

Leseprobe aus:

J. R. Minkel

Weltall für Eierköpfe



Mehr Informationen zum Buch finden Sie auf rowohlt.de.



INHALT



Vorwort von George Musser 13

MATERIE UND ENERGIE ★★☆☆☆☆ 15

Elektronen, Protonen und Neutronen 16

Atome 18

Die Elemente 20

Moleküle 22

Chemische Energie 25

Aggregatzustände 27

Energieerhaltung 29

Wärme und Temperatur 31

Entropie 33

Der Atomkern 35

Radioaktivität 37

Kernfusion 39

ELEKTROMAGNETISMUS UND LICHT ★★ 41

Elektrizität 42

Magnetismus 44

Elektromagnetismus 46

Lichtwellen 48

Das elektromagnetische Spektrum 50

Photonen 52

DIE UNHEIMLICHE QUANTENWELT ★★ ★ 55

Was ist ein Quant?	56
Welle-Teilchen-Dualität	58
Wahrscheinlichkeitswellen	60
Überlagerung	62
Das Unbestimmtheitsprinzip	64
Verschränkung	66
Quantenunwirklichkeit	68

BEWEGUNG, RAUM UND ZEIT ★★ ★★ ★ 71

Masse und Trägheit	72
Kräfte und Beschleunigung	74
Impuls	76
Gravitation	78
Umlaufbewegung	80
Spezielle Relativität	82
Zeitdilatation	84
Masseenergie und die endliche Lichtgeschwindigkeit	86
Raumzeit	88
Allgemeine Relativität	90

DAS SONNENSYSTEM ★★ ★★ ★★ ★★ ★ 93

Sonne	94
Planeten	96
Merkur	98
Venus	100

Erde	102
Mond	104
Mars	106
Asteroiden	109
Meteore	111
Jupiter	113
Saturn	115
Uranus	117
Neptun	119
Pluto und der Kuipergürtel	121
Kometen	123

DAS GEHEIME LEBEN DER STERNE ★★ ★ 127

Sterne	128
Nebel	131
Rote Riesen	133
Weißer Zwerge	135
Supernovae	137
Neutronensterne und Pulsare	139
Gammastrahlenausbrüche	141
Schwarze Löcher	143

SELTSAME MATERIE UND ENERGIE ★★ ★ 145

Antimaterie	146
Kosmische Strahlung	148
Neutrinos	150
Dunkle Materie	152
Vakuumenergie	155

DIE MILCHSTRASSE UND WAS ES SONST NOCH GIBT ★ ★ ★ ★ ★ 157

Milchstraße	158
Exoplaneten	160
Sternhaufen	162
Galaxien	164
Aktive Galaxien	166
Lokale Gruppe und Galaxienhaufen	168
Evolution der Galaxien	170
Struktur im Großmaßstab	172

KOSMOLOGIE ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ 175

Der Urknall	176
Expandierender Raum	178
Der kosmische Mikrowellenhintergrund	180
Das Universum ist flach	182
Inflation	184
Dunkle Energie	186
Die ersten drei Minuten	188

TEILCHENPHYSIK ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ 191

Das Standardmodell	192
Teilchenbeschleuniger	194
Reich mir die Bosonen, bitte	197
Quarks	199
Die starke Kraft	201
Lernen Sie die Leptonen kennen	203

Die unheimliche Kraft	205
Symmetrie	207
Vereinheitlichung	209
Das Higgs-Boson	211
Quantengravitation	213
Stringtheorie	215

DIE ÄUSSEREN GRENZEN ★★★★★ 217

Außerirdisches Leben	218
Fortgeschrittene Zivilisationen	220
Gefahr für das Leben	222
In einem Schwarzen Loch	225
Der freie Wille und das Universum	227
Zeitreisen und Wurmlöcher	229
Viele Welten	232
Das Schicksal des Universums	235
Der Zeitpfeil	237
Das Multiversum	239



VORWORT



von George Musser

Bitte lassen Sie dieses Buch nie in einer Zeitmaschine liegen, die ins 19. Jahrhundert zurückreist. Es würde die Menschen dort nur verwirren. Wie bitte, die Welt besteht aus winzigen Teilchen? Die Sonne ist ein riesiger Kernreaktor? Der Lauf der Zeit lässt sich verlangsamen? Das Universum dehnt sich aus? Jeder Wissenschaftler, der dieses Buch auf dem Boden neben dem Zeitportal fände, wäre ratlos und gedemütigt. Wahrscheinlich würde er es einfach kurzerhand als verlogen und allzu phantastisch abtun, um es ernst nehmen zu können.

