

MARCUS CHOWN

# Intelligentes Leben im Universum

Was wir im Alltag über Physik lernen können



# Inhalt

Vorwort . . . . .	9
-------------------	---

## ERSTER TEIL

Was die Alltagswelt uns über Atome verrät

1	Das Gesicht in der Fensterscheibe . . . . .	17
2	Warum Atome einen irren Veitstanz aufführen . . . . .	51
3	Nicht mehr als zwei Erbsen auf einmal in der Schote . . . . .	73

## ZWEITER TEIL

Was die Alltagswelt uns über die Sterne verrät

4	Worüber sich Kelvin den Kopf zerbrach . . . . .	99
5	Sie und ich und der immens unwahrscheinliche Tripel-Alpha-Prozess . . . . .	130
6	Der 4,5-Milliarden-Grad-Brennofen . . . . .	148

## DRITTER TEIL

Was die Alltagswelt uns über das Universum verrät

7	Unsäglich schwach: das Sternenlicht . . . . .	165
8	Der Knall vor dem Großen Knall . . . . .	179
9	Die Humpty-Dumpty-Tendenz . . . . .	193
10	Die zufallsbedingte Wirklichkeit . . . . .	211
11	Die Erde ist voll – geht wieder heim . . . . .	223

## Anhang

Anmerkungen . . . . .	251
Glossar . . . . .	275
Zur weiteren Lektüre empfohlen . . . . .	309
Danksagung . . . . .	311
Namenregister . . . . .	313

# I

## Das Gesicht in der Fensterscheibe

Warum Sie der schockierendsten  
Entdeckung in der Geschichte der  
Wissenschaft ins Auge blicken,  
wenn sie vor einer Fensterscheibe  
stehen, in der Sie Ihr Gesicht  
gespiegelt sehen

Motto: Une difficulté est une lumière.  
Une difficulté insurmontable est un soleil.  
(Eine Schwierigkeit ist ein Licht.  
Eine unüberwindliche Schwierigkeit  
ist eine Sonne.)  
Paul Valéry, *Mauvaises pensées*

Kein Fortschritt ohne Paradoxon  
John Wheeler 1985

Sie stehen versonnen am nächtlichen Fenster und blicken auf die Lichter der Großstadt hinaus. Draußen regnet es. Sie sehen die vorbeifahrenden Autos drunten auf der Straße, und Sie erkennen die schwache Spiegelung Ihres Gesichts zwischen den Rinnsalen von Regenwasser auf der Scheibe. Ob Sie es glauben oder nicht, diese einfache Beobachtung verrät Ihnen etwas Profundes und Schockierendes über die Grundbeschaffenheit der Wirklichkeit. Sie verrät Ihnen, dass das Universum auf tiefster Ebene in Zufall und Unberechenbarkeit gründet, in der Launenhaftigkeit eines Würfelwurfs – dass alles ohne jeden Grund geschieht.

Dass Sie die Großstadtlichter draußen und zugleich das schwache Abbild Ihres Gesichts sehen können, liegt daran, dass etwa 95 Prozent des auf die Scheibe auftreffenden Lichts diese glatt passieren und etwa fünf Prozent reflektiert werden. Das ist leicht zu verstehen, wenn das Licht das ist, wofür es gemeinhin gehalten wird: eine Welle, vergleichbar dem Gekräusel auf einem Gewässer. Denken Sie an die Bugwelle eines Schnellboots, das auf einem See dahinjagt. Trifft sie auf ein auf dem Wasser treibendes Stück Holz, läuft ein großer Teil der Welle, unbeeinflusst von dem Hindernis, einfach weiter, während ein kleiner Teil kehrtmacht. Ähnlich, wenn eine Lichtwelle auf ein Hindernis in Form einer Glasscheibe trifft: Zum größten Teil wird sie durchgelassen, ein kleiner Teil wird zurückgeworfen.

