

JORGE CHAM
DANIEL WHITESON

no idea

keine ahnung!



*Vorletzte Antworten
auf die letzten Fragen des
Universums*

C.Bertelsmann

JORGE CHAM
DANIEL WHITESON

no idea
was wir noch nicht wissen

*Vorletzte Antworten
auf die letzten Fragen
des Universums*

JORGE CHAM
DANIEL WHITESON

no idea

was wir noch nicht wissen

*Vorletzte Antworten
auf die letzten Fragen
des Universums*

Aus dem Englischen
von Hainer Kober

C. Bertelsmann

Die Originalausgabe erschien 2017 unter dem Titel
»We Have No Idea, A Guide to the Unknown Universe«
bei Riverhead Books, An imprint of Penguin Random House LLC.,
New York.

Sollte diese Publikation Links auf Webseiten Dritter enthalten,
so übernehmen wir für deren Inhalte keine Haftung,
da wir uns diese nicht zu eigen machen, sondern lediglich auf
deren Stand zum Zeitpunkt der Erstveröffentlichung verweisen.



Verlagsgruppe Random House FSC® N001967

2. Auflage

© 2017 bei Jorge Cham und Daniel Whiteson

© der deutschsprachigen Ausgabe

2018 beim C. Bertelsmann Verlag, München,

in der Verlagsgruppe Random House GmbH,

Neumarkter Str. 28, 81673 München

Umschlaggestaltung: Jorge Schmidt, München

Satz: Uhl + Massopust, Aalen

Druck und Bindung: CPI books GmbH, Leck

Printed in Germany

ISBN 978-3-570-10320-3

www.cbertelsmann.de

Für meine Tochter Elinor

– J. C.

*Für meine Familie,
die alle Kapitel meines Lebens unterstützte,
selbst wenn sie schlechte Witze enthielten*

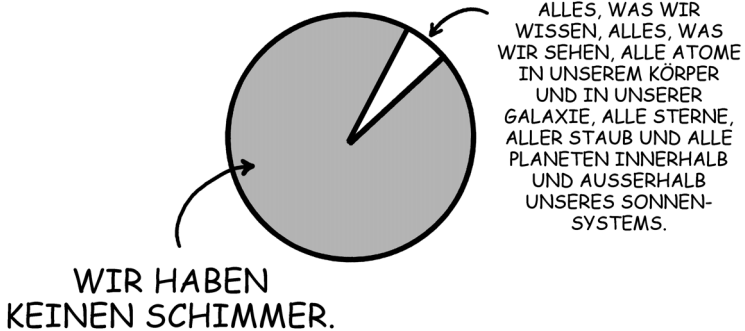
– D. W.

Inhalt

Einleitung	9
1. Woraus besteht das Universum?	11
2. Was ist Dunkle Materie?	22
3. Was ist Dunkle Energie?	40
4. Was ist das elementarste Element der Materie?	60
5. Die Mysterien der Masse	80
6. Warum ist Gravitation so verschieden von den anderen Kräften?	102
7. Was ist Raum?	124
8. Was ist Zeit?	151
9. Wie viele Dimensionen gibt es?	184
10. Können wir schneller als das Licht reisen?	212
11. Wer beschießt die Erde mit superschnellen Teilchen?	245
12. Warum bestehen wir aus Materie und nicht aus Antimaterie?	268
13. Was ist mit Kapitel dreizehn passiert?	298
14. Was geschah während des Urknalls?	299
15. Wie GROSS ist das Universum?	334
16. Gibt es eine Theorie von Allem?	368
17. Sind wir allein im Universum?	407
Eine Art Schluss	441
 Dank	 449
Quellenhinweise	450
Register	457

Einleitung

DAS UNIVERSUM, WIE WIR ES KENNEN:



Würden Sie gerne wissen, wie das Universum begann, woraus es besteht und wie es enden wird? Möchten Sie verstehen, woher Zeit und Raum kommen? Ob wir allein im Universum sind? Wirklich schade! Das vorliegende Buch wird keine dieser Fragen beantworten. Stattdessen beschäftigt es sich mit all den Dingen, die wir *nicht* über das Universum wissen: all den großen Fragen, von denen Sie vielleicht meinen, wir hätten sie schon beantwortet, die in Wirklichkeit aber noch völlig offen sind.

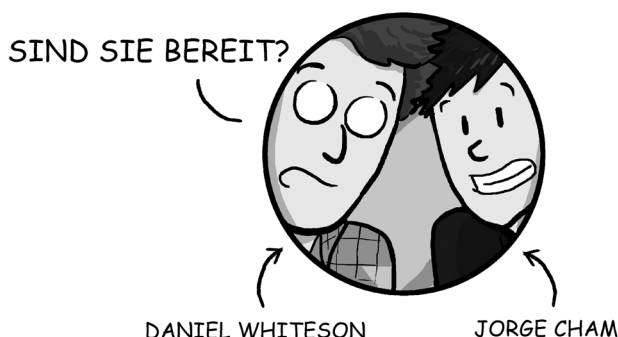
Häufig hören wir die Nachrichten von irgendeiner großartigen Entdeckung, die eine entscheidende Frage über das Universum beantwortet. Doch wie viele Leute haben die Frage gehört, bevor sie die Antwort erfuhren? Und wie viele entscheidende Fragen sind noch unbeantwortet? Das ist der Zweck dieses Buches – Sie mit den offenen Fragen bekannt zu machen.

Auf den kommenden Seiten werden wir erklären, welches die größten unbeantworteten Fragen im Universum sind und

warum sie uns noch immer Rätsel aufgeben. Am Ende werden Sie besser verstehen, wie absurd der Gedanke ist, wir hätten irgendeine Vorstellung von dem, was vor sich geht oder wie das Universum tatsächlich funktioniert. Die gute Nachricht ist, dass Sie zumindest eine Ahnung haben werden, warum wir keine Ahnung haben.

Dieses Buch soll Sie angesichts all dessen, was wir nicht wissen, nicht verzweifeln lassen, sondern Ihnen vermitteln, wie erregend der Gedanke an die riesigen Gebiete ist, die es noch zu erkunden gilt. Bei jedem ungelösten kosmischen Rätsel werden wir erklären, was die Antworten für die Menschheit bedeuten könnten und welche Wahnsinnsüberraschungen jede dieser unbekannten Antworten noch bereithalten könnte. Wir werden Sie lehren, die Welt mit anderen Augen zu sehen – wenn wir verstehen, was wir nicht wissen, können wir erkennen, dass die Zukunft noch voller wunderbarer Möglichkeiten steckt.

Also, schnallen Sie sich an, machen Sie es sich bequem, und seien Sie bereit, die Tiefen unserer Unwissenheit auszuloten, denn der erste Schritt des Entdeckens heißt erkennen, was unerkannt ist. Wir treten eine Reise durch die größten Geheimnisse des Universums an.



1.

Woraus besteht das Universum?

In dem Sie lernen, dass Sie ziemlich
schräg und eigenartig sind



Wenn Sie ein Mensch sind (und wir wollen zunächst einmal von dieser Annahme ausgehen), dann sind Sie wahrscheinlich, ob Sie es wollen oder nicht, ein wenig neugierig auf die Welt um Sie herum. Das ist ein Teil Ihres Menschseins und ein Teil Ihres Entschlusses, dieses Buch in die Hand zu nehmen.

Das ist kein neues Empfinden. Seit Anbeginn der Zeit versuchen die Menschen, Antworten auf einige grundlegende und sehr vernünftige Fragen über die Welt um uns herum zu finden:

Woraus ist das Universum gemacht?

