

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	v
1 Materiewellen	1
1.1 Welleneigenschaften der Materie	1
Übungen	4
1.2 Freie Teilchen	5
Übungen	6
1.2.1 Wellenpakete	7
1.2.2 Zerfließen der Wellenpakete	8
Übungen	10
1.2.3 Wellengleichung	11
1.2.4 Kontinuitätsgleichung	12
1.3 Deutung der Materiewellen	13
1.3.1 Wahrscheinlichkeitsinterpretation	16
Übungen	17
1.3.2 Welle-Teilchen-Dualismus	18
1.4 Impulsraum	20
1.5 Impulsoperator, Ortsoperator	23
Übungen	25
1.6 Heisenberg'sche Unschärferelation	26
Übungen	31
2 Schrödingergleichung	33
2.1 Zeitabhängige Schrödingergleichung	33
Übungen	34
2.2 Zeitunabhängige Schrödingergleichung	35
Übungen	37
3 Wellenmechanik in einer Dimension	39
3.1 Teilchen im Kasten: unendlich hoher Potenzialtopf	40
Übungen	43
3.1.1 Dreidimensionaler Kasten	44
Übungen	46
3.2 Endlicher Potenzialtopf	46
3.2.1 Gebundene Zustände	47
Übungen	53
3.2.2 Streuzustände	54
Übungen	62

3.2.3	Streuung von Wellenpaketen	63
3.3	Potenzialbarriere	68
	Übungen	69
3.4	Tunneleffekt	71
3.4.1	α -Zerfall	72
3.4.2	Kalte Emission	74
	Übungen	76
3.5	Allgemeine eindimensionale Potenziale	77
4	Formalismus der Quantenmechanik	81
4.1	Hilbertraum	81
	Übungen	85
4.2	Physikalischer Zustandsraum	85
4.3	Lineare Operatoren	87
	Übungen	91
4.4	Diracnotation	93
	Übungen	94
4.5	Observable	95
4.5.1	Observable und Messwerte	95
4.5.2	Verträgliche Observable	96
	Übungen	98
4.5.3	Parität	99
4.5.4	Unschärferelation	101
4.6	Die Postulate der Quantenmechanik	102
4.7	Wahrscheinlichkeitsdeutung der Entwicklungskoeffizienten	102
	Übungen	104
5	Harmonischer Oszillator	105
5.1	Spektrum	105
	Übungen	109
5.2	Eigenfunktionen	110
	Übungen	113
5.3	Unschärfen	113
	Übungen	115
5.4	Oszillierendes Wellenpaket	115
5.4.1	Kohärente Zustände	116
	Übungen	118
5.5	Dreidimensionaler harmonischer Oszillator	119
	Übungen	120

6	Das Spektrum selbstadjungierter Operatoren	121
6.1	Diskretes Spektrum	121
6.2	Kontinuierliches Spektrum	121
6.2.1	Impulsoperator	121
6.2.2	Ortsoperator	123
6.2.3	Teilchen im Topf	124
	Übungen	126
6.2.4	Uneigentliche Eigenvektoren	126
6.3	Spektralsatz	128
	Übungen	130
6.4	Wahrscheinlichkeitsinterpretation	131
7	Darstellungen	133
7.1	Vektoren und Basen	133
7.2	Ortsdarstellung	135
7.3	Impulsdarstellung	135
	Übungen	136
7.4	Darstellungen der Quantenmechanik	137
7.5	Energiedarstellung	138
	Übungen	139
7.6	Basiswechsel	139
	Übungen	141
8	Zeitliche Entwicklung	143
8.1	Schrödingerbild	143
	Übungen	145
8.1.1	Neutrino-Oszillationen	145
8.2	Heisenbergbild	148
	Übungen	149
8.3	Ehrenfest'sche Theoreme	149
	Übungen	150
9	Drehimpuls	151
9.1	Drehimpulsoperator	151
	Übungen	153
9.2	Teilchen im Zentralpotenzial	154
	Übungen	156
9.2.1	Kugelkoordinaten	157
9.3	Eigenwerte des Drehimpulses	159
9.3.1	Allgemeine Drehimpulseigenwerte	160

Übungen	162
9.3.2 Eigenwerte des Bahndrehimpulses	163
Übungen	165
9.4 Eigenfunktionen zu $\vec{L}^2$ und L_3	166
9.4.1 Darstellung im Ortsraum	166
Übungen	170
9.5 Radialgleichung	171
Übungen	172
10 Rotation und Schwingung zweiatomiger Moleküle	175
10.1 Zweikörperproblem	176
10.2 Rotations-Vibrations-Spektrum	178
Übungen	180
11 Kugelförmiger Kasten	183
12 Vollständige Sätze kommutierender Observablen	189
13 Das Wasserstoffatom, Teil I	191
13.1 Spektrum und Eigenfunktionen	192
Übungen	198
13.2 Runge-Lenz-Pauli-Vektor	200
13.2.1 Klassische Mechanik	200
13.2.2 Quantenmechanik	201
Übungen	204
14 Teilchen im elektromagnetischen Feld	205
14.1 Hamiltonoperator	205
Übungen	207
14.2 Konstantes Magnetfeld	208
Übungen	209
14.3 Bewegung eines Teilchens im konstanten Magnetfeld	209
Übungen	212
14.4 Normaler Zeemaneffekt	212
15 Spin	215
15.1 Experimentelle Hinweise	215
15.2 Spin 1/2	215
Übungen	218
15.3 Wellenfunktionen mit Spin	218
Übungen	220