So weit ist das eine durchaus einfache Erklärung dafür, warum Sie Ihr Gesicht in der Fensterscheibe gespiegelt sehen. Sie scheint auf jeden Fall keine Aussage über die Grundbeschaffenheit der Wirklichkeit einzuschließen. Doch das ist eine Täuschung. Das Licht ist nicht das, was es zu sein scheint. Es hat eine Eigenheit in petto, die dieses einfache Bild über den Haufen wirft und alles ändert. Im 20. Jahrhundert entdeckte man eine Anzahl Phänomene, die erkennen lassen, dass das Licht sich nicht wie eine Wasserwelle auf einem Teich, sondern wie ein Strom von – mikroskopisch kleinen Geschossen ähnelnden – Teilchen verhält. Da war zum Beispiel der Compton-Effekt, aus dem sich etwas über die eigentümliche Art und Weise ersehen ließ, wie Licht sich an einem Elektron bricht beziehungsweise an ihm »streut«. Das 1897 von dem an der University of Cambridge lehrenden Physiker Joseph John (»J.J.«) Thomson entdeckte Elektron ist das erste nachgewiesene subatomare Teilchen und einer der wichtigsten Bausteine des Atoms obendrein.

Im Jahr 1922 untersuchte der amerikanische Physiker Arthur Compton, was mit Licht geschieht, mit dem man Elektronen bestrahlt. Vor seinem geistigen Auge hatte er das Bild von Lichtwellen, die sich an einem Elektron brechen wie Wasserwellen an einer Boje. Wer Letzteres schon beobachtet hat, wird wissen, dass

die Spanne der Wellen, die »Wellenlänge«, sich dabei nicht ändert. Anders gesagt, der Abstand zwischen zwei benachbarten Wellenbergen beziehungsweise Wellentälern bleibt bei der abgehenden Welle der gleiche wie bei der ankommenden. Bei Comptons Experimenten war dies jedoch ganz und gar nicht der Fall. Nachdem die Wellen sich an Elektronen gebrochen hatten, war ihre Länge *größer* als zuvor. Und je größer die durch den Zusammenstoß bewirkte Abweichung in der Bewegungsrichtung des Lichtstrahls, desto stärker war die Vergrößerung der Wellenlänge. Es war, als würde blaues Licht mit seiner charakteristischen kurzen Wellenlänge durch die bloße Brechung an einem Elektron wie von Zauberhand in langwelliges rotes Licht verwandelt.<sup>1</sup> Eine längerwellige, trägere Welle ist nicht so energetisch wie eine kurzwellige, aufgeregte. Aus seinen Experimenten lernte Compton also, dass Licht, wenn es sich an einem Elektron bricht, dabei aus irgendeinem Grund an Energie verliert.

Das Bild, das sich der Experimentator, bevor er zur Tat schritt, von dem Geschehen gemacht hatte, entpuppte sich als ein Schuss in den Ofen. Licht hatte sich im Experiment nicht entfernt so verhalten wie eine Wasserwelle, die sich an einer Boje bricht. Ja, je länger er über die Sache nachdachte, desto klarer wurde ihm, dass es sich wie eine Billardkugel nach dem Zusammenstoß mit einer anderen Kugel verhalten hatte. Wird eine Billardkugel von der Stoßkugel getroffen, schießt sie davon und nimmt einen Teil der Energie der Stoßkugel mit sich. Der Stoßkugel geht so zwangsläufig Energie verloren. Elektronen waren, wie man wusste, so etwas wie winzige Billardkugeln. Aber vom Licht war bekannt, dass es sich wie eine Welle im Raum fortpflanzte. Comptons Experimente ließen jedoch keinen Raum für Zweifel. Ungeachtet der im Lauf von Jahrhunderten zusammengetragenen Beweise des Gegenteils musste das Licht auch aus – winzigen Billardkugeln vergleichbaren – Teilchen bestehen. Für seine bahnbrechende Arbeit zum Nachweis des Teilchencharakters des Lichts erhielt Compton 1927 den Nobelpreis für Physik.

