten sich die Quarks in Familien von je drei Partikeln mit ähnlichen Eigenschaften, jedoch unterschiedlichen Massen – ganz so, wie auch das Standardmodell diese Partikel beschreibt. Für die Physiker war es lange ein Rätsel, wieso sich Elementarteilchen in solchen Familien gruppieren.

In der E8-Struktur ergeben sich diese Zuordnungen nun von selbst. Seine Forschungsergebnisse veröffentlichte Lisi Ende 2007 unter dem Titel „Eine außergewöhnlich einfache Theorie von allem“.

Tatsächlich decken sich die von dem komplexen Beziehungsgeflecht in E8 aufgezeigten Wechselwirkungen zwischen Teilchen und Kräften – es sind mehrere Zehntausend – mit den Messergebnissen der Physiker in der realen Welt. Besonders stolz aber ist Lisi, dass sein geometrisches Modell ohne Strings und die mit ihnen verbundenen hirnverwirbelnden höheren Dimensionen auskommt.

Auch seine Mathematik ist einfacher als die String-Formeln, was das E8-Modell in den Augen vieler Forscher sehr attraktiv macht. Denn Einfachheit ist neben der „Schönheit“ der mathematischen Strukturen eine der Grundforderungen der Wissenschaft, die auch Einstein vehement vertrat.

Alles oder nichts

Ist die Weltformel damit wirklich gefunden? Darüber sind sich die Physiker noch uneins. Zwar gestehen einige zu, dass diese Strukturen nicht zufällig entstehen können und deshalb tiefe Zusammenhänge offenbaren. Doch ob sie wirklich den Urgrund allen Seins enthüllen und damit Fausts Traum erfüllen können, ist noch offen. Lisi machte sich dazu seine eigenen Gedanken. Er glaubt, das Universum beruhe auf reiner Geometrie – eine „wunderbare Form, die sich um die Raumzeit herum entwickelt und bewegt“. Und da E8 vielleicht die allerschönste Struktur der Mathematik ist, sei es sehr befriedigend, dass sie Natur gerade diese Geometrie auserwählt habe.

Nun wollen andere Physiker ergründen, ob sich die Raumzeit als „Teppich“ darstellen lässt, der aus E8-Elementen gewoben ist. Einige aber glauben, dass dieses Modell der Stringtheorie nicht widerspricht, sondern vielmehr komplementär zu ihr ist. Denn die Stringtheoretiker nutzen die E8-Struktur, um Räume zu beschreiben, die mehr als die drei alltäglichen Raumdimensionen besitzen. Lisi selbst sucht nun nach Möglichkeiten, seine Theorie experimentell zu testen.

Ein Indiz für ihre Stimmigkeit wäre, wenn an Teilchenbeschleunigern wie dem gerade endgültig in Betrieb gegangenen LHC des Kernforschungszentrum CERN bei Genf jene 20 Partikel auftauchen würden, mit denen der Kalifornier sein Punktemuster auffüllte. Das Standardmodell sagt sie nicht vorher. Dazu will er ihre Massen berechnen, um herauszufinden, in welchen Energiebereich sie zu erwarten sind. „Bei meiner Theorie geht es um alles oder nichts“, bekennt er.

„Sie ist entweder exakt richtig oder fürchterlich falsch. Es wird ein langer Weg, dies herauszufinden. Wir werden es genauer wissen, wenn der LHC singt.“

Kommetar von Kolbatz: "Der Mensch dachte, und Gott lachte!"

Zurück zu „Mystisches“ <http://www.klimaforschung.net/mystisches/seele.htm>
Weiter zu „Pandemie Seuchen“ <http://www.klimaforschung.net/pandemie.htm>