

Unverkäufliche Leseprobe

Alle Rechte vorbehalten. Die Verwendung von Text und Bildern, auch auszugsweise, ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlags urheberrechtswidrig und strafbar. Dies gilt insbesondere für die Vervielfältigung, Übersetzung oder die Verwendung in elektronischen Systemen.



Die Natur der Dunklen Materie gehört zu den spannendsten Fragen der Kosmologie. Die Bestsellerautorin und Harvard-Professorin Lisa Randall nimmt uns mit auf eine Reise in die Welt der Physik und hilft uns zu verstehen, welche Rolle die Dunkle Materie bei der Entstehung unserer Galaxie, unseres Sonnensystems und sogar des Lebens selbst gespielt hat. Eindrucksvoll zeigt sie, wie die Wissenschaft neue Konzepte und Erklärungen für dieses weithin unbekanntes Phänomen entwickelt, und verwebt geschickt die Geschichte des Kosmos mit unserer eigenen. Ein Buch, das ein völlig neues Licht auf die tiefen Verbindungen wirft, die unsere Welt so maßgeblich mitgeprägt haben, und uns die außerordentliche Schönheit zeigt, die selbst den alltäglichsten Dingen innewohnt.

Lisa Randall ist führende theoretische Physikerin und Expertin für Teilchenphysik, Stringtheorie und Kosmologie. Sie arbeitet an einem der zwei konkurrierenden Modelle der Stringtheorie und versucht, damit das Gefüge der Realität zu erklären. Sie war die erste Frau in der Fakultät für Physik von Princeton und die erste theoretische Physikerin am MIT sowie in Harvard. Ihre Arbeiten finden enorme Beachtung und zählen in ihrem Fachgebiet weltweit zu den am meisten zitierten wissenschaftlichen Veröffentlichungen.

Weitere Informationen finden Sie auf www.fischerverlage.de

The background of the cover is white with several grey, teardrop-shaped streaks radiating from the center, resembling meteor trails or comet tails. These streaks vary in length and thickness, creating a sense of dynamic movement and cosmic scale.

Lisa Randall

DUNKLE MATERIE UND DINOSAURIER

Die erstaunlichen Zusammenhänge
des Universums

Aus dem Englischen
von Sebastian Vogel

FISCHER Taschenbuch



Erschienen bei FISCHER Taschenbuch
Frankfurt am Main, Februar 2018

Die Originalausgabe erschien unter dem Titel »Dark Matter and the Dinosaurs:
The Astounding Interconnectedness of the Universe« im Verlag Ecco,
einem Imprint von HarperCollins, New York
© Lisa Randall 2015

Für die deutschsprachige Ausgabe:
© 2016 S. Fischer Verlag GmbH, Hedderichstr. 114,
D-60596 Frankfurt am Main

Druck und Bindung: CPI books GmbH, Leck
Printed in Germany
ISBN 978-3-596-03052-1

Die Dunkle-Materie-Geheimgesellschaft

Dinge, mit denen wir nicht rechnen, bemerken wir oftmals nicht. In einer mondlosen Nacht schießen Meteore über den Himmel; wenn wir durch den Wald wandern, verfolgen uns unbekannte Tiere, auf einem Spaziergang durch eine Stadt sind wir von großartigen architektonischen Details umgeben. Solche bemerkenswerten Bilder übersehen wir häufig – und das selbst dann, wenn sie unmittelbar in unserem Blickfeld liegen. Unser eigener Organismus beherbergt Bakterienkolonien. Die Bakterien sind zehnmal zahlreicher als unsere eigenen Zellen und helfen uns beim Überleben. Und doch sind wir uns dieser mikroskopisch kleinen Lebewesen kaum bewusst, die Nährstoffe verbrauchen und unser Verdauungssystem unterstützen. Nur wenn Bakterien unartig sind und uns krank machen, nehmen die meisten von uns sie überhaupt zur Kenntnis.