Sind große Steine aus kleineren Steinen gemacht?

Warum können wir keine Steine essen?

Wie ist es, eine Fledermaus zu sein?¹

Die erste Frage: »Woraus ist das Universum gemacht?«, ist eine ziemlich große Frage. Sie ist nicht groß wegen des Themas (viel größer als das Universum geht es nicht), sondern weil die Frage, woraus das Universum gemacht ist, jeden angeht. Es ist so, als fragte man, woraus Ihr Haus und alles darin (einschließlich Ihrer Person) gemacht ist. Man braucht kein tieferes Verständnis der Mathematik oder Physik, um zu begreifen, dass diese Frage uns alle betrifft.

Nehmen wir an, Sie wären der erste Mensch, der versucht, die Frage zu beantworten: »Woraus ist das Universum gemacht?« Ein guter Ausgangspunkt wäre der Versuch, es zunächst einmal mit der einfachsten, der naivsten Idee zu versuchen. Beispielsweise könnten Sie sagen, dass das Universum aus den Dingen gemacht ist, die sichtbar sind. Sie können die Frage also beantworten, indem Sie eine Liste aufstellen – eine Liste wie folgende:

DAS UNIVERSUM

Gemacht aus

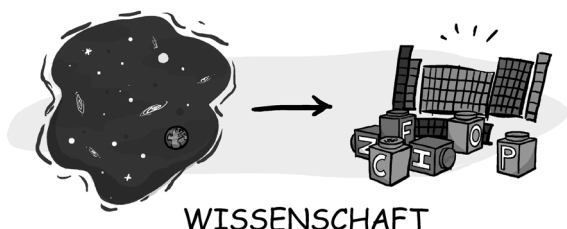
- Mir
- Ihnen
- Diesem Stein
- Jenem anderen Stein
- Den Steinen dort drüben
- usw.

1 Die letzte Frage ist der Titel eines der meistzitierten philosophischen Artikel aller Zeiten und stammt von dem amerikanischen Philosophen Thomas Nagel. Um die Antwort gleich zu verraten: »Wir werden es nie wissen.«

Diese Methode wirft aber erhebliche Probleme auf. Erstens: Ihre Liste wird sehr, sehr lang werden. Sie muss jeden Stein auf jedem Planeten im Universum einschließen, und sie muss auch Ihre Liste selbst enthalten (denn die ist ein Teil des Universums). Wenn Sie wollen, dass die Liste neben den Objekten auch die in ihnen befindlichen Dinge umfasst, könnte sie unendlich lang sein. Halten Sie es hingegen nicht für notwendig, dass die Liste auch die Teile innerhalb der Objekte erfasst, könnte Ihre Liste mit einem einzigen Element auskommen: »dem Universum«. Wie gesagt, diese Methode wirft große Probleme auf, egal wie Sie sie angehen.

Aber noch wichtiger: Eine Liste aufzustellen, ist keine echte Antwort auf die Frage. Eine zufriedenstellende Antwort würde nicht nur die Komplexität erfassen, von der wir umgeben sind – die fast unendliche stoffliche Vielfalt, die wir in unserem Umfeld erblicken –, sie würde sie für uns auch *vereinfachen*. Genau darin liegt die phänomenale Leistung des Periodensystems der Elemente (Sie wissen schon, die Tabelle mit Sauerstoff, Eisen, Kohlenstoff und so fort). Sie beschreibt jedes Objekt, das Menschen jemals gesehen, berührt, geschmeckt² oder als Wurfgeschoss benutzt haben – und all das mithilfe von etwa hundert grundlegenden Bausteinen. Es zeigt, dass die Dinge des Universums nach den gleichen Prinzipien organisiert sind wie Legosteine. Mit dem gleichen Satz von winzigen Plastikbausteinen kann man Spielzeugdinosaurier, Flugzeuge und Piraten zusammensetzen – oder seine eigene Hybridschöpfung hervorbringen, einen fliegenden Dinopiraten.

2 Ja, einschließlich jenes unvergesslichen Augenblicks, als Ihr Freund in der dritten Klasse den Geschmack einer Eidechse ausprobierte.



Genau wie mit Legosteinen lassen sich mit einigen fundamentalen Bausteinen (den Elementen) viele Dinge in unserem Universum konstruieren: Sterne, Steine, Staub, Eiscreme, Lamas. Dank dieses Organisationsprinzips – komplexe Objekte sind lediglich bestimmte Zusammenstellungen einfacher Objekte – können wir ein tieferes Verständnis gewinnen, indem wir diese einfachen Objekte entdecken.

Aber warum hält sich das Universum an das Legoprinzip? Unserer Kenntnis nach gibt es keinen Grund, warum eine solche Vereinfachung auch nur möglich sein sollte. Soweit die ersten Höhlenwissenschaftler wussten, *konnte* die Welt nicht auf allzu viele verschiedene Arten funktionieren. Alles, worauf diese Höhlenwissenschaftler, diese Ooks und Groogs, ihre Ideen stützen konnten, war ihre Erfahrung, und die entsprach vielen verschiedenen Annahmen über die Beschaffenheit des Universums.

Es hätte ja sein *können*, dass die Zahl der Stoffarten nahezu unbegrenzt gewesen wäre. In einem solchen Universum



FRÜHE PHYSIKER

hätten Steine aus elementaren Steinteilchen bestanden, Luft aus elementaren Luftteilchen. Elefanten wären aus elementaren Elefantenteilchen gemacht gewesen (nennen wir sie Dumbotrone). In einem solchen hypothetischen Universum hätte das Verzeichnis

der Elemente, das Periodensystem, eine fast *unendliche* Zahl von Einträgen.

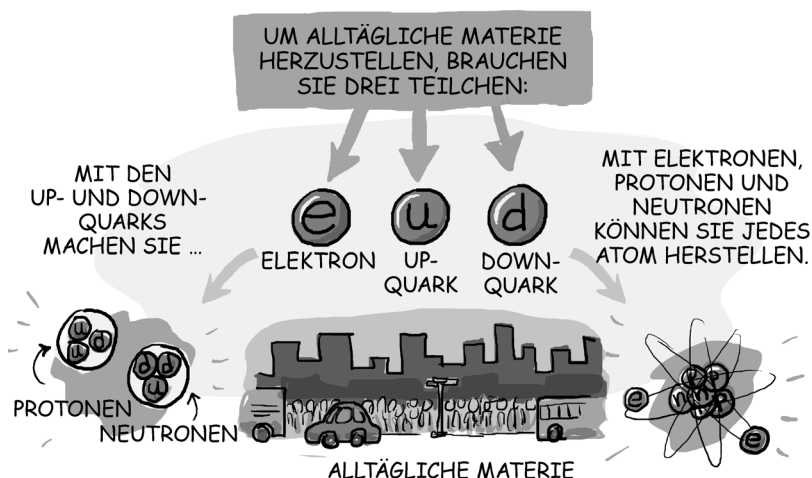
Oder noch bizarrer, wir hätten in einem Universum leben können, wo die Dinge gar nicht aus winzigen Objekten zusammengesetzt wären. In einem solchen Universum wären Steine aus stetigem Steinstoff, der sich unendlich in immer kleinere und kleinere Teile schneiden ließe, und das Messer, mit dem Sie schnitten, müsste unendlich scharf sein.

