

# 18 „Aussprechbares“ und „Unaussprechliches“ in der Quantenmechanik

„... die Geschichte der Theorien über den Kosmos kann ohne Übertreibung als eine Geschichte der kollektiven Besessenheiten und kontrollierten Schizophrenien bezeichnet werden; und die Art und Weise, in der einige der wichtigsten individuellen Entdeckungen erreicht wurden, erinnert an die Leistungen eines Schlafwandlers. . .“

Das ist ein Zitat aus dem Buch *Die Schlafwandler* von A. Koestler. Es ist eine Darstellung der kopernikanischen Wende – mit Kopernikus, Kepler und Galilei als deren Helden. Koestler war natürlich beeindruckt von der Größe des Schrittes, den diese Männer machten. Er war auch fasziniert von der Art und Weise, wie sie ihn machten. Er sah sie motiviert durch irrationale Vorurteile, an denen sie stur festhielten; Fehler machend, die sie nicht entdeckten, die sich irgendwie an den wichtigen Punkten aufgehoben; und nicht in der Lage zu erkennen, was von ihren Ergebnissen wichtig war – zwischen den Unmengen von Details. Er folgerte, dass ihnen nicht bewusst war, was sie taten . . . Schlafwandler. Ich dachte mir, es wäre interessant, Koestlers These im Sinn zu behalten, wenn wir bei diesem Meeting von modernen Theorien von modernen Theoretikern hören.

Seit vielen Dekaden ruhen unsere fundamentalen Theorien auf den zwei Grundpfeilern, denen dieses Meeting gewidmet ist: Quantentheorie und Relativitätstheorie. Wir werden sehen, dass die Forschungsfelder, die durch diese Theorien eröffnet wurden, quicklebendig sind. Wir werden sehen, wie in eine gewaltige, und weiter wachsende Ansammlung von experimentellen Daten Ordnung gebracht wird. Wir werden sogar eine fortwährende Fähigkeit sehen, den Daten voraus zu sein . . . wie bei der Existenz und den Massen der W- und Z-Mesonen. Vielleicht überzeugt uns das mehr als alles andere, dass in dem was getan wird, Wahrheit liegt.

Werden wir in der Art und Weise, wie dieser Fortschritt gemacht wird, einige Elemente von Koestlers Bild wiederfinden? Bestimmt werden wir keine besessene Hingabe finden; wie bei den alten Helden zu ihren Hypothesen. Unsere Theoretiker nehmen Hypothesen auf und legen sie ab mit leichtem Herzen – spielerisch. Es gibt darin keine religiöse Intensität. Und bestimmt auch keine Furcht, in einen Rechtsstreit mit religiösen Autoritäten verwickelt zu werden. Was technische Fehler angeht: Unsere Theoretiker machen keine. Und sie sehen auf einen Blick, was wichtig und was Detail ist. Deshalb

ist es eine andere Eigenschaft des modernen Fortschritts, die mich an den Titel von Koestlers Buch erinnert. Dieser Fortschritt wird gemacht ungeachtet der fundamentalen Unklarheit in der Quantenmechanik. Unsere Theoretiker schreiten ungehindert durch diese Unklarheit . . . schlafwandlerisch?

Der so gemachte Fortschritt ist ungeheuer beeindruckend. Wenn er von Schlafwandlern gemacht wird – ist es klug, „Aufwachen“ zu rufen? Ich bin nicht sicher. Darum spreche ich sehr leise weiter.

Ich werde gleich versuchen, das „Problem“ der Quantenmechanik zu lokalisieren. Aber zunächst möchte ich einem Mythos widersprechen. . . , dass die Quantentheorie die Kopernikanische Wende in gewissem Sinne rückgängig gemacht hat. Von deren Machern haben wir gelernt, dass die Welt besser verständlich ist, wenn wir uns selbst nicht in ihrem Mittelpunkt vorstellen. Bringt die Quantenmechanik nicht wieder die „Beobachter“ . . . uns . . . in den Mittelpunkt dieses Bildes? In der Tat ist in Büchern über Quantentheorie viel von „Observablen“ die Rede. Und aus einigen populären Darstellungen könnte die allgemeine Öffentlichkeit den Eindruck gewinnen, dass die bloße Existenz des Kosmos davon abhängt, dass wir hier sind und die Observablen beobachten. Ich weiß nicht, ob das irrig ist. Und ich bin geneigt zu hoffen, dass wir tatsächlich so wichtig sind. Aber ich sehe in dem Erfolg der modernen Quantentheorie keinen Beweis, dass dem so ist.

Darum denke ich, es ist nicht richtig, der Öffentlichkeit zu sagen, dass in der modernen Atomphysik eine zentrale Rolle für das Bewusstsein integriert ist. Oder, dass „Information“ der reale Stoff der theoretischen Physik ist. Es scheint mir unverantwortlich, nahezulegen, dass technische Eigenschaften der modernen Theorie von den Heiligen der antiken Religionen vorausgeahnt wurden . . . durch Selbstbeobachtung.