Um etwas zu sehen, muss man hinschauen. Und man muss wissen, wohin man schauen muss. Aber die Phänomene, die ich gerade erwähnt habe, kann man im Prinzip wenigstens sehen. Stellen wir uns einmal vor, wie viel schwieriger es ist, etwas zu verstehen, das wir buchstäblich nicht sehen können. So ist es mit der dunklen Materie, jenem schwer fassbaren Stoff im Universum, der mit der Materie, die wir kennen, nur in winzigsten Wechselwirkungen steht. Im nächsten Kapitel werde ich erklären, wie Astronomen und Physiker mit einer Vielzahl von Messungen nachgewiesen haben, dass es dunkle Materie gibt. In diesem möchte ich die schwer fassbare Materie erst einmal vorstellen und darlegen, was sie ist, warum sie unter Umständen so verwirrend zu sein scheint und warum sie das – unter einigen wichtigen Gesichtspunkten – überhaupt nicht ist.

Das Ungesehene in unserer Mitte

Das Internet ist zwar ein einziges riesiges Netzwerk, in dem Milliarden Menschen sich online begegnen, aber von den vielen, die in sozialen Netzwerken kommunizieren, interagieren nur die wenigsten direkt oder auch nur indirekt miteinander. Die Beteiligten freunden sich in der Regel mit Gleichgesinnten an, folgen anderen mit ähnlichen Interessen und halten sich an Nachrichtenquellen, in denen sich ihre eigene besondere Sicht auf die Welt widerspiegelt. Mit derart eingeschränkten Interaktionen zerfallen die vielen Menschen, die online gehen, in ganz verschiedene Gruppen, die nicht miteinander in Wechselbeziehung treten, und innerhalb ihrer Gruppe treffen sie nur selten auf unangenehme Ansichten. Selbst die Freunde der Freunde setzen sich meist nicht mit den gegensätzlichen Meinungen anderer Gruppen auseinander; deshalb vergessen die meisten Internetnutzer, dass es unbekannte Communities mit ganz anderen, unvereinbaren Ideen gibt.

Nicht alle Menschen sind von Welten, die außerhalb ihrer eigenen liegen, so abgeschnitten. Aber wenn es um dunkle Materie geht, sind wir alle der gerade erwähnten Versäumnisse schuldig. Die dunkle Materie gehört einfach nicht zum sozialen Netzwerk der gewöhnlichen Materie. Sie lebt in einem Internet-Chatroom, von dem wir bisher noch nicht wissen, wie wir ihn betreten sollen. Sie befindet sich in demselben Universum und besetzt sogar die gleichen Raumregionen wie die sichtbare Materie, und doch können ihre Teilchen nur unmerklich mit der gewöhnlichen Materie, die wir kennen, in Wechselbeziehung treten. Es ist wie mit den Internet-Communities, an die wir nicht denken: Solange man uns nichts über dunkle Materie erzählt, würden wir in unserem täglichen Leben überhaupt nicht bemerken, dass sie existiert.

Wie die Bakterien in uns, so ist auch die dunkle Materie eines der vielen anderen »Universen«, die unmittelbar vor unserer Nase liegen. Und wie die mikroskopisch kleinen Lebewesen, so ist auch sie überall um uns herum. Dunkle Materie durchquert geradewegs unseren Körper – und ist auch in der Außenwelt zu Hause. Ihre Auswirkungen bemerken wir nicht, weil sie ungeheuer schwach interagiert – so schwach, dass sie eine eigene Population bildet. Sie ist eine vollkommen von der bekannten Materie getrennte Gesellschaft.

Aber eine wichtige. Während Bakterienzellen zwar zahlreich sind, aber nur ungefähr ein bis zwei Prozent unseres Gewichtes ausmachen, hat die dunkle Materie – auch wenn sie nur ein unbedeutender Teil unseres Körpers ist – an der gesamten Materie im Universum einen Anteil von rund 85 Prozent. Jeder Kubikzentimeter um uns herum enthält ungefähr Materie von der Masse eines Protons. Das hört sich nach viel oder nach wenig an, je nachdem, wie man es betrachtet. Was es aber bedeutet: Wenn die dunkle Materie aus Teilchen besteht, die in ihrer Masse mit den uns bekannten Teilchen vergleichbar sind, und wenn diese Teilchen mit einer Geschwindigkeit wandern, mit der wir aufgrund der gut bekannten Dynamik rechnen, dringen in jeder Sekunde Milliarden Teilchen der dunklen Materie durch jeden Menschen hindurch. Und doch bemerkt niemand, dass sie da sind. Selbst Milliarden Teilchen der dunklen Materie haben auf uns nur winzigste Auswirkungen.