Beide Annahmen entsprachen den Daten, welche die Professoren Ook und Groog in ihren berühmten Steinertrümmungsexperimenten gesammelt hatten. Wir erwähnen diese Möglichkeiten nicht, weil wir denken, das Universum könnte tatsächlich so beschaffen sein, sondern um Ihnen vor Augen zu führen, dass unser Teil des Universums tatsächlich so hätte sein können und *dass es auf andere Materiearten im Universum zutreffen könnte, die wir noch nicht erforscht haben*.

Aus diesem Grund sollten die ungelösten Rätsel des Universums, die Sie in diesem Buch entdecken werden, dazu dienen, Sie anzuregen und zu beflügeln, statt Sie zu entmutigen. Sie zeigen, wie viel noch zu erkunden und zu entdecken ist.

In dem Universum, das wir kennen und lieben, scheinen die Dinge um uns herum aus winzigen Teilchen zu bestehen. Nach Jahrtausenden des Denkens und Forschens besitzen wir heute eine sehr elegante Theorie der Materie.³ In der Zeit von Ooks und Groogs ersten Experimenten bis heute sind wir weit über das Periodensystem hinausgelangt und haben tief in das Atom hineingeblickt.

3 Die Naturwissenschaft in ihrer modernen Form, mit Experimenten, Daten und weißen Kitteln, ist erst einige Hundert Jahre alt, aber die Menschheit denkt schon seit etlichen Jahrtausenden über diese Fragen nach.

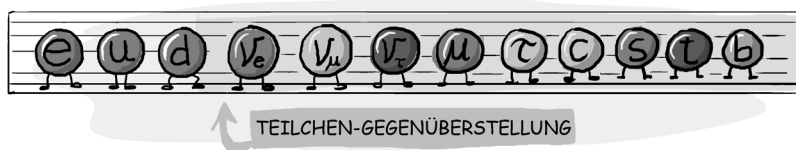


Materie, wie wir sie kennen, besteht aus Atomen der Elemente, die im Periodensystem aufgelistet sind. Jedes Atom hat einen Kern, der von einer Elektronenwolke umgeben ist. Der Kern enthält Protonen und Neutronen, die sich alle aus Up-Quarks und Down-Quarks zusammensetzen. Folglich können wir mit Up-Quarks, Down-Quarks und Elektronen jedes Element aus dem Periodensystem zusammenbauen. Was für eine Leistung! Wir haben unsere Liste der Bestandteile des Universums von unendlicher Länge zunächst auf etwa hundert Elemente des Periodensystems und dann auf lediglich drei Teilchen eingeschrumpft. Alles, was wir je gesehen, gerochen oder schmerzhaft mit dem Zeh angestoßen haben, lässt sich aus drei fundamentalen Bausteinen herstellen. Glückwunsch zu dieser kollektiven Arbeit von Millionen menschlicher Gehirne!

Zwar können wir zu Recht stolz auf uns als Art sein, trotzdem ist diese Beschreibung in zwei sehr wichtigen Hinsichten falsch.

Erstens: Es gibt irgendwo dort draußen im All auch andere

Teilchen, nicht nur das Elektron und zwei Quarks. Diese drei Teilchen sind nur für die normale Materie zuständig, doch im letzten Jahrhundert haben Teilchenphysiker neun weitere Materieteilchen und fünf andere Teilchen entdeckt, die Kräfte übertragen. Einige dieser Teilchen sind sehr seltsam, etwa die geisterhaften Neutrino-Teilchen, die Billionen Kilometer durch Blei wandern können, ohne mit einem einzigen Teilchen zusammenzustoßen.⁴ Für Neutrinos ist Blei transparent. Andere Teilchen haben große Ähnlichkeit mit den Materieteilchen, sind aber sehr viel schwerer.



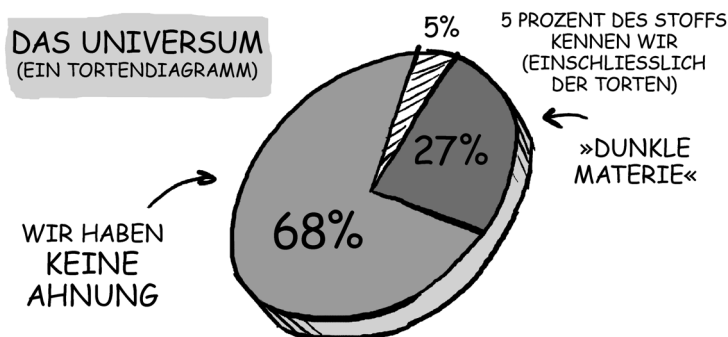
Warum gibt es diese Extrateilchen? Wozu dienen sie? Wer hat sie zur Party eingeladen? Wie viele andere Teilchenarten gibt es noch? – Wir wissen es nicht. Mehr als das: *Wir haben keine Ahnung*. Einige dieser Teilchen und ihre faszinierenden Muster werden wir in Kapitel vier eingehend erörtern.

Doch auch diese Beschreibung ist in einer anderen, sehr wichtigen Hinsicht unvollständig. Zwar brauchen wir nur drei Teilchen, um Sterne, Planeten und Gewürzgurken zu fertigen, doch es stellt sich heraus, dass diese Dinge nur einen winzigen Bruchteil des Universums bilden. Die Art Materie, die wir für normal halten – weil sie die einzige Art ist, die wir kennen –, ist tatsächlich ziemlich ungewöhnlich. Von allem Stoff (Materie und Energie) im Universum stellt diese Materieart nur fünf Prozent der Gesamtmenge.

4 Glauben wir. Noch niemand hat dieses Experiment wirklich ausprobiert.

Woraus bestehen die anderen fünfundneunzig Prozent des Universums? *Wir wissen es nicht.*

Wenn wir ein Tortendiagramm des Universums zeichnen, sähe es etwa wie folgt aus:

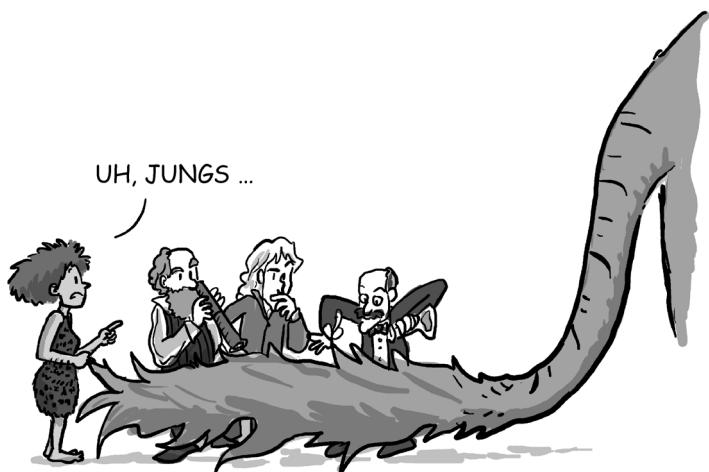


Diese Torte sieht ziemlich rätselhaft aus. Nur fünf Prozent sind Stoff, den wir kennen, darunter Sterne, Planeten und alles, was sich auf ihnen befindet. Volle siebenundzwanzig Prozent sind etwas, was wir »Dunkle Materie« nennen. Die restlichen achtundsechzig Prozent des Universums verstehen wir eigentlich überhaupt nicht. Physiker nennen sie »Dunkle Energie« und vermuten, sie bewirke die Expansion des Universums, aber das ist praktisch alles, was wir über die Dunkle Energie wissen. In späteren Kapiteln werden wir die beiden Begriffe erklären und darlegen, wie wir zu diesen exakten Zahlen gelangen.

