



Lars Jaeger

Die zweite Quanten- revolution

Vom Spuk im Mikrokosmos zu neuen
Supertechnologien

EBOOK INSIDE

 Springer

Die zweite Quantenrevolution

Lars Jaeger

Die zweite Quanten- revolution

Vom Spuk im Mikrokosmos zu
neuen Supertechnologien



Springer

Lars Jaeger
Baar, Schweiz

ISBN 978-3-662-57518-5 ISBN 978-3-662-57519-2 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-57519-2>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2018
Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Text- und Konzeptberatung: Dr. Bettina Burchardt
Umschlaggestaltung: deblik Berlin unter Verwendung einer Abbildung
von © bunch_bundle, Adobe Stock

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature
Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Meinen Freunden Wolfgang und Alexander

Prolog: Das weiße Kaninchen

In Douglas Adams' Parodie auf das intergalaktische Geschehen *Per Anhalter durch die Galaxis* heißt es gleich zu Beginn des zweiten Buchs:

Es gibt eine Theorie, die besagt, wenn jemals irgendwer genau herausfindet, wozu das Universum da ist und warum es da ist, dann verschwindet es auf der Stelle und wird durch noch etwas Bizarrereres und Unbegreiflicheres ersetzt. – Es gibt eine andere Theorie, nach der das schon passiert ist.

Passender lässt sich die Physik des 20. Jahrhunderts kaum beschreiben. Um 1900 herum waren physikalische Konzepte wie Felder und Wellen, die unsichtbare Kraft der Gravitation und die Entropie bereits etwas bizarr und für ein breites Publikum nur schwer begreiflich. All diese

Phänomene konnte man nicht sehen oder anfassen, doch sie waren berechenbar und vorhersagbar und gaben das, was die Menschen in ihrem Alltag erlebten, wieder. Trotz ihrer Abstraktheit waren sie immer noch sehr anschaulich im Vergleich zu den Gedankengebäuden, die die Physiker entwickeln mussten, um die Natur der Atome (sowie auch die Weiten des Universums) zu begreifen.

Der Siegeszug des völlig Bizarren begann mit der Beobachtung, dass auf atomarer Ebene bestimmte Größen nicht jeden beliebigen Wert annehmen können. Zum Beispiel nimmt die abgestrahlte Energie bestimmter Körper nur festgelegte, also diskrete Werte an. Sie ist sozusagen abgepackt, in sogenannten Quanten (vom lateinischen Wort *quantum* – so viel). Würden die Regeln der Mikrowelt auch in „unserer“ Welt gelten, könnten wir in unserer Wohnung nur eine Zimmertemperatur von 10, 20 oder 30 °C einstellen, alle Werte dazwischen gäbe es einfach nicht. Kurze Zeit darauf erkannten die Physiker, dass Licht eine Doppelnatur aufweist: Einmal ist es eine Welle, ein anderes Mal ein Teilchen. Gleiches beobachteten sie dann auch beim Elektron. Doch wie kann ein räumlich lokalisiertes Teilchen gleichzeitig eine räumlich ausgedehnte, also delokalisierte Welle sein? In der Welt der klassischen Wissenschaften, in der Weiß immer Weiß ist und Schwarz immer Schwarz, stellte dieser „Welle-Teilchen-Dualismus“ eine unerhörte Provokation dar.

Im ausgehenden 19. Jahrhundert hatten sich die Physiker gerade an den Gedanken gewöhnt, dass sie mit ihren Theorien bald die Welt vollständig verstehen würden. Doch kurz darauf waren sie plötzlich gezwungen, sich von 250 Jahre alten physikalischen und mehr als

2500 Jahre alten philosophischen Gewissheiten zu verabschieden. Mit immer mehr „Unmöglichkeiten“ mussten sie lernen umzugehen: Quantenobjekte können mehrere Zustände gleichzeitig aufweisen, beispielsweise zum gleichen Zeitpunkt an verschiedenen Orten sein. Und dann besitzen Quantenobjekte noch nicht einmal objektiv festgelegte Eigenschaften: Ihre Eigenschaften lassen sich nur mit Wahrscheinlichkeiten angeben, Messergebnisse sind vom Beobachter abhängig, und ihre Zustände (Wellenfunktionen) zerfallen einfach so außerhalb jeglicher Zeit. Und schließlich ist da noch das Merkwürdigste aller Quantenphänomene: die Verschränkung räumlich getrennter Teilchen. Selbst wenn sie weit voneinander entfernt sind, können zwei Teilchen wie durch Zauberei aneinander gekoppelt sein. Unterm Strich lässt sich sagen: Das Wesen und die Eigenschaften von Quantenobjekten sind hochabstrakt und lassen sich nicht mehr mit unseren Alltagsvorstellungen und Denktraditionen vereinbaren.

