

Gernot Münster

Quantentheorie



Walter de Gruyter
Berlin · New York

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	v
1 Materiewellen	1
1.1 Welleneigenschaften der Materie	1
1.2 Freie Teilchen	4
1.2.1 Wellenpakete	6
1.2.2 Zerfließen der Wellenpakete	7
1.2.3 Wellengleichung	9
1.2.4 Kontinuitätsgleichung	10
1.3 Deutung der Materiewellen	11
1.3.1 Wahrscheinlichkeitsinterpretation	14
1.3.2 Welle-Teilchen-Dualismus	16
1.4 Impulsraum	18
1.5 Impulsoperator, Ortsoperator	21
1.6 Heisenbergsche Unschärferelation	23
2 Schrödingergleichung	29
2.1 Zeitabhängige Schrödingergleichung	29
2.2 Zeitunabhängige Schrödingergleichung	30
3 Wellenmechanik in einer Dimension	33
3.1 Teilchen im Kasten: unendlich hoher Potenzialtopf	34
3.1.1 Dreidimensionaler Kasten	37
3.2 Endlicher Potenzialtopf	39
3.2.1 Gebundene Zustände	40
3.2.2 Streuzustände	46
3.2.3 Streuung von Wellenpaketen	53
3.3 Potenzialbarriere	58
3.4 Tunneleffekt	60
3.4.1 α -Zerfall	61
3.4.2 Kalte Emission	63
3.5 Allgemeine eindimensionale Potenziale	64
4 Formalismus der Quantenmechanik	67
4.1 Hilbertraum	67
4.2 Physikalischer Zustandsraum	71
4.3 Lineare Operatoren	72
4.4 Diracnotation	77

4.5	Observable	78
4.5.1	Observable und Messwerte	78
4.5.2	Verträgliche Observable	79
4.5.3	Parität	81
4.5.4	Unschärferelation	83
4.6	Die Postulate der Quantenmechanik	84
4.7	Wahrscheinlichkeitsdeutung der Entwicklungskoeffizienten	84
5	Harmonischer Oszillator	87
5.1	Spektrum	87
5.2	Eigenfunktionen	91
5.3	Unschärfen	95
5.4	Oszillierendes Wellenpaket	96
5.4.1	Kohärente Zustände	98
5.5	Dreidimensionaler harmonischer Oszillator	100
6	Das Spektrum selbstadjungierter Operatoren	103
6.1	Diskretes Spektrum	103
6.2	Kontinuierliches Spektrum	103
6.2.1	Impulsoperator	103
6.2.2	Ortsoperator	105
6.2.3	Teilchen im Topf	106
6.2.4	Uneigentliche Eigenvektoren	108
6.3	Spektralsatz	110
6.4	Wahrscheinlichkeitsinterpretation	112
7	Darstellungen	113
7.1	Vektoren und Basen	113
7.2	Ortsdarstellung	115
7.3	Impulsdarstellung	115
7.4	Darstellungen der Quantenmechanik	116
7.5	Energiedarstellung	117
7.6	Basiswechsel	118
8	Zeitliche Entwicklung	121
8.1	Schrödingerbild	121
8.1.1	Neutrino-Oszillationen	123
8.2	Heisenbergbild	125
8.3	Ehrenfestsche Theoreme	127