Und es kommt noch schlimmer. Selbst innerhalb der fünf Prozent Stoff, mit denen wir uns auskennen, gibt es noch immer viele Dinge, die wir nicht wissen (denken Sie an diese Extrateilchen). In einigen Fällen kennen wir noch nicht einmal die Fragen, die wir stellen müssten, um diese Rätsel zu lösen.

Das ist der Stand der Dinge für uns als Art. Einige Absätze

zuvor haben wir uns noch zu unserer intellektuellen Meisterleistung beglückwünscht, weil es uns gelungen ist, die gesamte bekannte Materie mit einfachen Begriffen zu beschreiben. Jetzt erscheint uns diese Gratulation ein wenig verfrüht, da *der größte Teil des Universums aus anderem Stoff besteht*. Es ist, als hätten wir einen Elefanten seit Jahrtausenden studiert und entdeckten nun plötzlich, dass wir bisher *nur seinen Schwanz betrachtet haben!*



Wenn Sie das merken, werden Sie vielleicht ein bisschen enttäuscht sein. Möglicherweise haben Sie gedacht, wir würden das Universum schon durch und durch kennen (mein Gott, schließlich haben wir Roboter, die in unseren Häusern für uns staubsaugen). Doch entscheidend ist, dass wir diesen Umstand nicht als Enttäuschung begreifen, sondern als unglaubliche Chance – die Chance, zu forschen, zu lernen und unsere Kenntnisse zu vertiefen. Was wäre, wenn Sie erführen, dass wir nur fünf Prozent der irdischen Landmasse erforscht hätten? Oder dass Sie bisher nur fünf Prozent der weltweit existierenden Eis-

sorten probiert hätten? Der Wissenschaftler in Ihnen würde nicht nur nach mehr Löffeln, sondern auch nach einer gründlichen Erklärung verlangen und sich auf die Möglichkeit neuer Entdeckungen freuen.

Erinnern Sie sich an Ihre Schulzeit, als Sie von den mutigen Taten der großen Entdecker hörten. Die fuhren mit ihren Schiffen ins Unbekannte, stießen auf neue Länder und kartierten die Welt. Wenn Sie diese Geschichten aufregend fanden, haben Sie vielleicht auch einen Anflug von Bedauern verspürt, dass jetzt alle Erdteile entdeckt und selbst die winzigsten Inseln benannt waren. In der Ära der Satelliten und des GPS scheint das Zeitalter der Entdeckungen hinter uns zu liegen. Die gute Nachricht lautet jedoch: Stimmt nicht.

Es gibt noch eine *ungeheure* Menge von Entdeckungen zu machen. Tatsächlich erleben wir die Anfänge eines vollkommen neuen Zeitalters der Entdeckungen. Wir treten in eine Epoche ein, die uns wahrscheinlich ein nie da gewesenes Verständnis des Universums erschließen wird. Auf der einen Seite wissen wir sehr wenig (fünf Prozent, erinnern Sie sich?), daher haben wir einige Ideen, welche Fragen zu stellen sind. Andererseits entwickeln wir tolle neue Forschungswerkzeuge – riesige Teilchenbeschleuniger, Gravitationswellendetektoren und Teleskope –, die uns helfen werden, die Antworten zu finden. Und das alles passiert *genau jetzt*.



Die wunderbare Tatsache ist, dass die großen wissenschaftlichen Rätsel durchaus reale, belastbare Antworten bereithalten. Wir kennen sie nur noch nicht. Es gibt eine reelle Chance, dass sie noch zu unseren Lebzeiten gelöst werden. Beispielsweise die Frage, ob es irgendwo im Universum gegenwärtig, genau in diesem Augenblick, intelligentes Leben gibt oder nicht. Die Antwort existiert (Mulder hatte recht: Die Wahrheit *ist* dort draußen). Die Kenntnis dieser Antworten würde unsere Vorstellung von der Welt sehr grundlegend verändern.

Die Geschichte der Wissenschaft ist eine Folge von Revolutionen, deren jede uns gezeigt hat, dass unser Weltbild von unserer besonderen Perspektive verzerrt war. Eine flache Erde, ein geozentrisches Sonnensystem, ein Universum, das von Sternen und Planeten beherrscht wird – das alles waren vernünftige Mutmaßungen angesichts der zeitgenössischen Forschungsdaten, doch heute erscheinen sie uns beschämend naiv. Zweifellos erwarten uns weitere Revolutionen, in deren Verlauf möglicherweise Grundpfeiler des physikalischen Weltbilds wie die Relativitätstheorie und die Quantenphysik umgestürzt und durch unfassbar neue ersetzt werden. In zweihundert Jahren werden die Menschen wahrscheinlich auf unsere Erklärungsversuche genauso zurückblicken, wie wir heute das Weltbild der Höhlenmenschen betrachten.

Die Reise, die der Menschheit dazu dient, unser Universum zu verstehen, ist noch lange nicht vorüber, und *Sie* werden an ihr teilnehmen. Wir versprechen Ihnen eine Fahrt, die alle Ihre Erwartungen übertreffen wird.

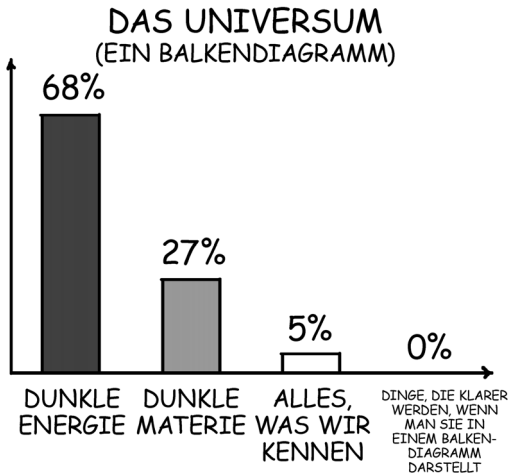


2.

Was ist Dunkle Materie?

Sie schwimmen in ihr

Hier ist ein Balkendiagramm von der Masse und Energie des Universums, wie wir es kennen:



Die Physiker glauben, dass erstaunliche siebenundzwanzig Prozent der Energie und Materie im bekannten Universum aus einem Stoff namens »Dunkle Materie« bestehen. Das heißt, der größte Teil des Universums ist nicht von der Art, die wir seit Jahrhunderten untersuchen. Diese rätselhafte Materie ist *fünf Mal* so häufig wie die normale, uns vertraute Materie. Tatsächlich ist es nicht ganz angebracht, unsere Materie »normal« zu nennen, da sie doch eher selten im Universum vorkommt.

Was also ist Dunkle Materie? Ist sie gefährlich? Macht sie uns die Kleidung schmutzig?

Woran merken wir, dass sie vorhanden ist?

Dunkle Materie ist überall. Tatsächlich schwimmen Sie wahrscheinlich in ihr. Ihre Existenz wurde erstmals in den 1920er-Jahren vorgeschlagen und in den 1960ern allmählich ernst genommen, als Astronomen bemerkten, dass sich rotierende Galaxien merkwürdig verhalten, und ihnen klar wurde, welche Rückschlüsse das auf die in ihnen enthaltene Masse zuließ.