Die Welt hat sich im 20. Jahrhundert beträchtlich verändert, was ganz besonders für die Entdeckungen gilt, die die moderne Wissenschaft gemacht hat. Die Menschen sprechen häufig über die erstaunlichen Erfindungen, die uns die Wissenschaft beschert hat – von Flugzeugen bis zu elektrischen Zahnbürsten –, aber noch bedeutsamer ist der neue Blick auf die Welt, der uns durch die Forschung ermöglicht wurde. Das hat unser Denken erweitert und uns die wunderbare Vielfalt und Komplexität unseres Daseins erschlossen. Viele der Entdeckungen des vergangenen Jahrhunderts hatten lange zuvor schon Blüten getrieben, allerdings benötigten sie innovative Experimente und theoretische Durchbrüche, um Gestalt anzunehmen.

Dem Buch in Ihren Händen gelingt das eindrucksvolle Kunststück, diese neuen Ideen so knapp darzustellen, dass sie nicht allzu viel Ihrer Zeit beanspruchen. Ich fand vielmehr heraus,

dass ich ein Thema wunderbar zwischen zwei U-Bahn-Haltestellen lesen konnte. Der Ansatz, schrittweise vorzugehen, ist nicht nur praktisch und vorteilhaft, sondern vermittelt außerdem, wie die Wissenschaft langsam mit zunehmendem Wissen auf ihren früheren Leistungen aufbaut. Der trockene Humor des Autors J. R. Minkel spiegelt die Haltung der meisten Wissenschaftler zu ihrer Arbeit wider. Sie bemühen sich, die Welt zu verstehen, weil es ihnen Vergnügen bereitet und weil sie überzeugt sind, es schade nichts, wenn sie auch ein bisschen Spaß dabei haben.

In hundert (oder vielleicht auch schon in ein paar) Jahren blicken die Menschen vielleicht zurück und erkennen, wie eine neue wissenschaftliche Revolution aus nebelhaft erkannten Verbindungen zwischen den in diesem Buch verborgenen Vorstellungen und Konzepten aufkeimte, ganz zu schweigen von Entdeckungen, die noch gemacht werden müssen. Was uns heute womöglich noch als allzu verrückt erscheint, wird dann endlich Sinn machen. Andere Aspekte der Welt könnten dann wiederum noch weniger Sinn ergeben als heute – was gut so ist, weil das Leben dadurch interessant bleibt. Wenn daher ein Buch aus der Zukunft aus einer Zeitmaschine vor Ihre Füße fallen sollte, werfen Sie es nicht einfach weg.

George Musser ist Redakteur der Zeitschrift *Scientific American* (deutsche Ausgabe: *Spektrum der Wissenschaft*)



KAPITEL EINS
MATERIE UND ENERGIE



★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★

ELEKTRONEN, PROTONEN UND NEUTRONEN



Basics

Die Welt besteht aus Atomen. Und die Rohbestandteile der Atome nennt man subatomare Teilchen. Wir werden einer ganzen Menge Teilchen in diesem Buch begegnen, aber um Materie zu begreifen, von dem Buch in Ihrer Hand bis zum Inneren eines Sterns, müssen wir diese drei Dinge gut verstehen können: Elektronen, Protonen und Neutronen.

Das Elektron ist ein Elementarteilchen, was bedeutet, es lässt sich nicht weiter in andere Bestandteile zerlegen. Es ist ziemlich winzig – eigentlich lässt sich gar keine Ausdehnung ermitteln –, und seine Masse ist gering. (Jede Materie besitzt Masse, die ein Maß für den Schwung ist, den man braucht, um etwas in Bewegung zu setzen.) Ein Elektron ist negativ elektrisch geladen, was das Gegenteil einer positiven Ladung ist. Gleiche Ladungen stoßen sich ab; gegensätzliche Ladungen ziehen sich an.

Im Gegensatz zu Elektronen sind Protonen und Neutronen keine Elementarteilchen, sondern sind aus kleineren Teilchen zusammengesetzt, die Quarks heißen, worauf wir später zurückkommen werden. Protonen sind positiv geladen, und Neutronen sind elektrisch neutral. Protonen und Elektronen bilden Zweiergruppen aufgrund ihrer elektrischen Anziehung, aber das Proton dominiert die Beziehung, weil es die Masse von rund 1800 Elektronen besitzt. Neutronen sind geringfügig schwerer als Protonen, ansonsten aber identisch mit ihnen.

