



Lisa Randall ist in der Welt der Elementarteilchen zu Hause.

RICK FRIEDMAN 2005

Wir, die Flächenwesener

Hat das Universum mehr als drei Raumdimensionen? Ein Interview mit der Physikerin Lisa Randall >> Frank Schubert

Lisa Randall ist Professorin für theoretische Physik an der Harvard University. Sie forscht über Elementarteilchen und fundamentale Kräfte. Dabei geht sie der Frage nach, ob es zusätzliche Dimensionen im Universum gibt und wie diese sich physikalisch auswirken könnten.

Randall hat zahlreiche wissenschaftliche Preise erhalten und gehört zu den meistzitierten theoretischen Physikern. Kürzlich erschien ihr Buch »Verborgene Universen« auf dem deutschen Markt. Anfang November sprachen wir mit ihr in Berlin.

ASTRONOMIE HEUTE: Frau Randall, viele Physiker vermuten, dass es im Universum zusätzliche Raumdimensionen gibt – mehr als die uns bekannten drei. Warum?

Lisa Randall: Vor allem die Stringtheorie bringt uns dazu, über zusätzliche Dimensionen nachzudenken. Sie ist der meistversprechende Kandidat für eine Theorie, die die Gravitations- und die Quantenphysik in sich vereint. Die Stringtheorie weist darauf hin, dass das Universum insgesamt neun oder zehn Raumdimensionen enthält. Ein weiterer Grund, Zusatzdimensionen für möglich zu halten, ist die schlichte Frage: Warum sollte es nur drei davon geben? Die Gravitation funktioniert in jedem beliebigdimensionalen Raum. Und schließlich haben Theoretiker – darunter ich – gezeigt, dass einige physikalische Phänomene mehr Sinn ergeben, wenn das Universum höherdimensional wäre. Zum Beispiel ist dann leichter zu verstehen, warum die Gravitation im Vergleich zu den

anderen fundamentalen Naturkräften so schwach ist.

AH: Ist die Schwäche der Gravitation der Hauptgrund dafür, zusätzliche Dimensionen zu vermuten?

Randall: Das ist einer von vielen Punkten. Es gibt in der Teilchenphysik ein Standardmodell, das die Elementarteilchen und ihre Wechselwirkungen beschreibt. Diese Theorie hat jedoch ein Problem: Sie liefert nur dann die korrekten Werte, wenn man ihre Gleichungen mit einem extrem präzisen Faktor korrigiert – einer Zahl, die auf dreizehn Stellen genau stimmen muss. Wir nennen diese Korrektur »Feinabstimmung«. Zwar funktioniert das Modell damit recht gut, aber wir fühlen uns nicht wohl dabei. Wir müssen mit einer unglaublich speziellen Zahl herumtricksen, damit die richtigen Er-

gebnisse herauskommen – da ist irgendetwas faul. Aus diesem Grund suchen wir nach einem neuen Ansatz, der die Feinabstimmung überflüssig macht.

AH: Und das könnte eine Theorie mit zusätzlichen Raumdimensionen sein?

Randall: Diese Frage stellen wir uns seit dreißig Jahren. Es sieht so aus, als gäbe es keine zufrieden stellende Theorie, die nur drei räumliche Dimensionen voraussetzt. Meine Kollegen und ich haben ein Modell vorgeschlagen, das eine verzerrte vierte Dimension enthält. Die Stärke der Gravitation hängt in diesem Modell erheblich davon ab, wo man sich in der vierten Dimension aufhält. Wir befinden uns an einer Stelle mit schwacher Gravitation. Dieser Ansatz scheint einige Probleme der Teilchenphysik besser zu lösen als das derzeitige Standardmodell.

AH: Wenn es zusätzliche Dimensionen im Kosmos gibt, warum haben wir sie bisher übersehen?

