

Vorwort

Die Quantenmechanik ist eine der wichtigsten Theorien der modernen Physik. Mit ihr lassen sich nicht nur grundlegende Phänomene wie z.B. das Emissionsspektrum von Atomen oder die Stabilität von Materie erklären, sondern sie steckt auch in vielen technischen Anwendungen vom MP3-Player bis zum Tunnelmikroskop, und in Zukunft werden wir vermutlich Technologien wie Quantenkryptographie oder Quantencomputer mit großer Selbstverständlichkeit einsetzen. Die Kenntnis der Quantenmechanik ist daher nicht nur ein Schlüssel für das Verständnis unserer Welt, sondern unabdingbar für die Entwicklung moderner Technologien. Folgerichtig wird die Quantenmechanik heute oft schon in der Schule gelehrt; in jedem Fall jedoch an Universitäten, wo sie in den meisten Naturwissenschaften und auch in vielen Ingenieurwissenschaften zum Curriculum gehört.

Eine große Hürde bei der Vermittlung und damit auch auf dem Weg zum Verständnis der Quantenmechanik ist nun nicht, wie man etwa vermuten könnte, die Mathematik, auch wenn diese an der einen oder anderen Stelle sicherlich einige Herausforderungen beinhaltet, sondern die Sprache. Der Grund dafür liegt darin, dass Sprache kein gegebenes Konstrukt ist, welches unabhängig vom Menschen und dessen Wissen über die Welt existiert, sondern sich vielmehr im Laufe der Menschheitsgeschichte durch die Auseinandersetzung des Menschen mit seiner Umwelt entwickelt hat. Sprache ist damit auch immer ein Abbild der Welt, so wie sie der Mensch wahrnimmt. Und dass diese Wahrnehmung gelegentlich trügt, wissen wir spätestens seit Einstein, der uns gezeigt hat, dass unsere Vorstellung von Raum und Zeit nicht der physikalischen Wirklichkeit entspricht. Die Quantenmechanik führt uns nun, mehr noch als die Relativitätstheorie, weg von den uns vertrauten Vorstellungen von der physikalischen Wirklichkeit. Damit verliert aber auch die Sprache ihre Legitimation als ein Werkzeug zur Beschreibung der Quantenmechanik.

Streng genommen verbleibt als einzig legitimer Zugang zur Quantenmechanik daher die Mathematik. Mit ihr lassen sich, aufbauend auf einer Handvoll Axiome, alle Gesetze der Quantenmechanik ableiten und damit alle physikalischen Beobachtungen korrekt und widerspruchsfrei beschreiben. Allerdings sind diese Axiome, im Gegensatz zu z.B. denen der Newton'schen Mechanik, alles andere als unmittelbar einsichtig. Um daher auch solchen Leserinnen und Lesern den Zugang zur Quantenmechanik zu ermöglichen, welche die Quantenmechanik nicht als Teildisziplin der Mathematik oder der theoretischen Physik betreiben wollen, werden wir in diesem Buch trotz aller Gefahren den Weg der Sprache und der Bilder beschreiten. Dabei gehen wir von wenigen einfachen Schlüsselexperimenten aus, mit denen sich die Grundgleichungen der Quantenmechanik anschaulich begründen lassen. Im Gegensatz zu vielen anderen Lehrbüchern greifen wir jedoch nicht auf das berühmte Doppelspaltexperiment mit Elektronen oder das Experiment von Stern-Gerlach zurück, sondern wir arbeiten in den ersten Kapiteln ausschließlich mit einem Interferometer und Polarisationsfiltern

sowie mit Laserlicht. Auch dies erscheint auf den ersten Blick problematisch, handelt es sich doch gerade bei Licht um eine Erscheinung, deren Beschreibung sich bei genauerer Betrachtung als äußerst schwierig erweist. Tatsächlich lässt sich aber gerade so auf einfache Weise zeigen, dass die klassische Physik, die im Wesentlichen unsere Alltagserfahrung widerspiegelt, nicht hinreichend ist, um die uns umgebende Welt zu beschreiben, sondern wir dazu z.B. die Quantenmechanik benötigen, die mit ihrer Wahrscheinlichkeitsinterpretation – im Gegensatz zur klassischen Physik – in der Lage ist, all unsere experimentellen Befunde widerspruchsfrei zu erklären. Ein weiterer Vorteil ist, dass die verwendeten Experimente im Prinzip in jedem Schullabor durchgeführt werden können. Die im ersten Teil des Buches verwendete Mathematik beschränkt sich zudem auf die komplexe Exponentialfunktion zur Beschreibung einer Welle sowie elementare Vektorrechnung.

Im zweiten Teil des Buchs leiten wir dann Schritt für Schritt die wesentlichen Gleichungen der Quantenmechanik ab, indem wir die experimentellen Befunde auf eine geeignete Mathematik abbilden. Die Einführung von Operatoren, die das mathematische Äquivalent einer physikalischen Messung darstellen, und die Bra-Ket-Schreibweise als abstrakte Darstellung von physikalischen Zuständen erfolgt dabei praktisch zwanglos, da diese lediglich als abgekürzte und vereinfachende Schreibweisen eingeführt werden.

Mit diesen Werkzeugen ausgestattet, können wir dann im letzten Teil des Buchs eine Auswahl von Anwendungen der Quantenmechanik behandeln, wobei der Begriff Anwendung hier recht weit gefasst ist. Wir werden nicht nur konkrete aktuelle und zukünftige technische Anwendungen wie Flash-Speicher oder den Quantencomputer behandeln, sondern auch zeigen, wie die Quantenmechanik elementare physikalische Fragen beantworten kann, z.B. warum Materie ausgedehnt oder Moleküle stabil sind.

An Vorkenntnissen werden von Leserinnen und Lesern die höhere Mathematik, wie sie in technischen oder physikalischen Studiengängen auf universitärem Niveau vermittelt wird, vorausgesetzt. Zentrale Werkzeuge werden dabei neben der Vektorrechnung und der Differential- und Integralrechnung sowie der linearen Differentialgleichungen die komplexen Zahlen sein.

Hamburg, im Frühjahr 2022