

Quantenmechanik

Torsten Fließbach

Quantenmechanik

Lehrbuch zur Theoretischen Physik III

6. Auflage

Springer Spektrum, Heidelberg

III

Autor:

Prof. Dr. Torsten Fließbach

Universität Siegen

57068 Siegen

fliessbach@physik.uni-siegen.de

Vorwort

Das vorliegende Buch ist Teil einer Vorlesungsausarbeitung [1, 2, 3, 4] des Zyklus Theoretische Physik I bis IV. Es gibt den Stoff meiner Vorlesung Theoretische Physik III über die Quantenmechanik wieder. Diese Vorlesung wird häufig im 5. Semester eines Physikstudiums angeboten.

Die Darstellung bewegt sich auf dem durchschnittlichen Niveau einer Kursvorlesung in Theoretischer Physik. Der Zugang ist eher intuitiv anstelle von deduktiv; formale Ableitungen und Beweise werden ohne besondere mathematische Akribie durchgeführt.

In enger Anlehnung an den Text, teilweise aber auch zu dessen Fortführung und Ergänzung werden über 100 Übungsaufgaben gestellt. Diese Aufgaben erfüllen ihren Zweck nur dann, wenn sie vom Studenten möglichst eigenständig bearbeitet werden. Diese Arbeit sollte unbedingt vor der Lektüre der Musterlösungen liegen, die im *Arbeitsbuch zur Theoretischen Physik* [5] angeboten werden. Neben den Lösungen enthält das Arbeitsbuch ein kompaktes Repetitorium des Stoffs der Lehrbücher [1, 2, 3, 4].

Der Umfang des vorliegenden Buchs geht etwas über den Stoff hinaus, der während eines Semesters in einem Physikstudium üblicherweise an deutschen Universitäten behandelt wird. Der Stoff ist in Kapitel gegliedert, die im Durchschnitt etwa einer Vorlesungsdoppelstunde entsprechen. Natürlich bauen verschiedene Kapitel aufeinander auf. Es wurde aber versucht, die einzelnen Kapitel so zu gestalten, dass sie jeweils möglichst abgeschlossen sind. Damit wird einerseits eine Auswahl von Kapiteln für einen bestimmten Kurs (etwa in einem Bachelor-Studiengang) erleichtert, in dem der Stoff stärker begrenzt werden soll. Zum anderen kann der Student leichter die Kapitel nachlesen, die für ihn von Interesse sind.

Es gibt viele gute Darstellungen der Quantenmechanik, die sich für ein vertiefendes Studium eignen. Ich gebe hier nur einige wenige Bücher an, die ich selbst bevorzugt zu Rate gezogen habe und die gelegentlich im Text zitiert werden. Zunächst seien als ‘Muss’ für jeden Physikstudenten die *Feynman Lectures* [6] angeführt. Die Art der Darstellung und das Niveau der vorliegenden Vorlesungsausarbeitung sind am ehesten vergleichbar mit der *Quantenphysik* von Gasiorowicz [7]. Daneben ist mir Dawydows Buch [8] besonders gut vertraut.

In der vorliegenden sechsten Auflage wurden zahlreiche Korrekturen und kleinere Ergänzungen vorgenommen. Bei Martina Schwind und zahlreichen anderen Lesern bedanke ich mich für wertvolle Hinweise. Fehlermeldungen, Bemerkungen

und sonstige Hinweise sind jederzeit willkommen, etwa über den Kontaktlink auf meiner Homepage www2.uni-siegen.de/~flieba/. Auf dieser Homepage finden sich auch eventuelle Korrekturlisten.

August 2018

Torsten Fließbach

Literaturangaben

- [1] T. Fließbach, *Mechanik*, 7. Auflage, Springer Spektrum, Heidelberg 2015
- [2] T. Fließbach, *Elektrodynamik*, 6. Auflage, Springer Spektrum, Heidelberg 2012
- [3] T. Fließbach, *Quantenmechanik*, 6. Auflage, Springer Spektrum, Heidelberg 2018 (dieses Buch)
- [4] T. Fließbach, *Statistische Physik*, 6. Auflage, Springer Spektrum, Heidelberg 2018
- [5] T. Fließbach und H. Walliser, *Arbeitsbuch zur Theoretischen Physik – Repetitorium und Übungsbuch*, 3. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg 2012
- [6] R. P. Feynman, R. B. Leighton, M. Sands, *The Feynman Lectures on Physics*, Vol. I – III, Addison-Wesley Publishing Company, Reading 1989
Deutsche Übersetzung: *Feynman Vorlesungen über Physik*, 2. Auflage, Oldenbourg Verlag, München 2007
- [7] S. Gasiorowicz, *Quantenphysik*, 9. Auflage, Oldenbourg Verlag, München 2005
- [8] A. S. Dawydow, *Quantenmechanik*, 8. Auflage, Barth: Edition Deutscher Verlag der Wissenschaften, Leipzig, Berlin 1992

Inhaltsverzeichnis

	Einleitung	1
I	Schrödingers Wellenmechanik	3
1	Welle-Teilchen-Dualismus	3
2	Freie Schrödingergleichung	16
3	Schrödingergleichung	23
4	Normierung	29
5	Erwartungswerte	34
6	Hermiteische Operatoren	42
7	Unschärferelation	47
8	Messprozess und Unschärferelation	57
II	Eigenwerte und Eigenfunktionen	63
9	Lösung der freien Schrödingergleichung	63
10	Zeitunabhängige Schrödingergleichung	68
11	Unendlicher Potenzialtopf	74
12	Eindimensionaler Oszillator	80
13	Dreidimensionaler Oszillator	89
14	Vollständigkeit und Orthonormierung	95
15	Zeitliche Entwicklung	104
16	Operator und Messgröße	109
17	Symmetrie und Erhaltungsgröße	120
III	Eindimensionale Probleme	127
18	Potenzialbarriere	127
19	Delta-Potenzial	132
20	Endlicher Potenzialtopf	136
21	WKB-Näherung	143
22	Alphazerfall	149
IV	Dreidimensionale Probleme	155
23	Drehimpulsoperatoren	155
24	Zentralkräfteproblem	163

25	Kastenpotenzial	170
26	Streuung: Allgemeines	179
27	Streuung: Anwendungen	189
28	Sphärischer Oszillator	200
29	Wasserstoffatom	210
V	Abstrakte Formulierung	223
30	Hilbertraum	223
31	Operatoren im Hilbertraum	233
32	Unitäre Transformationen	240
33	Darstellungen der Schrödingergleichung	245
VI	Operatorenmethode	251
34	Oszillator mit Operatorenmethode	251
35	Heisenbergbild	262
36	Drehimpuls mit Operatorenmethode	266
37	Spin	276
38	Kopplung von Drehimpulsen	287
VII	Näherungsmethoden	295
39	Zeitunabhängige Störungstheorie	295
40	Stark-Effekt	303
41	Relativistische Korrekturen im Wasserstoffatom	309
42	Zeitabhängige Störungstheorie	319
43	Strahlung von Atomen	324
44	Variationsrechnung	332
45	Bornsche Näherung	340
VIII	Mehrteilchensysteme	347
46	Vielteilchenwellenfunktionen	347
47	Ideale Fermigase	353
48	Atome	364
49	Moleküle	371
A	Einheiten und Konstanten	381
	Register	385