

Inhaltsübersicht

Band 1

- 1 Einführung
- 2 Teilchen-Welle-Dualismus
- 3 Der Einfluss der Messung
- 4 Die Wahrscheinlichkeitsamplitude
- 5 Die Wellenfunktion
- 6 Der klassische Grenzfall
- 7 Unendlich große Potentialsprünge
- 8 Die Schrödinger-Gleichung
- 9 Die eindimensionale stationäre Schrödinger-Gleichung
- 10 Eindimensionale Streuprobleme
- 11 Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik
- 12 Axiomatische Quantenmechanik
- 13 Der harmonische Oszillator
- 14 Periodische Potentiale: Das Bänder-Modell des Festkörpers
- 15 Drehimpuls und Spin (Heuristische Behandlung)*
- 16 Der Drehimpuls
- 17 Axialsymmetrische Potentiale
- 18 Kugelsymmetrische Potentiale (Zentralpotentiale)
- 19 Das Wasserstoff-Atom
- 20 Algebraischer Zugang zur Quantenmechanik*
- 21 Störungstheorie

*Dieses Kapitel ist für das Verständnis der übrigen Kapitel nicht erforderlich und kann deshalb beim ersten Lesen übersprungen werden.

- 22 Das Ritz'sche Variationsverfahren
- 23 Geladenes Teilchen im elektromagnetischen Feld
- Anhang A: Die Dirac'sche δ -Funktion
- Anhang B: Gauß-Integrale
- Anhang C: Funktionen von Operatoren
- Anhang D: Basiselemente der Variationsrechnung

Band 2

- 24 Formale Lösung der Schrödinger-Gleichung
- 25 Zeitabhängige Prozesse
- 26 Streutheorie
- 27 Gemischte Zustände: Statistisches Ensemble
- 28 Relativistische Quantenmechanik
- 29 Vielteilchensysteme
- 30 Die Zweite Quantisierung
- 31 Kohärente Zustände
- 32 Kontinuierliche Symmetrietransformationen
- 33 Die Wigner'schen \mathcal{D} -Funktionen
- 34 Symmetrien und Erhaltungssätze
- 35 Die Berry-Phase
- Anhang E: Das Wick'sche Theorem
- Anhang F: Grundzüge der Gruppentheorie

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
1 Einführung	1
1.1 Historische Experimente zum Nachweis der Quantennatur der Materie..	1
1.1.1 Die Hohlraumstrahlung	1
1.1.2 Der fotoelektrische Effekt	8
1.1.3 Der Compton-Effekt	9
2 Teilchen-Welle-Dualismus	11
2.1 Klassische Teilchen	11
2.2 Wasserwellen	12
2.3 Lichtwellen	13
2.4 Elektronen	15
3 Der Einfluss der Messung	19
3.1 Experiment zur Bestimmung des vom Elektron passierten Spaltes	19
3.2 Problematik des Messprozesses in der Quantenmechanik	21
3.3 Alternativen und Unschärferelation	23
4 Die Wahrscheinlichkeitsamplitude	27
4.1 Die Struktur der Wahrscheinlichkeitsamplitude.....	27
4.2 Der Zerlegungssatz	31
4.3 Vergleich mit der klassischen Mechanik	34
4.4 Die explizite Form der Übergangsamplitude	36
4.5 Phasenraumdarstellung des Propagators	41
4.6 Der Propagator eines freien Teilchens	43
4.7 Energiedarstellung des Propagators	47
4.8 Der Propagator einer Punktmasse in drei Dimensionen	48

5	Die Wellenfunktion	51
5.1	Wellenfunktion und Übergangsamplitude.....	51
5.2	Die Wellenfunktion des freien Teilchens	53
5.3	Wellenpakete	55
5.4	Materiewellen	59
5.5	Erwartungswerte und Unschärfe	62
5.6	Der Impulsraum.....	65
5.7	Messgrößen als Operatoren	68
6	Der klassische Grenzfall	73
6.1	Die stationäre Phasenapproximation	73
6.2	Asymptotische Darstellung der δ -Funktion	76
6.3	Der klassische Grenzwert des Propagators.....	77
6.4	Die Bohr-Sommerfeld'sche Quantisierungsbedingung	84
6.5	Die Wellenfunktion im klassisch verbotenen Bereich	92
6.6	Beweis der Poisson-Formel	93
7	Unendlich große Potentialsprünge	97
7.1	Die unendlich hohe Potentialkante	97
7.1.1	Der Propagator bei Anwesenheit einer unendlich hohen Potentialwand..	97
7.1.2	Interpretation des Propagators: Die Spiegelladungsmethode	102
7.2	Der unendlich hohe Potentialtopf	105
7.2.1	Bestimmung des Propagators mittels der Spiegelladungsmethode	106
7.2.2	Physikalische Interpretation des Propagators: Energieeigenzustände	110
8	Die Schrödinger-Gleichung	113
8.1	Die zeitabhängige Schrödinger-Gleichung.....	113
8.2	Stationäre Lösungen der Schrödinger-Gleichung	118
8.3	Das Ehrenfest-Theorem	119
8.3.1	Die Zeitentwicklung von Erwartungswerten	120
8.3.2	Beispiele	122
8.3.3	Analogie zur klassischen Mechanik	124
8.3.4	Der quantenmechanische Virialsatz	125
8.4	Die Schrödinger-Gleichung als Euler-Lagrange-Gleichung*	128
8.5	Die Kontinuitätsgleichung: Teilchendichte und Stromdichte	130