Der Grund: Wir spüren die dunkle Materie nicht. Dunkle Materie interagiert nicht mit Licht – jedenfalls soweit man es bisher untersuchen konnte. Dunkle Materie besteht nicht aus dem gleichen Material wie gewöhnliche Materie – sie setzt sich nicht aus Atomen oder den vertrauten Elementarteilchen zusammen, die mit Licht interagieren – was für alles, was wir sehen können, unabdingbar ist. Das Rätsel, das meine Kollegen und ich zu lösen hoffen, lautet: Woraus besteht dunkle Materie eigentlich? Besteht sie aus Teilchen eines neuen Typs? Und wenn ja, welche Eigenschaften haben sie? Beteiligen sie sich neben ihren gravitationsbedingten Wechselwirkungen überhaupt an irgendwelchen Interaktionen? Wenn wir mit unseren derzeitigen Experimenten Glück haben, könnte sich herausstellen, dass die Teilchen der dunklen Materie ganz geringe elektromagnetische Interaktionen erleben, die so klein sind, dass man sie bisher nicht nachweisen konnte. Sonden suchen gezielt danach – wie das geschieht, werde ich im dritten Teil des Buches erläutern. Bisher jedoch bleibt die dunkle Materie unsichtbar. Selbst auf die empfindlichsten heutigen Detektoren hat sie keinen Einfluss.

Wenn aber große Mengen dunkler Materie sich in bestimmten Regionen zusammenballen, üben sie unter dem Strich einen beträchtlichen Gravitationseinfluss aus, was bei den Sternen und nahe gelegenen Galaxien zu messbaren Effekten führt. Dunkle Materie hat Auswirkungen auf die Ausdeh-

nung des Universums, den Weg der Lichtstrahlen, die von weit entfernten Himmelskörpern zu uns gelangen, die Umlaufbahnen der Sterne um die Zentren der Galaxien und viele andere messbare Phänomene – deshalb sind wir überzeugt davon, dass es sie gibt. Dass wir etwas über dunkle Materie wissen – und dass wir überhaupt wissen, dass sie existiert –, liegt an diesen messbaren Gravitationseffekten.

Darüber hinaus hat die dunkle Materie, obwohl unsichtbar und unfühlbar, für die Ausbildung der Struktur des Universums eine entscheidende Rolle gespielt. Man kann sie mit den unterschätzten »Menschen wie du und ich« in einer Gesellschaft vergleichen. Die vielen Arbeiter, die Pyramiden bauten, Autobahnen asphaltierten oder elektronische Geräte zusammensetzten, waren für die Entscheidungsträger in der Elite unsichtbar und doch für die Entwicklung ihrer Kulturen unentbehrlich. Wie andere unbemerkte Gruppen in unserer Mitte, so war auch die dunkle Materie für unsere Welt von entscheidender Bedeutung.

Wäre die dunkle Materie nicht in der Frühzeit des Universums vorhanden gewesen, gäbe es uns nicht einmal, und wir könnten keine Kommentare darüber abgeben, vom Aufbau eines zusammenhängenden Bildes von der Evolution des Universums ganz zu schweigen. Ohne dunkle Materie hätte nicht genug Zeit zur Verfügung gestanden, in der sich die Struktur, die wir heute beobachten, bilden konnte. Klumpen aus dunkler Materie waren die Samen unserer Milchstraße wie auch anderer Galaxien und Galaxienhaufen. Hätten sich die Galaxien nicht gebildet, gäbe es auch keine Sterne, kein Sonnensystem, kein Leben, wie wir es kennen. Auch heute sorgt die kollektive Wirkung der dunklen Materie dafür, dass Galaxien und Galaxienhaufen intakt bleiben. Und wenn die dunkle Scheibe existiert, auf die ich in der Einleitung angespielt habe, könnte die dunkle Materie sogar für den Weg des Sonnensystems von Bedeutung sein.

