

Franco Selleri

**Die Debatte
um die Quantentheorie**

Facetten der Physik

Physik hat viele Facetten: historische, technische soziale, kulturelle, philosophische und amüsante. Sie können wesentliche und bestimmende Motive für die Beschäftigung mit den Naturwissenschaften sein. Viele Lehrbücher lassen diese „Facetten der Physik“ nur erahnen. Daher soll unsere Buchreihe ihnen gewidmet sein.

Prof. Dr. Roman Sexl
Herausgeber

Eine Liste der erschienenen Bände
finden Sie auf der 3. Umschlagseite

Franco Selleri

Die Debatte um die Quantentheorie

Mit 22 Bildern



Friedr. Vieweg & Sohn

Braunschweig/Wiesbaden

Die vorliegende Fassung des Textes
wurde anhand des englischen Originalmanuskriptes
von Franco Selleri unter Mitarbeit
von Roman U. Sexl erstellt.

1983

Alle Rechte vorbehalten

© Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig 1983

Die Vervielfältigung und Übertragung einzelner Texte, Zeichnungen oder Bilder, auch für Zwecke der Unterrichtsgestaltung, gestattet das Urheberrecht nur, wenn sie mit dem Verlag vorher vereinbart wurden. Im Einzelfall muß über die Zahlung einer Gebühr für die Nutzung fremden geistigen Eigentums entschieden werden. Das gilt für die Vervielfältigung durch alle Verfahren einschließlich Speicherung und jede Übertragung auf Papier, Transparente, Filme, Bänder, Platten und andere Medien. Dieser Vermerk umfaßt nicht die in den §§ 53 und 54 URG ausdrücklich erwähnten Ausnahmen.

Satz: H. Becker-Filmsatz, D-6232 Bad Soden/Taunus

ISBN 978-3-528-08518-6
DOI 978-3-322-88796-2

ISBN 978-3-322-88796-2 (eBook)

Vorwort des Herausgebers

Drei Bände der Buchreihe „Facetten der Physik“ sind Problemen der Quantentheorie gewidmet: „Die Deutungen der Quantentheorie“ stellen anhand von Originalarbeiten die Versuche vor, die in den letzten 50 Jahren gemacht wurden, um den mathematischen Formalismus einer der bedeutendsten Theorien des 20. Jahrhunderts physikalisch zu deuten, also zu interpretieren. Denn nur ein interpretierter mathematischer Formalismus ist als physikalische Theorie zu verstehen.

Doch gerade an den Deutungen der Quantentheorie scheiden sich die Geister wie an nur wenigen anderen Problemen der Physikgeschichte. Zwar lernt jeder angehende Student bald, mit dem Apparat der Quantenphysik Zahlenwerte und Effekte zu berechnen. Doch die Interpretation der Wellenfunktion ist auch heute noch ein viel umstrittenes Problem. „Wozu soll man sich damit beschäftigen, wo doch jeder weiß, wie man quantenmechanische Rechnungen anstellt?“ ist eine Frage, die gar mancher pragmatisch orientierte Physiker stellt. Versteht man die Quantenphysik als eine physikalische Theorie, die in vollendeter Form ein für alle Mal gegeben ist und keinerlei weitere Entwicklung im Sinne einer „Theoriendynamik“ erfahren wird, mag diese Einstellung akzeptabel erscheinen. Wenn man aber die Quantenmechanik nur als unsere *heutige* Antwort auf das Problem der Struktur der Materie betrachtet, so stellt sich sofort die Frage nach dem tieferen Verständnis und der Interpretation der Theorie. Wenngleich auch die verschiedenen Interpretationen zu einer gegebenen Zeit zu den gleichen physikalischen Ergebnissen führen, so lassen sie doch ganz unterschiedliche Weiterentwicklungen und Forschungsrichtungen erwarten.

Ein klassisches Beispiel dafür liefert die Elektrodynamik. Faradays Einführung des Feldbegriffes bedeutete zunächst nur eine andere Interpretation des Coulombschen Gesetzes. Doch lenkte diese Interpretation die Forschung in eine völlig neue Richtung, die mit Hertz' Entdeckung elektromagnetischer Wellen einen Triumph feierte.

Auch die Quantenphysik fand in ihren Anfangsphasen durch Heisenberg und Schrödinger zwei verschiedene Formulierungen, die jedoch gänzlich unterschiedlichen Standpunkten und Fragestellungen entsprangen. Teilchen und Welle waren die Ausgangspunkte der Entwicklung, die im „Dualismus Teilchen-Welle“ eine vieldiskutierte Deutung fand.