8.6	Grenzflächenverhalten der Wellenfunktion	134
8.6.1	Motivation von Potentialsprüngen	134
8.6.2	Verhalten der Wellenfunktion an Potentialsprüngen	136
8.6.3	Grenzflächenverhalten der Wellenfunktion in drei Dimensionen*	139
9	Die eindimensionale stationäre Schrödinger-Gleichung	147
9.1	Qualitative Diskussion der Wellenfunktion: Gebundene Zustände	147
9.2	Die Wellenfunktion in Abhängigkeit von der Energie	152
9.3	Strenge Eigenschaften der eindimensionalen Schrödinger-Gleichung	154
9.4	Symmetrische Potentiale: Die Parität	158
9.5	Der unendlich hohe Potentialtopf	160
9.6	Das δ -Potential	165
10	Eindimensionale Streuprobleme	169
10.1	Streuung an einer Potentialstufe	169
10.1.1	Streuzustände	170
10.1.2	Transmission und Reflexion	174
10.1.3	Teilchenenergie unterhalb der Potentialschwelle	177
10.2	Streuung am Potentialtopf	181
10.2.1	Streuzustände	182
10.2.2	Resonanzen	185
10.3	Gebundene Zustände im endlichen Potentialtopf	188
10.3.1	Transmissionskoeffizienten für gebundene Zustände	188
10.3.2	Die gebundenen Zustände des endlichen Potentialtopfes	189
10.4	Die Potentialbarriere	194
10.4.1	Quantentunnelung durch die Potentialbarriere	195
10.4.2	Interpretation der Quantentunnelung mittels der Unschärferelation	199
10.4.3	Große Potentialbarrieren	200
10.4.4	Kontinuierliche Potentialberge	201
10.4.5	Allgemeine Form des Transmissionskoeffizienten	203
10.5	Pfadintegralberechnung des Transmissionskoeffizienten*	204
10.6	Feldemission von Elektronen	208
11	Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik	213
11.1	Der Hilbert-Raum	214
11.2	Operatoren im Hilbert-Raum	224
11.3	Matrixdarstellung linearer Operatoren	232
11.4	Die Dirac-Notation	234

11.5	Eigenschaften hermitescher Operatoren	239
11.6	Projektionsoperatoren	248
11.7	Das Tensorprodukt	250
12	Axiomatische Quantenmechanik	253
12.1	Grundpostulate der Quantenmechanik	254
12.2	Verträglichkeit von Observablen	257
12.3	Präparation eines Quantensystems	260
12.4	Allgemeine Unschärferelation	262
12.5	Minimum der Unschärfe	265
13	Der harmonische Oszillator	267
13.1	Pfadintegralbehandlung des harmonischen Oszillators*	268
13.2	Der Quantenoszillator	275
13.3	Algebraische Diagonalisierung des Hamilton-Operators	276
13.4	Der Besetzungszahloperator	278
13.5	Das Spektrum des harmonischen Oszillators	281
13.6	Unschärferelation	282
13.7	Besetzungszahldarstellung	283
13.8	Ortsdarstellung der Energieeigenfunktionen: Die Hermite-Polynome	284
13.9	Der dreidimensionale harmonische Oszillator	290
13.10	Das unendlich schwere Teilchen*	293
13.11	Kohärente Zustände	295
14	Periodische Potentiale: Das Bänder-Modell des Festkörpers	301
14.1	Der Translationsoperator	302
14.2	Das Bloch'sche Theorem	304
14.3	Qualitative Beschreibung der Energiebänder*	306
14.4	Strenge quantenmechanische Behandlung des periodischen Potentials ...	311
14.4.1	Periodische Randbedingungen	311
14.4.2	Bestimmung der Energieeigenzustände	313
14.4.3	Energiebänder	315
14.4.4	Metalle, Isolatoren und Halbleiter	319