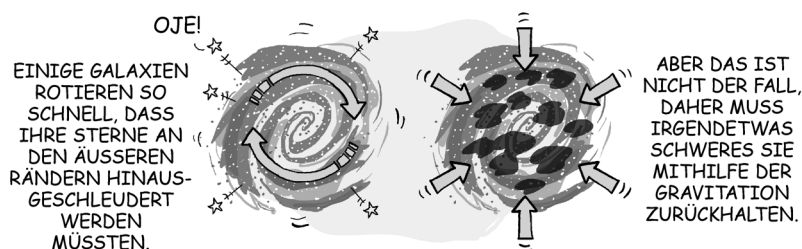
Woher wir wissen, dass es Dunkle Materie gibt

1. Rotierende Galaxien

Um den Zusammenhang zwischen Dunkler Materie und rotierenden Galaxien zu verstehen, stellen Sie sich vor, dass Sie viele Tischtennisbälle auf ein Karussell legen. Jetzt setzen Sie das Karussell in Bewegung. Völlig zu Recht gehen Sie davon aus, dass die Bälle über den Rand des Karussells davonfliegen. Bei einer rotierenden Galaxie ist es nicht anders: Die in ihr enthaltenen Sterne haben das Bestreben, nach außen wegzufliegen. Die einzige Kraft, die sie zusammenhält, ist die Gravitation aller in der Galaxie vorhandenen Masse (Gravitation hält Dinge mit Masse zusammen). Je schneller die Galaxie sich dreht, desto mehr Masse ist erforderlich, um alle Sterne in der Galaxie zu halten. Umgekehrt kann man, wenn man die Masse der Galaxie kennt, vorhersagen, wie rasch die Galaxie rotieren kann.

Anfangs versuchten die Astronomen, die Masse von Galaxien zu schätzen, indem sie zählten, wie viele Sterne sie enthielten. Doch als sie mithilfe dieser Zahl berechneten, wie schnell die Galaxien rotieren müssten, stießen sie auf Unstimmigkeiten.

Messungen ergaben, dass sich die Galaxien schneller drehen, als die Zahl der in ihnen enthaltenen Sterne vorhersagte. Mit anderen Worten, die Sterne hätten eigentlich an den Rändern der Galaxien davonfliegen müssen wie die Tischtennisbälle vom Karussell. Um zu erklären, warum die Sterne trotz der hohen Rotationsgeschwindigkeit zusammenhielten, mussten die Astronomen eine gewaltige Masse zu den Galaxien hinzurechnen. Aber sie konnten nicht erkennen, wo diese Masse steckte. Dieser Widerspruch ließ sich lösen, wenn man annahm, dass sich in jeder Galaxie Riesenmengen eines schweren Stoffs befanden, der unsichtbar – oder »dunkel« – war.

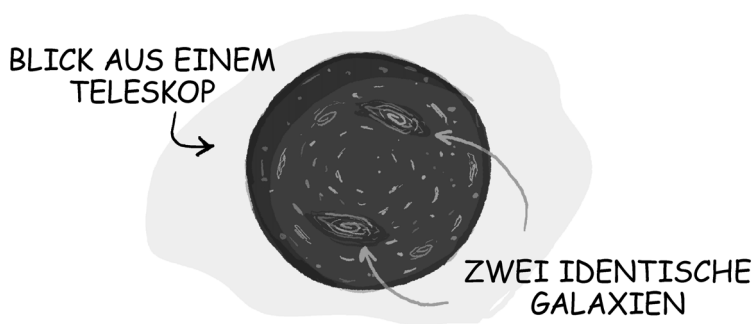


Diese Behauptung war sehr ungewöhnlich. Völlig zu Recht hat der namhafte Astronom Carl Sagan einmal gesagt: »Außergewöhnliche Behauptungen verlangen außergewöhnliche Beweise.« Daher bestand dieses seltsame Rätsel in der astronomischen Gemeinschaft noch Jahrzehnte fort, ohne verstanden zu werden. Im Lauf der Jahre wurde die Existenz dieses geheimnisvollen Stoffs, der unsichtbar und ungeheuer schwer sein musste (die Dunkle Materie, wie er bald genannt wurde), allerdings mehr und mehr akzeptiert.

2. Gravitationslinseneffekt

Ein weiterer wichtiger Hinweis, dass es Dunkle Materie wirklich gibt, war die Beobachtung, dass sie *Licht ablenken* kann. Das bezeichnet man als Gravitationslinseneffekt.

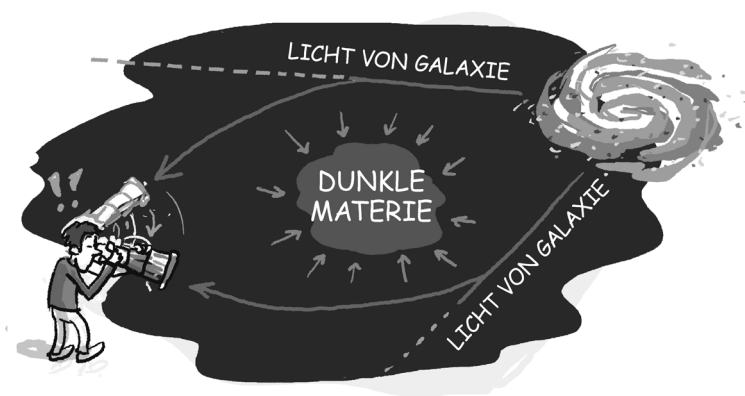
Gelegentlich zeigte sich den Astronomen bei ihrem Blick in den Himmel ein seltsames Phänomen. Sie sahen das Bild einer Galaxie, das aus einer bestimmten Richtung kam. Das ist eigentlich vollkommen normal, aber wenn sie das Teleskop ein winziges Stück weiterbewegten, erblickten sie das Bild einer weiteren Galaxie, die große Ähnlichkeit mit der ersten hatte. Die Form, die Farbe und das Licht, das von den beiden Galaxien kam, waren sich so ähnlich, dass die Astronomen sich sicher waren, es mit ein und derselben Galaxie zu tun zu haben. Aber wie war das möglich? Wie konnte eine einzige Galaxie zweimal am Himmel erscheinen?



Eine Galaxie zweimal zu sehen, ist durchaus denkbar, wenn sich etwas Schweres (und Unsichtbares) zwischen Ihnen und dieser Galaxie befindet; dieser unsichtbare, schwere Klumpen kann wie eine Riesenlinse wirken und das Licht der Galaxie so ablenken, dass es aus zwei Richtungen zu kommen scheint.

Stellen Sie sich vor, dass das Licht diese Galaxie in alle Rich-

tungen verlässt. Jetzt vergegenwärtigen Sie sich zwei Lichtteilchen, sogenannte Photonen, die von dieser Galaxie kommen und etwas nach links und rechts abdriften. Wenn ein schweres Hindernis zwischen Ihnen und dieser Galaxie liegt, wird die Gravitation dieses Objekts den Raum in seiner Umgebung verwerfen und dafür sorgen, dass die Lichtteilchen sich Ihnen auf gekrümmten Bahnen nähern.⁵

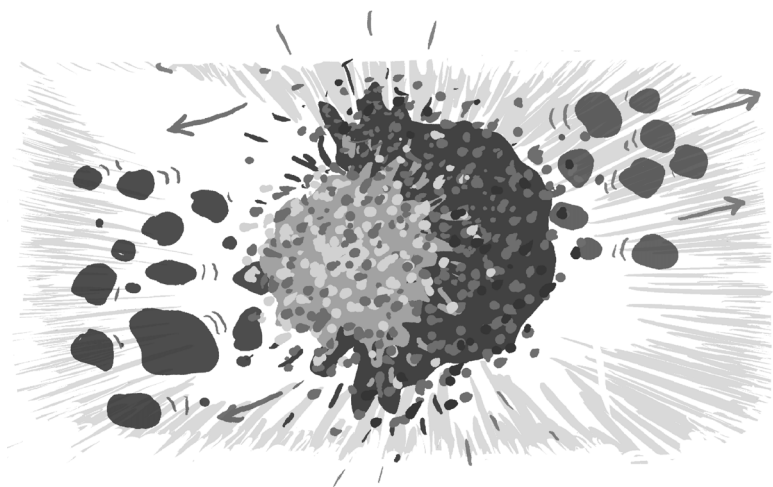


Auf der Erde sehen Sie in Ihrem Teleskop zwei Bilder derselben Galaxie, die aus verschiedenen Richtungen eintreffen. Dieser Effekt wurde überall am Nachthimmel beobachtet; der schwere und unsichtbare Stoff schien überall zu sein. Schon bald galt Dunkle Materie nicht mehr als verrückte Idee. Wohin wir auch blickten, gab es Anhaltspunkte für sie.