Grenzen des Wissens

Alles, was wir sehen, Erde und Sterne eingeschlossen, besteht aus Atomen, aber wie sich herausstellt, gibt es eine Menge zusätzliche Materie, die wir nicht sehen können. Die Wissenschaftler nennen sie Dunkle Materie, da sie völlig unsichtbar ist. Der einzige Grund, warum wir an ihre Existenz glauben, sind ihre Auswirkungen auf den anderen Stoff im Universum. Eine der größten Herausforderungen der Wissenschaft von heute stellt die Identifizierung der Dunklen Materie dar. Aber lassen Sie uns das eine Weile aufschieben. Wenn wir das Verhalten der Materie studieren, werden wir dem Verständnis, wie unser Universum so entstand, wie wir es heute beobachten, einen großen Schritt näher kommen.



Fakten zum Angeben

- Alle subatomaren Teilchen einer einzelnen Art sind identisch. Es ist unmöglich, eines davon zu kennzeichnen, wie Sie etwa einen Pinguin oder einen Seehund markieren würden, um deren Wandlungsmuster zu studieren. Sobald Sie daher etwas über ein Teilchen herausfinden, gilt das auch für alle anderen. Das ist ein Naturgesetz!
- Die Ladung eines Elektrons ist eine der elementaren Naturkonstanten. Wir können sie nicht von noch grundlegenden Prinzipien ableiten; wir können sie nur messen.
- Die amerikanischen Physiker Robert Millikan und Harvey Fletcher waren die Ersten, die 1909 die Ladung eines Elektrons gemessen haben, indem sie winzige Öltröpfchen in einem elektrischen Feld zerstäubten. (Sie lagen knapp daneben, aber, hey, selbst Eierköpfe machen manchmal Fehler.)



ATOME



Basics

Die Struktur eines Atoms ähnelt ein wenig der unseres Sonnensystems. Im Mittelpunkt steht ein dichter Kern aus Protonen und Neutronen. Elektronen umkreisen den Kern auf komplizierten Bahnen, sodass alles eher einer Wolke ähnelt, als dass man von Planeten sprechen könnte. (Aber mehr dazu später.) Der Kern ist positiv geladen und zieht auf diese Weise für jedes Proton genau ein Elektron an. Solange die Zahl der Protonen mit der der Elektronen übereinstimmt, ist das Atom elektrisch neutral, was praktisch ist, weil wir sonst durch die Gegend laufen und dabei Funken schlagen würden. Wenn ein Atom Elektronen hinzugewinnt oder verliert, zum Beispiel wegen Reibung oder Wärme, wird es elektrisch aufgeladen, und wir nennen es Ion.

Es gibt 94 natürlich vorkommende Atomsorten – die Elemente. Sie unterscheiden sich durch die Zahl der Protonen in ihren Kernen voneinander. Das ist die Kernladungszahl. Wasserstoff ist mit nur einem Proton das leichteste Element. Weil Elektronen so leicht sind, stammen 99,9 Prozent der Masse eines Elements von seinen Protonen und Neutronen. Alle Elemente existieren in mehrfacher Ausführung mit geringfügig unterschiedlichen Massen. Man nennt sie Isotope. Sie unterscheiden sich durch die Anzahl der Neutronen im Kern.

Manche Isotope sind instabil. Sie spalten sich in einem Prozess, der radioaktiver Zerfall genannt wird, in andere Elemente auf. Alle natürlichen Elemente treten auch vermischt mit radioaktiven Isotopen auf. Forscher können das Alter von Fossilien,

Steinen aus dem Weltraum und anderer historischer Gegenstände schätzen, indem sie das Verhältnis der Isotope in dem Exemplar feststellen.

Grenzen des Wissens

Wegen der Winzigkeit der Atome sollten wir uns nicht allzu sehr grämen, Jahrtausende gebraucht zu haben, um ihre Existenz zu beweisen. Im 19. Jahrhundert stellten Wissenschaftler fest, dass sie das Verhalten von Gasen und Flüssigkeiten erklären konnten, wenn sie von der Annahme ausgingen, dass Atome sich wie Billardkugeln gegenseitig herumschubsten. Heute können wir dank eines speziellen Instruments namens Elektronenmikroskop, das mit Hilfe eines dünnen Elektronenstrahls Oberflächen abtastet, Atome unmittelbar nachweisen.