Und doch beobachten wir die dunkle Materie nicht direkt. Wissenschaftler haben viele Formen von Materie studiert, aber alle, deren Zusammensetzung wir kennen, wurden mit irgendeiner Form von Licht beobachtet – oder allgemeiner gesagt, mit elektromagnetischer Strahlung. Diese hat bei sichtbaren Frequenzen die Form von Licht, kann aber auch beispielsweise als Radiowellen oder Ultraviolettstrahlung auftreten, wenn sie außerhalb des begrenzten Frequenzbereichs liegt, den wir sehen können. Die Effekte kann man mit

einem Mikroskop, mit Radargeräten oder als Bild auf einem Foto betrachten, aber immer handelt es sich um elektromagnetische Strahlen. Nicht immer sind es unmittelbare Wechselwirkungen – am direktesten interagieren geladene Elemente mit Licht. Aber die Elemente aus dem Standardmodell der Teilchenphysik – die grundlegendsten Elemente der Materie, die wir kennen – interagieren auch untereinander so stark, dass Licht zwar vielleicht nicht gerade ein Freund, aber zumindest der Freund eines Freundes aller Formen von Materie ist, die wir sehen können.

Nicht nur unser Sehvermögen, sondern auch unsere anderen Sinne – Berührung, Geruch, Geschmack und Hören – beruhen auf den Wechselwirkungen von Atomen, die ihrerseits aus den Wechselwirkungen elektrisch geladener Teilchen erwachsen. Der Tastsinn bedient sich aus komplizierteren Gründen auch elektromagnetischer Schwingungen und Wechselwirkungen. Da alle Sinne des Menschen in irgendeiner Form auf elektromagnetischen Interaktionen basieren, lässt sich die dunkle Materie auf den üblichen Wegen nicht unmittelbar nachweisen. Wenn Licht auf dunkle Materie fällt, geschieht nichts. Das Licht wandert einfach hindurch.

Angesichts der Tatsache, dass sie die dunkle Materie nie gesehen (oder gefühlt oder gerochen) haben, sind viele Menschen, mit denen ich gesprochen habe, ausgesprochen überrascht, dass es sie überhaupt gibt. Sie finden die dunkle Materie sehr geheimnisvoll oder vermuten sogar, es müsse sich um eine Art Irrtum handeln. Man fragt, wie es überhaupt sein kann, dass der größte Teil der Materie mit herkömmlichen Teleskopen nicht nachzuweisen ist. Ich persönlich würde genau das Gegenteil erwarten (aber zugegebenermaßen sieht nicht jeder die Sache so). Für mich wäre es noch rätselhafter, wenn die Materie, die wir mit unseren Augen sehen können, alle Materie wäre, die es gibt. Warum sollten wir perfekte Sinnesorgane haben, die alles unmittelbar wahrnehmen können? Die große Lektion der Physik im Laufe der Jahrhunderte lautete: Vieles bleibt unserem Blick verborgen. So betrachtet, lautet die eigentliche Frage: Warum hat der Stoff, den wir kennen, einen so großen Anteil an der Energiedichte des Universums?

Die Vorstellung von dunkler Materie mag sich für manch einen exotisch anhören, aber ihre Existenz zu postulieren ist weit weniger revolutionär, als wenn man die Gesetze der Gravitation umstürzen würde – was Dunkle-Materie-Skeptiker vielleicht lieber täten. Die dunkle Materie ist uns zwar tat-

sächlich nicht vertraut, aber wahrscheinlich gibt es für sie eine mehr oder weniger konventionelle Erklärung, die völlig im Einklang mit allen bekannten Gesetzen der Physik steht. Aber warum sollte alle Materie, deren Verhalten im Einklang mit den bekannten Gesetzen der Gravitation steht, sich genau wie die herkömmliche Materie verhalten? Oder, um es noch prägnanter zu formulieren: Warum sollte alle Materie mit Licht interagieren? Dunkle Materie könnte einfach Materie sein, die eine andere oder überhaupt keine grundsätzliche Ladung hat. Ohne elektrische Ladung oder Interaktionen mit geladenen Teilchen kann dunkle Materie schlicht kein Licht absorbieren oder aussenden.

Dennoch habe ich mit einem Aspekt der dunklen Materie ein kleines Problem, nämlich mit ihrem Namen. Gegen die »Materie« habe ich keine Einwände. Dunkle Materie ist tatsächlich eine Form der Materie, das heißt, sie ist eine Substanz, die Klumpen bildet, ihren eigenen Gravitationseinfluss ausübt und wie alle sonstige Materie durch Gravitation interagiert. Physiker und Astronomen weisen sie auf verschiedenen Wegen nach, aber die Grundlage ist immer diese Wechselwirkung.