⁵ Die Lichtablenkung durch Gravitation hat Albert Einstein vorhergesagt und später bewiesen. Er soll ein ziemlich kluges Kerlchen gewesen sein.

3. Kollidierende Galaxien

Den überzeugendsten Beweis für Dunkle Materie lieferte uns eine gigantische Galaxienkollision im All. Vor einigen Jahrmillionen krachten zwei Galaxienhaufen ineinander und verursachten ein Ereignis von wahrhaft kosmischen Ausmaßen; die Kollision selbst haben wir nicht erlebt, aber da das Licht vom Schauplatz des Geschehens Jahrmillionen braucht, um uns zu erreichen, können wir uns bequem zurücklehnen und in aller Ruhe die daraus resultierenden Explosionen beobachten.



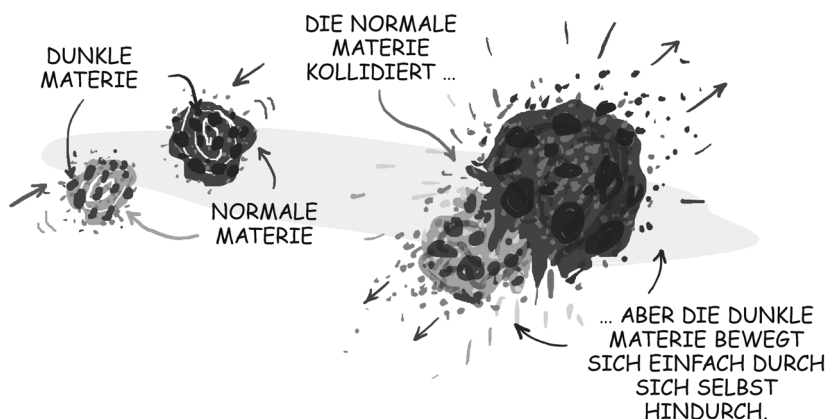
Als sich die beiden Galaxienhaufen ineinander verkeilten, kollidierten das Gas und der Staub der beiden Haufen miteinander und zeitigten spektakuläre Ergebnisse: Gewaltige Explosionen rissen riesige Staubwolken auseinander. Es war eine Orgie der Spezialeffekte. Wenn es Ihnen hilft, malen Sie sich die Kollision zweier riesiger Haufen Wasserballons aus, die mit irrsinniger Geschwindigkeit aufeinanderprallen.

Aber den Astronomen fiel noch etwas anderes auf. Dicht

neben dem Kollisionsort bemerkten sie zwei riesige Haufen Dunkler Materie; natürlich war sie unsichtbar, aber die Wissenschaftler konnten sie indirekt orten, indem sie maßen, wie stark die Haufen das Licht der hinter ihnen liegenden Galaxien ablenkten. Diese beiden Haufen Dunkler Materie schienen sich entlang der Kollisionslinie zu bewegen, als wäre nichts geschehen.

Daraus ergab sich für die Astronomen folgendes Bild: Es gab zwei Galaxienhaufen, wobei jeder aus normaler Materie (vor allem Gas und Staub nebst einigen Sternen) und Dunkler Materie bestand. Als die beiden Haufen kollidierten, krachte der größte Teil der normalen Materie in der zu erwartenden Weise ineinander. Aber was geschieht, wenn Dunkle Materie mit anderer Dunkler Materie zusammenprallt? *Nichts, soweit wir erkennen können!* Die Haufen Dunkler Materie setzten ihren Weg ungehindert fort und *durchdrangen* sich – fast, als wären sie unsichtbar füreinander.

Gewaltige Materieklumpen, größer als viele Galaxien, bewegten sich durcheinander hindurch. Im Wesentlichen beraubte die Kollision diese Galaxien ihrer Dunklen Materie.



Was wir über Dunkle Materie wissen

Inzwischen sollte klar geworden sein, dass es Dunkle Materie gibt und dass sie – verglichen mit der Materie, die uns vertraut ist – seltsam und eigenartig ist. Das wissen wir über Dunkle Materie:

- Sie besitzt Masse.
- Sie ist unsichtbar.
- Sie treibt sich gern mit Galaxien herum.
- Normale Materie scheint sie nicht berühren zu können.
- Andere Dunkle Materie scheint sie auch nicht berühren zu können.⁶
- Sie hat einen coolen Namen.

Sie denken jetzt wahrscheinlich: *Mann, wenn ich doch aus Dunkler Materie bestünde. Dann wäre ich ein toller Superheld.* Nein? Na ja, vielleicht sind wir genau das.

Eines wissen wir von der Dunklen Materie: Sie versteckt sich nicht weit von uns. Dunkle Materie ist bestrebt, sich zu massereichen Klumpen zusammenzuschließen, die durch den Raum schweben und sich bei Galaxien aufhalten. Mit anderen Worten: Es ist sehr wahrscheinlich, dass Sie genau in diesem Augenblick von Dunkler Materie umgeben sind. Während Sie diese Seite lesen, wandert Dunkle Materie höchstwahrscheinlich durch dieses Buch und durch Sie. Aber wenn wir von ihr umgeben sind, warum ist sie dann ein solches Rätsel? Warum können wir sie nicht sehen oder berühren? Wie kann etwas vorhanden, aber nicht zu sehen sein?

Es ist schwer, Dunkle Materie zu erforschen, weil wir kaum mit ihr wechselwirken können. Wir können sie nicht sehen

⁶ Es ist möglich, dass Dunkle Materie in geringem Maße einer neuen, noch unbekannten Kraft unterliegt.

(daher nennen wir sie »dunkel«), aber wir wissen, dass sie Masse hat (daher nennen wir sie »Materie«). Um zu erklären, wie all das möglich ist, müssen wir uns zunächst überlegen, wie normale Materie wechselwirkt.

Wie Materie wechselwirkt

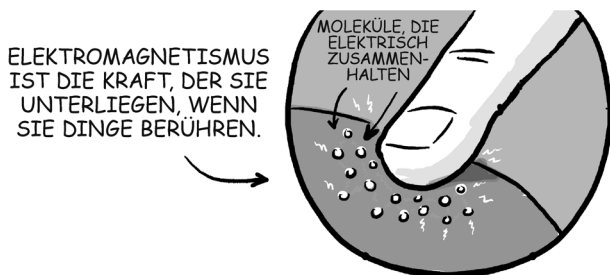
Grundsätzlich gibt es für Materie vier Möglichkeiten zur Wechselwirkung:

Gravitation

Wenn zwei Dinge Masse haben, unterliegen sie einer Kraft, die eine gegenseitige Anziehung bewirkt.

Elektromagnetismus

Das ist die Kraft, der zwei Teilchen unterliegen, die elektrisch geladen sind. Sie kann anziehend oder abstoßend sein, je nachdem, ob ihre Ladungen unterschiedlich oder gleich sind.