Randall: Sie könnten auf verschiedene Weise verborgen sein. Eine Möglichkeit besteht darin, dass sie zu winzigen Schleifen aufgerollt sind – so klein, dass keine derzeitige Messmethode sie registrieren kann. Oder sie sind verzerrt. In diesem Fall könnten wir sogar eine unendlich große Zusatzdimension nicht sehen.

AH: Warum?

Randall: Weil in diesem Fall die Elementarteilchen und die fundamentalen Naturkräfte im Wesentlichen auf unsere dreidimensionale Welt beschränkt wären. Sie könnten kaum oder gar nicht in die höheren Dimensionen entweichen, weshalb diese sich nicht bemerkbar machen würden.

AH: Haben wir überhaupt eine Chance, jemals Beweise für zusätzliche Dimensionen zu finden?

Randall: Durchaus. Manche höherdimensionale Theorien sagen die Existenz bestimmter Teilchen voraus, deren Masse so groß ist, dass wir bislang keine Chance hatten, sie zu entdecken – unsere Teilchenbeschleuniger erreichen noch nicht die erforderlichen Energien hierfür. Wir warten deshalb voller Spannung auf den Large Hadron Collider, der 2008 bei Genf in Betrieb gehen soll. Als leistungsstärkster Beschleuniger der Welt wird er bis-

lang unerreichte Energien aufbringen. Vielleicht liefert er die gesuchten Hinweise.

AH: In Ihrem Buch beschreiben Sie verschiedene theoretische Ansätze mit zusätzlichen Raumdimensionen. Es ist aber nie von zusätzlichen Zeitdimensionen die Rede. Warum?

Randall: Theorien mit zusätzlichen Zeitdimensionen sind nicht stabil. Wir haben es ausprobiert, sie ergeben physikalisch keinen Sinn.

AH: Eines der von Ihnen entwickelten Modelle besagt: Wir leben auf einer dreidimensionalen Bran, die in einem vierdimensionalen Universum eingebettet ist (der Begriff Bran leitet sich von »Membran« ab; Anm. d. Red.). Wie kann man sich das vorstellen?

Randall: Es ist schwer, das in vier Dimensionen zu veranschaulichen, weil wir uns kein Bild davon machen können. Lassen wir einmal eine Dimension beiseite und stellen wir uns vor, wie eine Bran in einem dreidimensionalen Kosmos aussähe. Das wäre dann eine zweidimensionale Fläche – eine unendlich dünne Membran, die irgendwo im Raum aufgespannt ist. Auf dieser Membran könnten zweidimensionale Wesen leben, die von der dritten Dimension nichts mitbe-

ters von uns entfernt. Warum bemerken wir sie nicht?

Randall: Weil alles, was unsere Welt ausmacht – Elementarteilchen, Atome, Licht und so weiter –, in diesem Szenario auf unsere Bran beschränkt ist. Außerhalb davon existiert es nicht. Auf der Nachbar-Bran gäbe es völlig andere Materie und völlig andere Wechselwirkungen. Eine elektrische Ladung in unserer Welt würde sich in keiner Weise auf die Nachbar-Bran auswirken: Es gäbe dort nichts, was diese Ladung spüren kann. Und wir wiederum wären völlig unempfindlich gegenüber der Materie und den Wechselwirkungen auf der benachbarten Bran. Die einzige Kraft, mit der sich die beiden Branen gegenseitig beeinflussen könnten, wäre die Gravitation, weil sie in allen Dimensionen wirkt. Aber das ist eine sehr schwache Kraft.

AH: Warum sind die Physiker so sicher, dass die Gravitation in allen Dimensionen wirkt?

Randall: Das hat etwas damit zu tun, was Einstein über die Gravitation herausgefunden hat. Seine Theorie besagt: Alles, was Energie oder Masse trägt, erzeugt Gravitation und unterliegt ihr zugleich – und zwar überall.