Wissenschaftler der University of California in Berkeley trieben 2008 die Empfindlichkeit der Elektronenmikroskopie weit genug auf die Spitze, um einzelne, auf einer extrem flachen Oberfläche schwebende Wasserstoffatome – die leichtesten Atome schlechthin – herauszufischen.

Fakten zum Angeben

- Könnten Sie einen Apfel auf die Größe der Erde ausweiten, wären die Atome darin so groß wie der ursprüngliche Apfel. Beißen Sie zu!
- Die Vorstellung von Atomen reicht ein paar tausend Jahre zurück zu frühen Eierköpfen wie Demokrit aus Griechenland, der behauptete, Materie müsse aus Teilchen bestehen, die nicht weiter in kleinere Stücke aufgeteilt werden könnten. (Das Wort Atom bedeutet im Griechischen «das Unzerschneidbare».) Die alten Griechen hatten nur zum Teil recht. Atome sind zwar die kleinsten Einheiten der Elemente, aber nicht die kleinsten Einheiten der Materie.



DIE ELEMENTE



Basics

Elemente sind Substanzen, die nicht in einfachere Substanzen zerlegt werden können. Wir ordnen die Elemente nach ihrer Lage im Periodensystem der Elemente an, die der russische Chemiker Dmitri Mendelejew 1869 allen Schulkindern auf der Welt hinterlassen hat. Heute wissen wir, dass sie unterschiedliche Atomsorten darstellen.

Das moderne Periodensystem ist in Reihen und Spalten eingeteilt. Elemente in derselben Spalte haben ähnliche chemische Eigenschaften. So sind zum Beispiel die alkalischen Metalle – Lithium, Natrium, Kalium und so weiter – derart reaktionsfreudig, dass sie beim Kontakt mit Wasser explodieren, während die Edelgase – Helium, Neon, Argon und so weiter – alle träge (inert) sind, d. h., sie leisten Widerstand gegen die Bildung von Molekülen.

Die Reihen sind eine kniffligere Angelegenheit. Elektronen umkreisen den Kern in unterschiedlichen Regionen, die Hüllen genannt und wie Stühle um einen Tisch besetzt werden können. Ein Atom strebt stets nach einer vollen Hülle. Die Chemie eines Elements hängt davon ab, wie vollständig seine äußere Hülle ist. Hat ein Atom ein Elektron zu wenig oder zu viel, kann es sich einfach ein anderes Elektron schnappen (oder eins seiner eigenen abgeben) und zu einem Ion werden.

Manche Elemente sind weit verbreitet, andere wiederum kommen äußerst selten vor. Sollten Sie ein Element benennen können, ist es wahrscheinlich ein allgemein bekanntes.

Die Erde und andere Felsplaneten bestehen aus Silizium, Eisen, Kohlenstoff, Stickstoff, Phosphor und aus ganzen Heerscharen weniger geläufiger Elemente. Die Erdatmosphäre ist hauptsächlich aus Stickstoff und Sauerstoff zusammengesetzt.

Grenzen des Wissens

Elemente, die schwerer als Fermium (100 Protonen) sind, zeichnen sich im Allgemeinen durch Instabilität aus. Deshalb existieren sie nur Tage, Stunden, wenige Sekunden oder noch kürzer. Forscher des Lawrence Livermore National Laboratory in Berkeley synthetisierten 2006 das superschwere Element 118, indem sie Isotope von Californium (98 Protonen) und Kalzium (20 Protonen) zusammenstoßen ließen. Es zerfiel in 0,9 Millisekunden in leichtere Elemente.

Das Periodensystem bewies 2007 seine Tugenden erneut, als Forscher in der Schweiz berichteten, dass das langlebige superschwere Element 112 («Copernicium») auf dieselbe Art und Weise Verbindungen mit Goldatomen einging wie die Spalten-Nachbarn Zink und Quecksilber.

Fakten zum Angeben

- Die am häufigsten vorkommenden Elemente im Universum sind Wasserstoff und Helium.
- Man kann tatsächlich die meisten Elemente im Internet kaufen, sogar ein paar radioaktive. Es gibt Leute, die das Sammeln von Elementen zu ihrem Hobby gemacht haben.
- Die Elemente, aus denen die Erde besteht (auch die in unserem Körper), entstanden vor rund fünf Milliarden Jahren in sterbenden Sternen, die explodierten und ihre Asche im Weltraum verstreuten.