Sie können diese Kraft in der Alltagswelt tatsächlich *spüren*. Wenn Sie auf dieses Buch drücken, gibt es einen Grund dafür, dass Sie das Papier nicht zerdrücken oder dass Ihre Hand nicht durch das Papier fährt: Die Moleküle im Inneren des Buches sind durch elektromagnetische Bindungen eng miteinander verklammert und stoßen die Moleküle in Ihrer Hand zurück.

Elektromagnetismus ist auch verantwortlich für Licht und – natürlich – für Elektrizität und Magnetismus. Darüber später mehr.

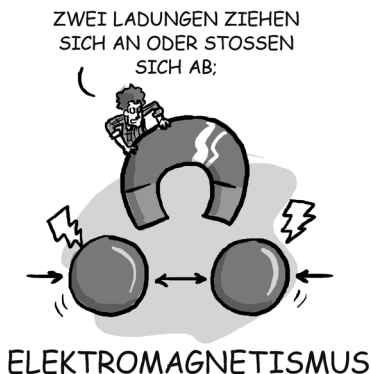
Die schwache Kernkraft

Die schwache Kernkraft (auch schwache Wechselwirkung) ähnelt in mancherlei Hinsicht dem Elektromagnetismus, ist aber viel schwächer. Beispielsweise verwenden Neutrinos diese Kraft, um mit anderen Teilchen (schwach!) wechselzuwirken. Bei sehr hohen Energien wird die schwache Kraft so stark wie der Elektromagnetismus und ist dann, wie gezeigt werden konnte, nur Teil der vereinheitlichten Kraft, der »elektroschwachen« Kraft oder Wechselwirkung.

Die starke Kernkraft

Die starke Kernkraft oder Wechselwirkung hält die Protonen und Neutronen im Atomkern zusammen. Ohne sie würden sich alle diese positiv geladenen Protonen im Kern einfach abstoßen und davonfliegen.

DIE VIER WICHTIGSTEN ARTEN DER WECHSELWIRKUNG



Wie Dunkle Materie wechselwirkt

In diesem Zusammenhang ist zu berücksichtigen, dass die Liste der Kräfte nur *deskriptiv* ist. Insofern ist die Physik wie die Botanik. Wir verstehen nicht, *warum* irgendeine dieser Kräfte vorhanden ist. Wir haben nur eine Liste der Dinge, die wir beobachtet haben. Wir wissen noch nicht einmal, ob diese Liste vollständig ist. Aber bislang können wir jedes in der Teilchenphysik durchgeführte Experiment mithilfe dieser vier Kräfte erklären.

Also, warum ist Dunkle Materie so dunkel? Dunkle Materie besitzt Masse, daher unterliegt sie der Gravitation. Doch das ist so gut wie alles, was wir mit Sicherheit über ihre Wechselwirkungen wissen. Wir *denken*, dass sie nicht an elektromagnetischer Wechselwirkung teilhat. Soweit wir wissen, reflektiert sie kein Licht und sendet auch keines aus, daher ist es so schwer, sie direkt zu *sehen*. Offenbar unterliegt Dunkle Materie auch nicht der starken oder der schwachen Kernkraft.

Wenn wir also irgendwelche neuen, bislang unentdeckten Formen der Wechselwirkung ausschließen, scheint es so, dass Dunkle Materie nicht mit uns, unseren Teleskopen oder Detektoren mithilfe eines der normalen Mechanismen wechselwirken kann. Das erschwert ihre Erforschung außerordentlich.



Wenn wir die vier fundamentalen Wechselwirkungsarten unserer Welt betrachten, können wir nur von einer – der Gravitation – mit Sicherheit behaupten, dass sie auch auf die Dunkle Materie zutrifft. Das ist der Grund, warum »Materie« in der Bezeichnung Dunkle Materie vorkommt. Dunkle Materie ist stofflicher Natur. Sie besitzt Masse, und wenn sie Masse besitzt, unterliegt sie der Gravitation.

Wie können wir Dunkle Materie erforschen?

Wir hoffen, dass wir Sie von der Existenz Dunkler Materie überzeugen konnten. Irgendetwas ist dort draußen, das die Sterne daran hindert, in den leeren Raum davonzufliegen, das das Licht der Galaxien ablenkt und das die Schauplätze gigantischer kosmischer Kollisionen verlässt wie Actionhelden den Ort von Autoexplosionen – in Zeitlupe und ohne zurückzublicken. Dunkle Materie ist mindestens genauso cool.

Trotzdem bleibt die Frage: Woraus besteht Dunkle Materie? Wir können nicht behaupten, die Antwort auf die Frage nach der Beschaffenheit des Universums zu kennen, wenn wir nur über die fünf Prozent Bescheid wissen, die am leichtesten zu erklären sind. Wir können nicht die satten siebenundzwanzig Prozent Dunkler Materie vernachlässigen. Die kurze Antwort lautet: Wir haben kaum eine Vorstellung, was Dunkle Materie ist. Wir wissen, dass es sie gibt, wie viel von ihr es gibt, und ungefähr, wo es sie gibt, aber wir wissen nicht, aus was für Teilchen sie besteht – ja noch nicht einmal, *ob* sie aus Teilchen besteht. Erinnern wir uns daran, dass wir uns hüten müssen, von einer ungewöhnlichen Materieart auf das ganze Universum zu schließen.⁷ Wir müssen uns unsere Unvoreingenommenheit bewahren, um Entdeckungen von jener Art machen zu können, die unsere Vorstellungen über das Universum und unsere Stellung in ihm verändern.

Um Fortschritte zu erzielen, müssen wir einige spezifische Ideen untersuchen, ihre Konsequenzen erkunden und Experimente entwerfen, mit denen wir sie überprüfen können. Es ist durchaus möglich, dass Dunkle Materie aus kosmischen lilafarbenen Tanzelefanten besteht, aber da sich diese Theorie schwer-

⁷ Wenn Sie heute in der Mittagspause ein Käsesandwich essen, heißt das nicht, dass es in allen Mittagspausen Käsesandwiches gibt.

lich überprüfen lässt, ist sie kein vorrangiger Forschungsgegenstand.⁸



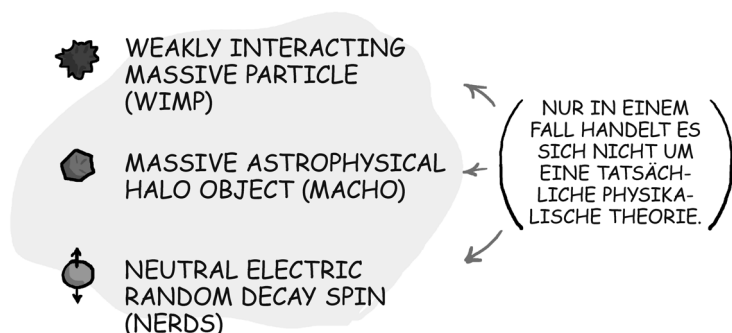
Eine einfache und konkrete Hypothese besagt, dass Dunkle Materie aus einer neuen Teilchenart besteht, die einer neuen Kraftart unterliegt und äußerst schwach mit normaler Materie wechselwirkt. Warum nur ein neues Teilchen? Weil das die einfachste Idee ist, daher erscheint es sinnvoll, sie als Erstes anzugehen. Es ist durchaus möglich, dass Dunkle Materie wie normale Materie aus mehreren Teilchenarten besteht; diese Dunklen Teilchen könnten alle möglichen Wechselwirkungen aufweisen und zu Dunkler Chemie führen, vielleicht auch zu Dunkler Biologie, Dunklem Leben und Dunklen Truthähnen (ein unheimlicher Gedanke).