Einen weiteren Beweis dafür, dass Licht sich wie ein Teilchenstrom verhält, liefert der photoelektrische Effekt (oder Photoeffekt) – jedem bekannt, der schon einmal erlebt hat, wie sich die Blätter der Schiebetür am Eingang zum Supermarkt bei seiner Ankunft vor ihm teilen gleich dem Roten Meer im Buch Exodus. Anlass des Auseinandergleitens der Türblätter ist die Unterbrechung eines Lichtstrahls durch ein näher kommendes Bein. Der Lichtstrahl fällt auf eine »Fotозelle«, ein Gerät, in dem ein Stück Metall Elektronen emittiert, solange Licht bestimmter Frequenz auftrifft. Das geschieht, weil die Elektronen so locker an ihr Elternatom gebunden sind, dass die von dem Lichtstrahl abgegebene Energie ausreicht, um sie aus ihrer Bindung zu schlagen. Unterbricht nun irgendetwas den Lichtstrahl, wird die Fotозelle überschattet und der Elektronenspritzstrahl hört auf. Die Elektronik ist nun so ausgelegt, dass das Ausbleiben der Elektronen in elektrische Schaltsignale umgewandelt wird, die den Motor, der die Tür öffnet, in Gang setzen.

Was hat der photoelektrische Effekt mit dem Teilchencharakter des Lichts zu tun? Wenn das Licht eine Welle ist, dann ist es nahezu unmöglich zu erklären, wie es Energie effizient an ein winziges lokalisiertes Elektron abgeben kann. Ausgedehnt, wie sie ist, wird eine typische Lichtwelle mit einer großen Zahl über die Oberfläche des Metalls verteilter Elektronen interagieren. Naturgemäß werden dann manche Elektronen früher, andere später ausgeschlagen. Tatsächlich hat sich bei Berechnungen gezeigt, dass zwischen dem Ausschlagen einzelner Elektronen Pausen von bis zu zehn Minuten liegen können. Stellen Sie sich vor, der Elektronenfluss in der Fotозelle brauchte zehn Minuten, um zustande zu kommen und die Supermarktkunden müssten zehn Minuten warten, bis die automatische Tür sich öffnet.

Besteht jedoch das Licht aus winzigen Teilchen und jedes interagiert mit einem einzelnen Elektron an der Oberfläche des Metalls, ergibt sich ein plausibles Bild. Das in solchen »Photonen« gebündelte Licht verstreut seine Energie nicht über eine Vielzahl von Elektronen, sondern trifft mit voller Wucht genau

auf den Punkt. Nicht nur schlägt jedes einzelne Photon ein einzelnes Elektron aus, sondern es tut dies auch sofort und nicht mit zehnminütiger Verzögerung. Sie können dem Teilchencharakter des Lichts dafür dankbar sein, dass Sie prompten Zutritt zum Supermarkt haben.

Einstein erklärte 1905 den photoelektrischen Effekt mit der Tatsache, dass Licht aus winzigen (im mathematischen Sinn) diskreten Einheiten mit Teilcheneigenschaften – »Lichtquanten« – besteht, und erhielt dafür 1921 den Nobelpreis für Physik. Viele sind überrascht, wenn sie das erfahren. Sie fragen sich, wieso ihm der Preis nicht für die Relativitätstheorie verliehen wurde, die unsere Auffassung von Raum und Zeit für immer veränderte und ihn berühmt machte. Indes, Einstein selbst betrachtete die Relativitätstheorie stets als eine natürliche und wenig überraschende Weiterentwicklung der Physik des 19. Jahrhunderts.<sup>2</sup> Seine Lichtquantentheorie stand in seinen Augen einzig da unter seinen wissenschaftlichen Leistungen: als die einzige wahrhaft revolutionäre Idee, die er in seinem Leben gehabt hatte.

Seine Arbeit über die Existenz von Lichtquanten veröffentlichte Einstein im selben »annus mirabilis« wie seine Relativitätstheorie. Fünf Jahre zuvor, 1900, hatte der Physiker Max Planck eine Lösung für ein grundlagentheoretisches Problem der Thermodynamik (die »Schwarzkörperstrahlung« betreffend) gefunden, und zwar mit der Hypothese, dass Atome nur auf bestimmten diskreten Energieniveaus oszillieren können und dass die daraus resultierende Wärmeenergie nur in Form von unteilbaren Elementen (Quanten) beziehungsweise deren ganzzahligem Vielfachem abgestrahlt wird. Planck betrachtete die Quanten zunächst als nichts weiter denn eine rein formale mathematische Hilfsgröße ohne physikalische Bedeutung. Erst Einstein begriff sie als reale Tatsache – die er in einem Lichtstrahl als Photonenstrom durch den Raum fliegen sah.