Unglücklich gewählt ist aber das Attribut »dunkel«: Einerseits sehen wir dunkle Dinge, die Licht absorbieren, und andererseits hört sich der unheilvoll klingende Name machtvoller und negativer an, als es der Wirklichkeit entspricht. Dunkle Materie ist nicht dunkel – sie ist durchsichtig. Dunkle Substanzen absorbieren Licht. Durchsichtige dagegen nehmen es nicht zur Kenntnis. Licht kann auf dunkle Materie treffen, aber dadurch verändert sich weder die Materie noch das Licht.

Auf einer Tagung, auf der sich kürzlich Menschen aus den verschiedensten Fachgebieten trafen, lernte ich Massimo kennen, einen Marketing-Profi, der sich auf Markennamen spezialisiert hat. Als ich ihm von meinen Forschungsarbeiten erzählte, sah er mich ungläubig an und fragte: »Warum nennt man sie dunkle Materie?« Sein Einwand betraf nicht die wissenschaftliche Aussage, sondern die unnötig negativen Nebenbedeutungen des Namens. Eigentlich stimmt es nicht ganz, dass »dunkel« in allen Fällen eine negative Bedeutung hat. Der »Dark Knight« gehörte zu den Guten, das war allerdings kompliziert. Aber im Vergleich zu seiner Verwendung in *Dark Shadows*, *His Dark Materials*, *Transformers: Die dunkle Seite des Mondes* oder *Darth Vaders »dunkler Seite der Macht«* – ganz zu schweigen von dem ver-

gnügten *dark*-Song aus dem Lego-Film – ist das »dunkel« in »dunkler Materie« ziemlich zahm. Trotz der offenkundigen Faszination, die dunkle Dinge auf uns ausüben, wird die dunkle Materie ihrem Namen eigentlich nicht gerecht.

Eine Eigenschaft hat dunkle Materie allerdings mit dem Stoff des Bösen gemeinsam: Sie bleibt den Blicken verborgen, weil sie kein Licht aussendet. In diesem Sinn ist sie wirklich dunkel – nicht weil sie undurchsichtig wäre, sondern weil sie das Gegenteil von Licht aussendender oder auch nur Licht reflektierender Materie ist. Und wie den vielen boshaften Geistern in Filmen und Literatur, so dient auch hier die Unsichtbarkeit als Schutz.

Massimo war wie ich der Meinung, dass »transparente Materie« ein besserer Name gewesen wäre – oder zumindest wäre er weniger beängstigend. Aus physikalischer Sicht stimmt er auch, aber ich bin mir nicht sicher, ob er richtig wäre. »Dunkle Materie« ist zwar nicht mein Lieblingsbegriff, offensichtlich erregt er aber eine ganze Menge Aufmerksamkeit. Andererseits ist die dunkle Materie weder unheilvoll noch mächtig – es sei denn, es handelt sich um eine große Menge von ihr.

Schwarze Löcher und dunkle Energie

Der Name »dunkle Materie« ist auch über die zuvor genannten, unheilvoll klingenden Folgerungen hinaus ein Anlass zur Verwirrung. Viele Menschen, mit denen ich über meine Forschung spreche, können beispielsweise dunkle Materie nicht von schwarzen Löchern unterscheiden. Um den Unterschied zu verdeutlichen, möchte ich einen kurzen Umweg machen und schwarze Löcher erörtern, Objekte, die entstehen, wenn zu viel Materie sich in einer zu kleinen Raumregion aufhält. Dem Einfluss ihrer gewaltigen Gravitation entkommt nichts – nicht einmal das Licht.

Schwarze Löcher und dunkle Materie haben nicht mehr gemeinsam als schwarze Tinte und *film noir*. Dunkle Materie interagiert nicht mit Licht. Schwarze Löcher absorbieren Licht – und auch alles andere, was ihnen zu nahe kommt. Schwarze Löcher sind schwarz, weil alles Licht, das in sie hineinfällt, dort bleibt. Es wird nicht abgestrahlt und nicht zurückgeworfen. Dunkle Materie könnte für die Entstehung schwarzer Löcher von Bedeutung

gewesen sein*, denn jede Form der Materie kann zusammenbrechen und zu einem schwarzen Loch werden. Aber schwarze Löcher und dunkle Materie sind mit Sicherheit nicht das Gleiche. Man sollte sie auf keinen Fall verwechseln.