Dieses Kandidatenteilchen wird mit der Abkürzung WIMP bezeichnet – *Weakly Interacting Massive Particle*, »schwach wechselwirkendes massives Teilchen« (das heißt ein Teilchen mit Masse, das schwach mit normaler Materie wechselwirkt). Wir vermuten, dass es einer neuen hypothetischen Kraft unterliegt, die ihm ermöglicht, auf etwa demselben Niveau mit normaler Materie zu wechselwirken wie Neutrinos, das heißt sehr, sehr schwach. Eine Zeit lang erwog man andere Ideen, beispielsweise außerordentlich riesige Klumpen normaler Materie

8 Bis zu diesem Zeitpunkt ist die Vergabe von Forschungsgeldern unvorhersehbar.

von der Größe Jupiters. Um sie von den WIMPs (*wimp* ist das englische Wort für »Schwächling« oder »Weichei«) zu unterscheiden, gab man ihnen den Spitznamen MACHOs (*kompakte und massive astrophysikalische Halo-Objekte*).

KANDIDATEN TEILCHEN DER DUNKLEN MATERIE



Woher wissen wir, dass Dunkle Materieteilchen mit normaler Materie nicht nur durch Gravitation, sondern auch durch andere Kräfte wechselwirken? Wir wissen es nicht. Wir hoffen es nur, weil das ihre Entdeckung erheblich erleichtern würde. Daher versuchen wir es mit sehr schwierigen Experimenten, bevor wir uns an die fast unmöglichen Experimente wagen.

Physiker haben aufwendige Versuchsanordnungen entwickelt, um diese hypothetischen Dunklen Materieteilchen nachzuweisen. Eine klassische Strategie besteht darin, einen Behälter mit einem kalten, komprimierten Edelgas zu füllen und ihn mit Detektoren zu umgeben, die Alarm auslösen, wenn *ein einziges Atom* des Gases mit Dunkler Materie zusammenprallt. Bislang haben diese Experimente noch keinen Hinweis auf Dunkle Materie geliefert, doch erst jetzt werden die Anordnungen so groß und empfindlich, dass sie in der Lage sein könnten, Dunkle Materie zu entdecken.

Ein anderer Ansatz besteht darin, Dunkle Materie mithilfe

eines Hochenergie-Beschleunigers zu erzeugen, der normale Materieteilchen (Protonen oder Elektronen) auf irrsinnig hohe Geschwindigkeiten beschleunigt und sie aufeinanderprallen lässt. Dieser Vorgang ist an sich schon überaus beeindruckend, hat aber noch den zusätzlichen Vorteil, dass er uns in die Lage versetzt, das Universum nach neuen Teilchen zu durchforschen. Dazu sind diese Anlagen fähig, weil sie Materie der einen Art in Materie anderer Arten verwandeln können. Bei diesen Kollisionen werden nicht nur die Konfigurationen innerhalb der Teilchen verändert, sondern die alte Materie auch vernichtet und neue Materieformen geschaffen. Das ist wie Alchemie (kein Scherz) auf subatomarer Ebene. Das heißt, Sie können innerhalb gewisser Grenzen Teilchen jeder möglichen Art erzeugen, ohne vorher zu wissen, wonach Sie suchen. In diesen Kollisionen suchen die Forscher nach Indizien für die Erzeugung Dunkler Materieteilchen.

Ein dritter Ansatz besteht darin, unsere Teleskope auf Orte zu richten, an denen wir hohe Konzentrationen von Dunkler Materie vermuten. Der nächste dieser Orte ist das Zentrum unserer Galaxie, in dem sich ein sehr großer Klumpen Dunkler Materie zu befinden scheint. Dabei geht man von der Hoffnung aus, dass zwei Dunkle Materieteilchen zufällig zusammenprallen und sich gegenseitig vernichten könnten. Wenn Dunkle Materie irgendeine Möglichkeit hätte, mit sich selbst wechselzuwirken, könnten Dunkle Materieteilchen miteinander kollidieren und sich in Teilchen von normaler Materie verwandeln. Genauso wie zwei normale Materieteilchen zusammenstoßen und dabei normale Materieteilchen hervorbringen können.⁹ Wenn das oft genug geschieht, werden einige der resultierenden normalen Materieteilchen in unseren Teleskopen eine besondere Verteilung von Energie und Aufenthaltsorten zeigen, die

9 Wenn zwei normale Materieteilchen sich in zwei Dunkle Materieteilchen verwandeln können, dann ist der Prozess auch in umgekehrter Richtung möglich: Zwei Dunkle Materieteilchen können sich in zwei normale Materieteilchen verwandeln.

mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit darauf schließen lässt, dass sie in einer Kollision zwischen Dunklen Materieteilchen entstanden sind. Doch um das zu verstehen, müssen wir sehr viel genauer wissen, was im Zentrum der Galaxie geschieht, und das ist ein weiterer ganz eigener Komplex von Rätseln.

Warum ist Dunkle Materie eine wichtige Materie?

Dunkle Materie führt uns nachdrücklich vor Augen, dass wir trotz aller unserer Entdeckungen und Fortschritte im Hinblick auf die Beschaffenheit des Universums noch weitgehend im Dunkeln tappen. Im Grunde sind unsere Erklärungen noch auf dem gleichen Niveau wie die der Höhlenwissenschaftler Ook und Groog. Dunkle Materie ist noch nicht einmal in unseren gegenwärtigen mathematischen oder physikalischen Modellen des Universums enthalten. Dort draußen gibt es eine große Menge Stoff, der still und unsichtbar eine große Anziehungskraft entfaltet, und wir wissen nicht, was es ist. Wir können auf keinen Fall von uns behaupten, wir könnten das Universum begreifen, ohne diesen riesigen Teil von ihm zu verstehen.

Doch bevor Sie sich jetzt verfolgt fühlen von diesem verrückten, dunklen, rätselhaften Stoff, der Sie von allen Seiten umfließt, sollten Sie sich fragen: Und was ist, wenn die Dunkle Materie etwa *Großartiges* ist?

Wir haben keine unmittelbare Erfahrung mit Dunkler Materie. Wir haben sie noch nie gesehen, und es könnte sein, dass sie sich völlig unerwartet verhält.

Bedenken Sie, welche erstaunlichen Möglichkeiten sich daraus ergeben.



Was wäre, wenn Dunkle Materie aus einer neuen Teilchenart bestünde, die wir in Hochenergie-Beschleunigern herstellen und nutzen könnten? Oder wenn wir bei der Entdeckung dessen, was ist, etwas über die physikalischen Gesetze herausfänden, was wir vorher noch nicht wussten, etwa eine neue fundamentale Wechselwirkung oder eine neue Verhaltensweise der bekannten Wechselwirkungen? Oder wenn diese neue Entdeckung uns ermöglichte, die normale Materie auf neue Weise zu manipulieren?

Stellen Sie sich vor, Sie amüsieren sich schon Ihr ganzes Leben lang mit einem bestimmten Spiel und bemerken plötzlich, dass es spezielle Regeln oder spezielle neue Spielsteine gibt, die Sie verwenden dürfen. Was für erstaunliche Technologien oder Erklärungen würden auf uns warten, wenn wir herausfänden, was Dunkle Materie ist und was sie bewirkt?

Wir können die Antwort darauf nicht ewig im Dunkeln lassen. Denn Dunkel bedeutet nicht, dass es sich um eine uninteressante Materie handelt.