15.4 Pauligleichung	220
Übungen	222
15.4.1 Spinpräzession	222
Übungen	223
15.5 Stern-Gerlach-Versuch	224
15.6 Drehung von Spinoren	227
15.6.1 Eigenspinoren zu beliebigen Richtungen	227
Übungen	229
15.6.2 Drehungen	229
Übungen	232
15.7 Der Messprozess, illustriert am Beispiel des Spins	232
16 Addition von Drehimpulsen	241
16.1 Addition zweier Drehimpulse	241
16.2 Zwei Spins $1/2$	244
Übungen	246
16.3 Bahndrehimpuls und Spin $1/2$	246
Übungen	247
17 Zeitunabhängige Störungstheorie	249
17.1 Korrekturen zum Hamiltonoperator des Wasserstoffatoms	249
17.2 Rayleigh-Schrödinger-Störungstheorie	250
17.2.1 Nicht entartete Störungstheorie	250
Übungen	252
17.2.2 Störungstheorie für entartete Zustände	253
Übungen	255
17.3 Das Wasserstoffatom, Teil II	255
17.3.1 Feinstruktur des Spektrums	255
Übungen	260
17.4 Anormaler Zeemaneffekt	260
18 Quantentheorie mehrerer Teilchen	263
18.1 Mehrteilchen-Schrödingergleichung	263
18.2 Pauliprinzip	264
18.2.1 Ununterscheidbare Teilchen	264
Übungen	266
18.2.2 Pauliprinzip	267
Übungen	269
18.3 Bosonen und Fermionen	270
Übungen	270

18.4	Das Heliumatom	271
18.4.1	Ortho- und Parahelium	271
18.4.2	Störungstheorie	272
	Übungen	276
18.4.3	Ritz'sches Variationsverfahren	276
	Übungen	279
18.5	Atombau	279
18.5.1	Zentralfeldmodell	279
18.5.2	Hartree-Fock-Approximation	282
18.6	Austauschwechselwirkung	286
	Übungen	288
18.7	Das Wasserstoffmolekül	289
19	Zeitabhängige Störungen	293
19.1	Zeitabhängige Störungstheorie	293
	Übungen	298
19.2	Fermis goldene Regel	299
19.2.1	Zeitunabhängige Störungen	299
19.2.2	Periodische Störungen	302
19.3	Absorption und Emission von Strahlung	303
	Übungen	306
19.4	Spontane Emission	307
20	Photonen	309
20.1	Quantisierung des Strahlungsfeldes	309
	Übungen	316
20.2	Spontane Emission	316
	Übungen	320
21	Statistischer Operator	321
21.1	Gemische	321
	Übungen	324
21.2	Unterschied zwischen reinen und gemischten Zuständen	324
22	Messprozess und Bell'sche Ungleichungen	327
22.1	Messprozess	327
22.2	EPR-Paradoxon und Bell'sche Ungleichungen	332
23	Stationäre Streutheorie	339
23.1	Das stationäre Streuproblem	339

23.2	Partialwellenentwicklung	346
	Übungen	355
23.3	Born'sche Näherung	355
	Übungen	360
24	Pfadintegrale in der Quantenmechanik	361
24.1	Grundkurs Pfadintegrale	361
	24.1.1 Einführung	361
	24.1.2 Übergangsamplitude	363
	Übungen	369
	24.1.3 Harmonischer Oszillator	370
	Übungen	374
	24.1.4 Aharonov-Bohm-Effekt	374
24.2	Aufbaukurs Pfadintegrale	379
	24.2.1 Euklidisches Pfadintegral	379
	24.2.2 Green'sche Funktionen	382
	24.2.3 Erzeugende Funktionale	384
	24.2.4 Harmonischer Oszillator II	385
	Übungen	390
	24.2.5 Systeme mit quadratischer Wirkung	390
	Übungen	393
	24.2.6 Beispiel: Energieaufspaltung	393
	Übungen	399
25	Relativistische Quantenmechanik	401
25.1	Relativistische Notation	401
25.2	Klein-Gordon-Gleichung	402
	Übungen	406
25.3	Diracgleichung	406
	25.3.1 Diracgleichung	406
	Übungen	413
	25.3.2 Spin $1/2$	414
	25.3.3 Relativistisches Coulombproblem	417
	Übungen	421
A	Dirac'sche δ-Funktion	423
B	Fouriertransformation	429
B.1	Fourierreihen	429
B.2	Fourierintegrale	431

C Formelsammlung	433
Literaturhinweise	439
Index	441