Ein weiteres Missverständnis ist auf den unglückseligen Namen der dunklen Materie zurückzuführen. Da ein anderer Bestandteil des Universums »dunkle Energie« heißt – auch das eine problematische Bezeichnung –, wird diese ebenfalls häufig mit der dunklen Materie verwechselt. Also schweifen wir ein weiteres Mal von unserem Hauptthema ab: Dunkle Energie ist heute ein unverzichtbarer Teil der Kosmologie. Deshalb möchte ich auch diesen Begriff klären, um sicherzustellen, dass meine aufgeklärten Leser den Unterschied stets im Gedächtnis behalten.

Dunkle Energie ist keine Materie, sondern eben Energie. Sie existiert selbst dann, wenn kein echtes Teilchen oder irgendeine andere Form von Substanz vorhanden ist. Sie durchzieht das Universum, bildet aber im Gegensatz zu gewöhnlicher Materie keine Klumpen. Dunkle Energie hat überall die gleiche Dichte – sie kann in einer Region nicht dichter sein als in einer anderen. Auch darin unterscheidet sie sich stark von der dunklen Materie, die sich zu Objekten sammelt und an manchen Stellen eine größere Dichte hat als an anderen. Dunkle Materie verhält sich wie die Materie, die uns vertraut ist und in Objekten wie Sternen, Galaxien und Galaxienhaufen gebunden wird. Die dunkle Energie dagegen ist immer gleichmäßig verteilt.

Dunkle Energie bleibt außerdem im Laufe der Zeit konstant. Im Gegensatz zu Materie oder Strahlung wird sie mit der Ausdehnung des Universums nicht stärker verdünnt. Das ist in gewisser Hinsicht ihre definierende Eigenschaft. Die Dichte der dunklen Energie – Energie, die nicht von Teilchen oder Materie getragen wird – bleibt über die Zeit hinweg gleich. Deshalb bezeichnen Physiker diese Form von Energie häufig auch als eine *kosmologische Konstante*.

* Um genau zu sein, wurden schwarze Löcher als mögliche Kandidaten für dunkle Materie vorgeschlagen – auf dieses Thema werden wir später zurückkommen. Die Einschränkungen der Beobachtungsmöglichkeiten und theoretische Überlegungen machen ein solches Szenario aber heute sehr unwahrscheinlich.

In der Frühzeit des Universums wurde die Energie zum größten Teil durch Strahlung getragen. Aber Strahlung wird schneller verdünnt als Materie, und deshalb übernahm diese irgendwann die Rolle als größter Energieträger. Viel später in der Geschichte des Universums übernahm die dunkle Energie – die sich ja im Gegensatz zu Strahlung und Materie nie verdünnt – die beherrschende Rolle, und heute macht sie im Universum rund 70 Prozent der Energiedichte aus.

Bevor Einstein seine Relativitätstheorie formulierte, dachte man nur an relative Energie – an den Energieunterschied zwischen verschiedenen Anordnungen. Mit Einsteins Theorie ausgerüstet, lernten wir dann, dass die absolute Energiemenge als solche von Bedeutung ist und eine Gravitationskraft entstehen lässt, die das Universum zusammenziehen oder ausdehnen kann. Das große Rätsel im Zusammenhang mit der dunklen Energie ist nicht die Frage, warum sie existiert – die Quantenmechanik wie auch die Gravitationstheorie legen die Vermutung nahe, dass es sie gibt, und Einsteins Theorie sagt uns, dass sie physikalische Auswirkungen hat –, sondern warum ihre Dichte so gering ist. Angesichts ihrer beherrschenden Stellung mag das nicht als wichtige Frage erscheinen. Aber obwohl die dunkle Energie heute im Universum den größten Teil der Energie ausmacht, trat ihr Einfluss erst in jüngster Zeit – nachdem Materie und Strahlung durch die Ausdehnung des Universums ungeheuer stark verdünnt waren – in Konkurrenz zum Einfluss anderer Energietypen. Früher war die Dichte der dunklen Energie winzig klein im Vergleich zu den viel größeren Beiträgen von Strahlung und Materie. Ohne die Antwort im Voraus zu wissen, schätzten Physiker, die Dichte der dunklen Energie müsse verblüffende 120 Zehnerpotenzen größer sein. Die Frage, warum die kosmologische Konstante so klein ist, beschäftigt die Physiker schon seit Jahren.