»Die Dunkle Energie ist wirklich schwer zu verstehen, wenn man voraussetzt, dass nur drei Raumdimensionen existieren«

kommen. Ähnlich könnte es uns gehen, nur eben mit dem Unterschied, dass wir dreidimensional sind und auf einer dreidimensionalen Membran leben – einer Bran –, die in einem vierdimensionalen Universum aufgespannt ist.

AH: Bestehen Branen aus irgendeinem Material?

Randall: Das ist eine gute Frage. Die Modelle besagen, dass sie vermutlich Energie tragen. Weil da irgendetwas sein muss, was die Trägerfunktion ausübt, ist eine Bran wohl tatsächlich ein Ding, nicht nur ein Ort.

AH: Sie schreiben, dass sich parallel zu unserer eine weitere dreidimensionale Bran erstrecken könnte – in einem Abstand von weniger als einem Atomdurchmesser. Das wäre eine Art Parallelwelt, nur Bruchteile eines Millime-

Masse und Energie verzerren die Geometrie der Raumzeit in allen vorhandenen Dimensionen.

AH: Bedeutet das, dass wir die Schwerkraft von Objekten messen können, die sich auf einer benachbarten Bran befinden?

Randall: Im Prinzip ja, aber es wäre schwierig, weil die Wirkung sehr schwach wäre. Doch es gäbe andere, indirekte Effekte, die wir durchaus messen könnten. In einem höherdimensionalen Universum müsste es höherdimensionale Varianten des Gravitons geben – jenes Teilchens, das die Schwerkraft überträgt. Diese höherdimensionalen Teilchen – wir nennen sie Kaluza-Klein-Moden – müssten wir nachweisen können. Der Theorie zufolge haben sie die gleichen Eigenschaften wie Teilchen aus un->



»Vielleicht finden wir etwas Neues.«

RICK FRIEDMAN, 2005

> serer Welt, aber sie sind schwerer. Es wäre durchaus möglich, dass wir mit Hilfe von Kaluza-Klein-Teilchen einiges über den höherdimensionalen Raum erfahren.

AH: Derzeit rätseln die Astronomen, worum es sich bei der Dunklen Materie handelt, die sich in unserem Kosmos indirekt nachweisen lässt. Könnte das eine Materie sein, die sich auf einer Nachbar-Bran befindet und von der wir die Schwerkraft spüren?

Randall: Das wäre möglich. Aber die Physik kann die Dunkle Materie wahrscheinlich auch ohne Extradimensionen erklären. Interessanter ist da schon die Dunkle Energie, über die wir erheblich weniger wissen. Sie ist wirklich schwer zu verstehen, wenn man voraussetzt, dass nur drei Raumdimensionen existieren.

AH: Angenommen, es gäbe intelligente Lebewesen auf einer Nachbar-Bran. Könnten wir mit ihnen über Gravitationswellen kommunizieren?

Randall: Prinzipiell ja. Aber wir beginnen gerade erst, uns experimentell mit Gravitationswellen zu befassen. Seit einigen Jahren ist der Gravitationswellendetektor Ligo in den USA in Betrieb. Wir hoffen damit Neutronensternen, Schwarzen Löchern oder Supernovae auf die Spur zu kommen. Bislang hat Ligo noch nichts gefunden. Voraussichtlich 2015 soll Lisa starten, ein weltraumgestützter Gra-

vitationswellendetektor. Wir wissen nicht, was Lisa registrieren wird – wie gesagt, wir stehen diesbezüglich erst am Anfang.

AH: Gäbe es neben der Schwerkraft keine Möglichkeit, mit einer benachbarten Bran zu kommunizieren?

Randall: Wir sind uns nicht sicher, ob nicht auch andere Kräfte in höheren Dimensionen wirken, zum Beispiel der Elektromagnetismus oder die starke Wechselwirkung. Das Einzige, was wir mit Sicherheit sagen können: Die Gravitation sollte überall sein. Die anderen Kräfte – vielleicht.