Der einzige „Beobachter“, der in der orthodoxen, praktischen Quantentheorie unentbehrlich ist, ist der leblose Apparat, der mikroskopische Ereignisse zu makroskopischen Konsequenzen verstärkt. Natürlich wird dieser Apparat in Laborexperimenten durch Experimentatoren ausgewählt und eingestellt. In diesem Sinn sind die Ergebnisse der Experimente tatsächlich von den mentalen Prozessen der Experimentatoren abhängig! Aber wenn der Apparat einmal aufgebaut ist und ohne Beeinflussung arbeitet, ist es vollkommen egal . . . gemäß der üblichen Quantenmechanik. . . , ob die Experimentatoren dabeistehen und zusehen, oder ob sie dieses „Beobachten“ an Computer delegieren.

Warum diese Notwendigkeit, sich auf den „Apparat“ zu beziehen, wenn wir Quantenphänomene diskutieren wollen? Die Physiker, die zuerst auf solche Phänomene stießen, fanden sie so bizarr, dass sie daran verzweifelten, sie mit Begriffen gewöhnlicher Konzepte, wie Raum und Zeit, Position und Geschwindigkeit zu beschreiben. Die Gründungsväter der Quantentheorie entschieden sogar, dass möglicherweise keine Konzepte gefunden werden können, die eine direkte Beschreibung der Quantenwelt erlauben würden. Die Theorie, die sie aufstellten, zielte darum nur auf die systematische Beschreibung der Antwort des Apparates. Und was braucht man letztendlich mehr für

die Anwendung? Es ist so, als ob unsere Freunde keine Worte finden könnten, um uns von den sehr seltsamen Orten, an denen sie Urlaub machten, zu erzählen. Wir könnten selbst sehen, ob sie brauner oder dicker wiederkamen. Das wäre genug, damit wir anderen Freunden, die sich wünschen, brauner oder dicker zu werden, Ratschläge über diese seltsamen Orte geben könnten. Unser Apparat besucht die mikroskopische Welt für uns, und wir sehen als Ergebnis, was ihm passiert ist.

Das „Problem“ dabei ist folgendes: Wie ist die Welt genau aufgeteilt – in den „aussprechbaren“ Apparat. . . über den wir sprechen können. . . und das „unaussprechliche“ Quantensystem, über das wir nicht sprechen können? Wieviele Elektronen, Atome oder Moleküle machen einen „Apparat“ aus? Die Mathematik der üblichen Theorie erfordert eine solche Aufteilung, sagt aber nichts darüber, wie sie zu machen ist. In der Praxis wird diese Frage mit pragmatischen Rezepten gelöst, die sich bewährt haben; angewandt mit Vorsicht und gutem Geschmack – erwachsen aus Erfahrung. Aber sollte eine fundamentale physikalische Theorie nicht eine exakte mathematische Formulierung gestatten?

Nach meiner Meinung hatten die Gründungsväter in diesem Punkt tatsächlich unrecht. Die Quantenphänomene schließen eine einheitliche Beschreibung der Mikro- und Makrowelten, . . . System und Apparat, nicht aus. Es ist nicht unabdingbar, eine derartige, vage Aufteilung der Welt einzuführen. Das wurde schon im Jahr 1926 von de Broglie angedeutet, als er das Rätsel

Welle oder Teilchen?

beantwortete durch

Welle *und* Teilchen.

Aber obwohl es später im Jahr 1952 durch Bohm völlig klar gemacht wurde, wollten wenige theoretische Physiker davon etwas hören. Die orthodoxe Linie schien durch den praktischen Erfolg vollständig gerechtfertigt worden zu sein. Auch heute noch wird das de Broglie-Bohm-Bild allgemein ignoriert, und Studenten nicht gelehrt. Ich glaube, das ist ein großer Verlust. Denn dieses Bild trainiert den Verstand auf sehr lehrreiche Weise.

Das de Broglie-Bohm-Bild beseitigt die Notwendigkeit, die Welt irgendwie in System und Apparat zu teilen. Aber ein anderes Problem wird in den Mittelpunkt gerückt. Dieses Bild (und, wie ich glaube, tatsächlich jede scharfe Formulierung der Quantenmechanik) hat eine sehr überraschende Eigenschaft: Die Folgen von Ereignissen an einem Ort pflanzen sich zu anderen Orten schneller als das Licht fort. Das geschieht auf eine Weise, die wir nicht für Signale ausnutzen können. Trotzdem ist dies eine grobe Verletzung der relativistischen Kausalität. Darüber hinaus sind die speziellen Quantenphänomene, die eine derartige Überlichtgeschwindigkeits-Erklärung benötigen, im Labor zum größten Teil realisiert worden. . . insbesondere von Aspect, Dalibard und Roger, in Paris im Jahr 1982 (*Phys. Rev. Lett.* **49**, 1804 (1982)).

Das ist für mich das wirkliche Problem mit der Quantentheorie: Der anscheinend unabdingbare Konflikt zwischen jeder scharfen Formulierung und der grundlegenden Re-

lativität. Das heißt, wir haben eine anscheinende Unvereinbarkeit – auf der untersten Ebene zwischen den zwei fundamentalen Säulen der modernen Theorie... und unseres Meetings. Ich freue mich deshalb, dass wir in einigen der Sitzungen von den beeindruckenden technischen Details des gegenwärtigen Fortschritts Abstand nehmen, um diese seltsame Situation zu überdenken. Es kann sein, dass eine wirkliche Synthese der Quanten- und Relativitätstheorie nicht nur technische Entwicklungen erfordert, sondern eine radikale konzeptionelle Erneuerung.