Nach Ansicht vieler Astronomen erleben wir heute eine Renaissance der Kosmologie: Theorien und Beobachtungen sind so weit fortgeschritten, dass präzise vorbereitete Untersuchungen bei der Beantwortung der Frage helfen können, welche Ideen im Universum tatsächlich verwirklicht sind. Aber da dunkle Energie und dunkle Materie eine so beherrschende Stellung einnehmen, während rätselhafterweise gleichzeitig so viel gewöhnliche Materie bis heute überlebt hat, sagen Physiker auch im Scherz, wir würden in einem dunklen Zeitalter leben.

Aber gerade diese Rätsel machen unsere Zeit für alle, die sich mit dem Kosmos beschäftigen, so spannend. Was den Gewinn von Kenntnissen über den dunklen Sektor angeht, hat man in der Wissenschaft große Fortschritte gemacht, aber es bleiben auch wichtige Fragen, deren Aufklärung nahe bevorsteht. Für eine Wissenschaftlerin wie mich ist das eine optimale Situation.

Vielleicht kann man sagen: Physiker, die »das Dunkle« studieren, sind in einer abstrakteren Form an einer kopernikanischen Revolution beteiligt. Die Erde ist nicht nur kein physikalisches Zentrum des Universums mehr, sondern unsere physikalische Zusammensetzung ist noch nicht einmal ein zentraler Bestandteil seines Energiebudgets – oder auch des größten Teils seiner Materie. Und genau wie die Erde das erste Objekt im Kosmos war, das von Menschen erforscht wurde – das Objekt, das ihnen am vertrautesten ist –, so konzentrierten sich die Physiker anfangs auch auf die Materie, aus der wir bestehen, denn sie ist am einfachsten zugänglich, am leichtesten zu erkennen und unentbehrlich für unser Leben. Das geographisch vielgestaltige, schwierige Gelände auf der Erde zu erkunden war nicht immer einfach. Aber so anspruchsvoll es auch war, die Erde vollständig zu verstehen, so war sie doch zugänglicher und einfacher zu erforschen als ihre weiter entfernten Gegenstücke – die abgelegenen Regionen des Sonnensystems und der Weltraum dahinter.

Eine ähnliche Herausforderung war es auch, die Grundbausteine unserer gewöhnlichen Materie kennenzulernen, und doch war ihre Erforschung weitaus einfacher als die Erkundung der »durchsichtigen« dunklen Materie, die unsichtbar ist – und uns doch überall umgibt.

Heute jedoch ändert sich die Lage. Mittlerweile ist die dunkle Materie ein vielversprechender Forschungsgegenstand, denn es sollte möglich sein, sie mit den Prinzipien der herkömmlichen Teilchenphysik zu erklären, und außerdem kann man sie wahrscheinlich einem breiten Spektrum derzeit gebräuchlicher experimenteller Methoden unterwerfen. Trotz ihrer schwachen Wechselwirkungen haben die Wissenschaftler in den kommenden zehn Jahren eine echte Chance, das Wesen der dunklen Materie aufzuklären und abzuleiten. Und da die dunkle Materie sich auch zu Galaxien und anderen Strukturen zusammenballt, wird die Beobachtung unserer Galaxis und des Universums für Physiker und Astronomen die Möglichkeit schaffen, sie auf neuartige Weise zu vermessen. Wie wir außerdem noch genauer erfahren

werden, dürfte die dunkle Materie sogar eine Erklärung für einige Besonderheiten in unserem Sonnensystem liefern, die mit Meteoroideneinschlägen und dem Entwicklungsweg des Lebendigen auf der Erde zu tun haben. Dunkle Materie ist nicht räumlich abgetrennt (und sie ist real), das heißt, das Raumschiff Enterprise wird uns nicht zu ihr bringen. Aber mit den Ideen und technischen Möglichkeiten, die derzeit in Arbeit sind, steht die dunkle Materie im Begriff, zum letzten – oder zumindest zum nächsten spannenden – Neuland zu werden.