AH: Physiker befassen sich auch deshalb mit Extradimensionen, weil sie hoffen, dadurch die vier grundlegenden Naturkräfte – Gravitation, Elektromagnetismus, schwache und starke Wechselwirkung – vereinen zu können. Wie helfen Zusatzdimensionen bei diesem Problem?

Randall: Die starke und die schwache sowie die elektromagnetische Wechselwirkung verändern ihre Stärke mit zunehmender Energie. Bei einer bestimmten, sehr hohen Energie scheinen sie alle dieselbe Stärke anzunehmen, sich also zu vereinen. Der Punkt, wo sie das tun, ist aber nicht der gleiche, wo sie auch mit der Gravitation zusammentreffen – zumindest in drei Raumdimensionen. Gäbe es jedoch mehr als drei Dimensionen, würde die Schwerkraft anders von der Energie abhängen als bisher angenommen und sich vielleicht auf derselben Skala mit den anderen Kräften vereinen. Zusätzliche Dimensionen können die Vereinigung der fundamentalen Wechselwirkungen möglicherweise eleganter und schlüssiger erklären.

AH: Physiker wollen immer größere Teilchenbeschleuniger, um damit immer höhere Energien zu erforschen und den fundamentalen Kräften näher zu kommen. Aber es gibt auch Wissenschaftler, die davor warnen. In großen Beschleunigern, sagen sie, spielen sich bei hohen Energien exotische Prozesse ab. Schwarze Löcher könnten entstehen oder strange-Quarks, die die Umgebung verändern. Im Extremfall, hieß es, könne die Erde zu einer hundert Meter großen Kugel schrumpfen.

Randall: Schwarze Löcher in Teilchenbeschleunigern sind sehr winzig und

zerfallen augenblicklich, bevor sie irgendwelche Materie an sich ziehen können. Und strange-Quarks entstehen in diesen Anlagen schon seit Langem in riesiger Zahl. Die Welt ist bisher offensichtlich nicht untergegangen – ich glaube also, wir können ganz beruhigt sein.

AH: Es gibt keine Gefahr?

Randall: Es gibt etliche Dinge auf der Erde, über die wir uns wesentlich größere Sorgen machen sollten als über Teilchenbeschleuniger.

AH: Sie schreiben, in künftigen Teilchenbeschleunigern könnten fünfdimensionale Schwarze Löcher entstehen. Wie würden solche Objekte in unserer Welt aussehen?

Randall: Sie würden sehr schnell zerfallen und in alle möglichen Richtungen zerstrahlen. Dabei entstünden viele Teilchen – zum Beispiel Elektronen –, die wir registrieren könnten.

AH: Frau Randall, Ihr Forschungsgebiet behandelt Phänomene, die zum Teil weitab der beobachtbaren Wirklichkeit liegen. Fühlen Sie sich nicht manchmal wie vom Rest der Welt abgekoppelt?

Randall: Es ist richtig, dass die höherdimensionale Physik manchmal ein bisschen abgehoben oder sogar esoterisch wirkt. Wenn ich manchen Freunden etwas über meine Arbeit erzähle, können die zunächst auch wenig damit anfangen. Deshalb habe ich ja ein Buch geschrieben, das allgemein verständlich darstellen soll, was Physiker wie ich eigentlich machen und woher unsere Ideen kommen. Ich finde es spannend, mit Nichtphysikern über zusätzliche Dimensionen zu sprechen und ihnen unsere theoretischen Konzepte dazu zu erläutern.

AH: Ist es die Tiefe, die Sie an diesem Thema so fasziniert?

Randall: Teilweise. Es ist aber auch die Faszination, Puzzles zusammenzusetzen. Und mein Forschungsgebiet hat viel mit Puzzlearbeit zu tun. Wer weiß, vielleicht finden wir dabei etwas fundamental Neues. <<

Die Fragen stellte **Frank Schubert**.

Im Science-Shop:

Lisa Randall: »Verborgene Universen«, S. Fischer Verlag, 19,90 €
www.science-shop.de/artikel/843541