15	Drehimpuls und Spin (Heuristische Behandlung)*	323
15.1	Einführung	323
15.2	Geometrische Interpretation von Drehimpuls und Spin	327
15.3	Physikalische Konsequenzen des geometrischen Bildes vom Drehimpuls ..	332
16	Der Drehimpuls	335
16.1	Einführung	335
16.2	Die Eigenwerte des Drehimpulses	339
16.3	Geometrische Interpretation des Drehimpulses	344
16.4	Matrixdarstellung	346
16.5	Konstruktion der Eigenfunktionen des Drehimpulses im Ortsraum	349
16.6	Zusammenhang mit den Legendre-Funktionen	358
16.7	Vektoraddition von Drehimpulsen	358
16.8	Explizite Konstruktion der gekoppelten Drehimpulseigenzustände	362
17	Axialsymmetrische Potentiale	365
17.1	Die kinetische Energie in Zylinderkoordinaten	365
17.2	Die Zylinderfunktionen*	369
17.3	Die zylindrische Box	372
17.4	Der zweidimensionale rotationssymmetrische Oszillator	374
17.4.1	Algebraische Diagonalisierung des Hamilton-Operators	374
17.4.2	Analytische Lösung der Schrödinger-Gleichung	377
18	Kugelsymmetrische Potentiale (Zentralpotentiale)	383
18.1	Die kinetische Energie in Kugelkoordinaten	383
18.2	Kugelsymmetrische Potentiale	387
18.3	Bindungszustände: Grenzverhalten der Radialfunktion	389
18.4	Radialwellenfunktion des freien Teilchens	391
18.4.1	Die sphärische Besselfunktionen	392
18.4.2	Entwicklung der ebenen Wellen nach Kugelfunktionen	400
18.4.3	Kugelwellen	402
18.5	Die sphärische Box	404
18.6	Der dreidimensionale isotrope harmonische Oszillator	407
18.6.1	Lösung der Radialgleichung	407
18.6.2	Energiespektrum	410
18.6.3	Wellenfunktionen	413

19	Das Wasserstoff-Atom	415
19.1	Das Zweikörperproblem: Separation in Schwerpunkts- und Relativbewegung	416
19.2	Qualitative Beschreibung	418
19.3	Strenge quantenmechanische Behandlung	420
19.4	Spektrum des Wasserstoff-Atoms	426
19.5	Algebraische Bestimmung des Wasserstoff-Spektrums	431
19.6	Warum das Coulomb-Problem exakt lösbar ist	438
20	Algebraischer Zugang zur Quantenmechanik*	443
20.1	Bestimmung des Spektrums	443
20.2	Beziehung zur Schrödinger-Gleichung	450
20.3	Algebraische Bestimmung des Wasserstoff-Spektrums	454
21	Störungstheorie	459
21.1	Stationäre Störungstheorie	460
21.2	Störungstheorie für zwei dicht benachbarte Niveaus	464
21.3	Anwendung der Störungstheorie: Grundzustandsenergie des Helium-Atoms	468
22	Das Ritz'sche Variationsverfahren	473
22.1	Variationsverfahren zur Berechnung der Energieeigenzustände	473
22.2	Beispiele zum Ritz'schen Variationsverfahren	476
22.2.1	Der harmonische Oszillator	476
22.2.2	Der Grundzustand des Wasserstoff-Atoms	479
22.2.3	Variationsabschätzung der Helium-Grundzustandsenergie	480
22.3	Allgemeines Variationsprinzip	483
23	Geladenes Teilchen im elektromagnetischen Feld	487
23.1	Klassische Ladungen im äußeren elektromagnetischen Feld	487
23.2	Quantenmechanische Ladungen im äußeren elektromagnetischen Feld ...	491
23.3	Ladung im homogenen Magnetfeld	496
23.3.1	Der Zeeman-Effekt	499
23.4	Die Landau-Niveaus	501
23.4.1	Eichinvariante Diagonalisierung des Hamiltonians	502
23.4.2	Diagonalisierung des Hamiltonians in der Coulomb-Eichung	504
23.5	Ableitung des Hamilton-Operators einer Punktladung	510

A	Die Dirac'sche δ-Funktion	515
A.1	Definition	515
A.2	Eigenschaften	517
A.3	Ableitung, Stammfunktion und Hauptwert	521
A.4	Mehrdimensionale δ -Funktion	524
B	Gauß-Integrale	525
C	Funktionen von Operatoren	529
C.1	Definition	529
C.2	Variation	530
C.3	Nützliche Operatoridentitäten	533
C.4	Die Green'sche Funktion des Laplace-Operators im \mathbb{R}^n	535
D	Basiselemente der Variationsrechnung	539
D.1	Definition von Funktionalen und ihren Variationsableitungen	539
D.2	Funktional über einen Hilbert-Raum	544
Index		549

*Dieses Kapitel ist für das Verständnis der übrigen Kapitel nicht erforderlich und kann deshalb beim ersten Lesen übersprungen werden.