Trotz all dieser unanschaulichen Unwägbarkeiten sagt die heutige Quantentheorie den Ausgang von Experimenten und Naturgeschehnissen mit einer in der gesamten Wissenschaft unübertroffenen Exaktheit vorher. Wieder ein kontraintuitiver Zusammenhang, der jeder Alltagserfahrung widerspricht: Aus etwas, das unbestimmt und nicht fassbar ist, wird ein zu hundert Prozent berechenbarer Vorgang.

Die Quantenphysik erscheint völlig verrückt: Wir begreifen zwar nicht, was genau und warum etwas passiert, können es aber exakt berechnen.

Weil wir immer exakter berechnen können, was sich auf atomarer Ebene abspielt, beherrschen wir den Mikrokosmos immer besser. Längst sind Anwendungen der Quantenphysik konkreter Bestandteil unseres Lebens geworden. Elektronik, Digitaltechnologien, Laser, Mobiltelefon, Satelliten, Fernseher, Radio, Nukleartechnik, die moderne Chemie, medizinische Diagnostik – all diese Technologien beruhen auf ihr. Wir vertrauen uns den Quantentechnologien an, auch wenn die dahinterstehende Theorie – unserem alltäglichen Verständnis nach – eine Welt mit sehr unsicheren und unbeständigen Erscheinungsformen und scheinbar paradoxen Eigenschaften beschreibt.

Erst seit einigen Jahren beginnen die Physiker, sich bewusstzumachen, dass die Quantenphysik einen bedeutenden Vorrat an noch nicht ausgeschöpften technologischen Möglichkeiten besitzt. Der renommierte Quantenphysiker Rainer Blatt sagt für das 21. Jahrhundert ein weiteres „Jahrhundert der Quantentechnologie“ voraus, das sowohl die Wirtschaft als auch die Gesellschaft noch einmal fundamental verändern werde. Wir beginnen gerade erst zu verstehen, was uns durch diese Revolution an Möglichkeiten erwächst, so Blatt.¹

Vieles, was in der Praxis schon umgesetzt wird, ist in der Theorie lange nicht ganz verstanden worden, teils sogar bis heute nicht. Die Quantenphysiker von heute sind wie Zauberer auf der Bühne, die Abend für Abend zuverlässig und mit größter Selbstverständlichkeit weiße

¹66. Lindauer Nobelpreisträgertagung, 26. Juni bis 1. Juli 2016.

Kaninchen aus ihrem Zylinder zaubern. Aber sie haben genauso wenig wie das Publikum eine Ahnung davon, wie diese in den Hut gekommen sind.

Ich möchte Sie mitnehmen in die völlig verrückte, großartige, unglaubliche Welt der Quanten. Auf dieser Reise werden wir zunächst die Welt der Quantentechnologien betrachten, die unsere Welt schon heute so maßgeblich prägen. Dabei werden wir erkennen, dass wir am Anfang einer weiteren atemberaubenden technologischen Entwicklung stehen. Im zweiten und im dritten Teil schauen wir uns die bizarren Entdeckungen in der Quantenwelt genauer an, die, wie im vierten Teil des Buches erläutert werden soll, auch das philosophische, spirituelle und religiöse Denken des 20. Jahrhunderts bedeutend prägen sollten. Der fünfte Teil führt uns schließlich zum unumstrittenen Kern der Quantenwelt, der die Basis zahlreicher aufregender zukünftiger Quantentechnologien darstellt und den die Physiker erst in den letzten Jahren so richtig erfassen konnten: *das Phänomen der Verschränkung*. Hier lösen sich, wie wir sehen werden, einige der hartnäckigsten Widersprüche auf, mit denen sich die Gründungsväter der Quantenphysik herumschlugen. Allerdings werden wir dabei neuen Fragen und weiteren scheinbaren Widersprüchen begegnen. Im letzten Kapitel wagen wir dann einen konkreten Ausblick, wie neue Quantentechnologien unseren zukünftigen Alltag prägen könnten.

Zahlreiche Personen haben diesen Text gelesen und dabei wertvolle Verbesserungsvorschläge gemacht. Zuallererst möchte ich Frau Bettina Burchardt danken, ohne die das