Bis heute ist „die Debatte um die Quantentheorie“ nicht abgeschlossen. Selleris Buch trägt diesen Titel und zeigt, wie ein Vertreter einer realistischen Haltung die historische Entwicklung und die heutige Problematik betrachtet. Selleri versucht dabei, die „Kopenhagener Interpretation“ der Quantenmechanik zu überwinden. Diese, von einer positivistischen Philosophie geprägte Deutung hat Einstein einmal als die „Bohr-Heisenbergsche Beruhigungsphilosophie“ bezeichnet. Jahrzehntlang beherrschte sie die Lehrbücher und Vorlesungen fast unbestritten, nachdem das

berühmte „Von Neumannsches Theorem“ scheinbar ein für alle Mal die Unmöglichkeit der Einführung von verborgenen Parametern und damit einer kausalen Ergänzung der Quantentheorie bewiesen hatte. Nachdem aber Bohr die praktische Möglichkeit derartiger Theorien an einem Beispiel gezeigt hatte und Bell die zu engen Grundannahmen des Theorems aufgezeigt hatte, ist die Debatte heute wieder weit offen.

Selleris Buch gibt einen ausgezeichneten Überblick über den heutigen Stand der Diskussion. Dabei kommen die Hoffnungen und Erwartungen, die er für die weitere Entwicklung hegt, besonders deutlich in dem abschließenden Kapitel „Experimentelle Philosophie“ zum Ausdruck.

Wenn Selleri in seinem Buch wiederholt betont, wie sehr physikalische Theorien in den gesellschaftlichen Zusammenhang ihrer Zeit gestellt werden müssen, wie sehr sie also „Kinder ihrer Zeit“ sind, so hat Paul Formann dies in seinem bekannten und umstrittenen Artikel „Quantenmechanik und Weimarer Republik“ im Detail auszuführen versucht. Das gleichnamige Buch wurde von Karl von Meyenn für die Reihe „Facetten der Physik“ herausgegeben. Kernstück dieses Bandes ist der 1971 erschienene Artikel des amerikanischen Wissenschaftshistorikers Forman, in dem dieser ausführlich zu belegen sucht, daß die geistige Atmosphäre in den Jahren nach dem Ersten Weltkrieg und in der Weimarer Republik wesentlich zur Entstehung der Quantenmechanik beigetragen hat. Der Artikel hat zahlreiche Reaktionen im englischen Sprachraum hervorgerufen. Karl von Meyenn hat einige der interessantesten Beiträge zu dieser Debatte ausgewählt und durch eine eigene Stellungnahme ergänzt, die den Standpunkt eines deutschen Physikers und Wissenschaftshistorikers zu den hier dargestellten Problemen darlegt. Als Mitherausgeber des wissenschaftlichen Briefwechsels Wolfgang Paulis ist von Meyenn ein hervorragender Kenner der Entstehungsgeschichte der Quantentheorie und ihres Zusammenhangs mit dem allgemeinen Kulturleben ihrer Zeit.

Allen drei genannten Bänden ist gemeinsam, daß sie höchst kontroverse und viel diskutierte Probleme der heutigen Physik aufgreifen. Eindeutige Entscheidungen und endgültige Antworten sind hier nicht zu erwarten. Gerade dadurch aber ist lebendige Wissenschaft, Wissenschaft „in stato nascendi“ gekennzeichnet.

Wien, im Herbst 1982

Roman Sexl

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
I Die Quantentheoretiker und die physikalische Welt	5
1 Drei grundlegende Fragen über die Physik	5
2 Die ältere Generation	8
3 Die mittlere Generation	12
4 Die jüngere Generation	23
5 Schlußfolgerungen	31
II Ist die Quantenmechanik eine vollständige Theorie?	36
1 Das Problem der Vollständigkeit und der verborgenen Variablen	36
2 De Broglies Paradoxon	39
3 Das Spin- $\frac{1}{2}$ -System in der Quantenmechanik	41
4 Ein einfacher Beweis des von Neumannschen Theorems	45
5 Das von Neumannsche Theorem ist nicht allgemein genug	49
III Der Dualismus Teilchen-Welle	53
1 Einstein, de Broglie und der objektive Dualismus	53
2 Schrödinger und eine Welt der Wellen	58
3 Bohrs Komplementarität	62
4 Focks Relativität der Beobachtungsmittel	67
5 Heisenberg jenseits der Komplementarität	69
6 Wigners Bewußtseinswellen	74
7 Experimente mit Neutroneninterferometern	77
IV Das Paradoxon von Einstein, Podolsky und Rosen	83
1 Die ursprüngliche Formulierung des Paradoxons	83
2 Bohrs Antwort	88
3 Spinzustände für zwei Teilchen	90
4 Eine neue Formulierung des Paradoxons	93
5 Die möglichen Lösungen	95

V	Die Separabilität führt zu Ungleichungen	99
1	Die Korrelationsfunktion	99
2	Die Bellsche Ungleichung und das EPR-Paradoxon	103
3	Ungleichungen für faktorierbare Spinzustände	105
4	Einige qualitative Argumente	106
5	Ungleichungen aus verborgenen Variablen	109
VI	Experimentelle Philosophie	113
1	Die Einheit der Physik	113
2	Die Neutralität der Physik?	116
3	Eine Rolle für das Bewußtsein?	121
4	Experimente über Separierbarkeit	125
5	Weitere Experimentelle Philosophie	131
6	Schlußfolgerungen	135
	Allgemeine Bibliographie	138
	Anmerkungen	140
	Bildquellenverzeichnis	147
	Sachwortverzeichnis	148