9 Drehimpuls	129
9.1 Drehimpulsoperator	129
9.2 Teilchen im Zentralpotenzial	131
9.2.1 Kugelkoordinaten	133
9.3 Eigenwerte des Drehimpulses	136
9.3.1 Allgemeine Drehimpulseigenwerte	136
9.3.2 Eigenwerte des Bahndrehimpulses	139
9.4 Eigenfunktionen zu $\vec{L}^2$ und L_3	141
9.4.1 Darstellung im Ortsraum	141
9.5 Radialgleichung	145
10 Rotation und Schwingung zweiatomiger Moleküle	147
10.1 Zweikörperproblem	148
10.2 Rotations-Vibrations-Spektrum	150
11 Kugelförmiger Kasten	153
12 Vollständige Sätze kommutierender Observablen	159
13 Das Wasserstoffatom, Teil I	161
13.1 Spektrum und Eigenfunktionen	162
13.2 Runge-Lenz-Pauli-Vektor	169
13.2.1 Klassische Mechanik	169
13.2.2 Quantenmechanik	170
14 Teilchen im elektromagnetischen Feld	175
14.1 Hamiltonoperator	175
14.2 Konstantes Magnetfeld	177
14.3 Bewegung eines Teilchens im konstanten Magnetfeld	178
14.4 Normaler Zeemaneffekt	181
15 Spin	183
15.1 Experimentelle Hinweise	183
15.2 Spin 1/2	183
15.3 Wellenfunktionen mit Spin	186
15.4 Pauligleichung	187
15.4.1 Spinpräzession	189
15.5 Stern-Gerlach-Versuch	190
15.6 Drehung von Spinoren	194
15.6.1 Eigen-spinoren zu beliebigen Richtungen	194
15.6.2 Drehungen	195

15.7 Der Messprozess, illustriert am Beispiel des Spins	198
16 Addition von Drehimpulsen	207
16.1 Addition zweier Drehimpulse	207
16.2 Zwei Spins $\frac{1}{2}$	210
16.3 Bahndrehimpuls und Spin $\frac{1}{2}$	212
17 Zeitunabhängige Störungstheorie	213
17.1 Korrekturen zum Hamiltonoperator des Wasserstoffatoms .	213
17.2 Rayleigh-Schrödinger-Störungstheorie	214
17.2.1 Nicht entartete Störungstheorie	214
17.2.2 Störungstheorie für entartete Zustände	216
17.3 Das Wasserstoffatom, Teil II	218
17.3.1 Feinstruktur des Spektrums	218
17.4 Anormaler Zeemaneffekt	222
18 Quantentheorie mehrerer Teilchen	225
18.1 Mehrteilchen-Schrödingergleichung	225
18.2 Pauliprinzip	226
18.2.1 Ununterscheidbare Teilchen	226
18.2.2 Pauliprinzip	228
18.3 Bosonen und Fermionen	231
18.4 Das Heliumatom	232
18.4.1 Ortho- und Parahelium	232
18.4.2 Störungstheorie	233
18.4.3 Ritzsches Variationsverfahren	237
18.5 Atombau	239
18.5.1 Zentralfeldmodell	239
18.5.2 Hartree-Fock-Approximation	242
18.6 Austauschwechselwirkung	246
18.7 Das Wasserstoffmolekül	248
19 Zeitabhängige Störungen	253
19.1 Zeitabhängige Störungstheorie	253
19.2 Fermi's Goldene Regel	258
19.2.1 Zeitunabhängige Störungen	258
19.2.2 Periodische Störungen	260
19.3 Absorption und Emission von Strahlung	262
19.4 Spontane Emission	265

20 Statistischer Operator	267
20.1 Gemische	267
20.2 Unterschied zwischen reinen und gemischten Zuständen . .	270
21 Messprozess und Bellsche Ungleichungen	273
21.1 Messprozess	273
21.2 EPR-Paradoxon und Bellsche Ungleichungen	278
22 Stationäre Streutheorie	285
22.1 Das stationäre Streuproblem	285
22.2 Partialwellenentwicklung	292
22.3 Bornsche Näherung	301
23 Pfadintegrale in der Quantenmechanik	307
23.1 Grundkurs Pfadintegrale	307
23.1.1 Einführung	307
23.1.2 Übergangsamplitude	309
23.1.3 Harmonischer Oszillator	315
23.1.4 Aharonov-Bohm-Effekt	319
23.2 Aufbaukurs Pfadintegrale	323
23.2.1 Euklidisches Pfadintegral	323
23.2.2 Greensche Funktionen	326
23.2.3 Erzeugende Funktionale	328
23.2.4 Harmonischer Oszillator II	329
23.2.5 Systeme mit quadratischer Wirkung	334
23.2.6 Beispiel: Energieaufspaltung	337
A Diracsche δ-Funktion	345
B Fouriertransformation	351
B.1 Fourierreihen	351
B.2 Fourierintegrale	353
C Formelsammlung	355
Literaturhinweise	361
Index	363