

Inhaltsverzeichnis

1	Die Entstehung der Quantenphysik	1
1.1	Die Strahlung des schwarzen Körpers	1
1.2	Der Photoeffekt	6
1.3	Der Compton-Effekt	8
1.4	Welleneigenschaften der Materie und Elektronenbeugung	12
1.5	Das Bohrsche Atom	17
	Übungsaufgaben	25
2	Welle-Teilchen-Dualismus, Wahrscheinlichkeit und die Schrödinger-Gleichung	29
2.1	Strahlung als Teilchen, Elektronen als Wellen	29
2.2	Ebene Wellen und Wellenpakete	32
2.3	Die Wahrscheinlichkeitsinterpretation der Wellengleichung	36
2.4	Die Schrödinger-Gleichung	38
2.5	Die Heisenbergschen Unschärferelationen	41
2.6	Mehr zur Wahrscheinlichkeitsinterpretation	44
2.7	Erwartungswerte und Impuls in der Wellenmechanik	46
	Übungsaufgaben	52
3	Eigenwerte, Eigenfunktionen und der Entwicklungssatz	57
3.1	Die zeitunabhängige Schrödinger-Gleichung	57
3.2	Eigenwertgleichungen	58
3.3	Das Eigenwertproblem für ein Teilchen im Potentialkasten	62
3.4	Der Entwicklungssatz und seine physikalische Deutung	66
3.5	Die Impulseigenfunktion und das freie Teilchen	71
3.6	Parität	77
	Übungsaufgaben	80

4	Eindimensionale Potentiale	85
4.1	Die Potentialstufe	85
4.2	Der Potentialtopf	89
4.3	Die Potentialbarriere	91
4.4	Ein Beispiel zum Tunnelphänomen	94
4.5	Gebundene Zustände im Potentialtopf	96
4.6	Deltaförmige Potentiale	103
4.7	Der harmonische Oszillator	108
	Übungsaufgaben	114
5	Die allgemeine Struktur der Wellenmechanik	121
5.1	Eigenfunktionen und Eigenwerte	121
5.2	Andere Observablen	123
5.3	Vektorräume und Operatoren	126
5.4	Entartung und simultane Observablen	129
5.5	Zeitabhängigkeit und der klassische Grenzfall	132
	Übungsaufgaben	135
6	Operatormethoden in der Quantenmechanik	139
6.1	Neuformulierung der Wellenmechanik – eine abstrakte Betrachtung der Quantenmechanik	139
6.2	Das Energiespektrum des harmonischen Oszillators	145
6.3	Von den Operatoren zurück zur Schrödinger-Gleichung	149
6.4	Die Zeitabhängigkeit der Operatoren	150
	Übungsaufgaben	152
7	Der Drehimpuls	157
7.1	Die Vertauschungsrelationen für den Drehimpuls	158
7.2	Aufsteige- und Absteigeoperatoren für den Drehimpuls	159
7.3	Darstellung der Zustände $ l, m\rangle$ in sphärischen Koordinaten	162
7.4	Anmerkungen zum Entwicklungssatz	167
	Übungsaufgaben	167
8	Die Schrödinger-Gleichung in drei Dimensionen und das Wasserstoffatom	171
8.1	Das Zentralpotential	172
8.2	Das Wasserstoffatom	173
8.3	Das Energiespektrum	174
8.4	Das freie Teilchen	183
8.5	Das Teilchen im unendlichen sphärischen Potentialtopf	186
	Übungsaufgaben	187

9	Matrixdarstellung von Operatoren	191
9.1	Matrizen in der Quantenmechanik	191
9.2	Matrixdarstellung des Drehimpulsoperators	196
9.3	Allgemeine Beziehungen in der Matrizenmechanik	197
	Übungsaufgaben	204
10	Der Spin	207
10.1	Eigenzustände mit Spin $1/2$	207
10.2	Das magnetische Moment der Spin- $1/2$ -Teilchen	212
10.3	Paramagnetische Resonanz	214
10.4	Addition zweier Spins	218
10.5	Die Addition des Spins $1/2$ mit dem Bahndrehimpuls	224
	Übungsaufgaben	226
11	Zeitunabhängige Störungstheorie	229
11.1	Energieverschiebung und gestörte Eigenzustände	229
11.2	Störungstheorie für entartete Zustände	234
11.3	Der Stark-Effekt	238
	Übungsaufgaben	245
12	Das reale Wasserstoffatom	249
12.1	Effekte der relativistischen kinetischen Energie	249
12.2	Spin-Bahn-Kopplung	249
12.3	Der anomale Zeeman-Effekt	254
12.4	Hyperfinestruktur	257
12.5	Anmerkungen zu den Effekten der reduzierten Masse	259
	Übungsaufgaben	261
13	Vielteilchensysteme	263
13.1	Das Zweiteilchensystem	264
13.2	Identische Teilchen	265
13.3	Das Pauli-Prinzip	268
13.4	Das Ausschlussprinzip und das Zweiteilchenproblem	273
13.5	Das Ausschlussprinzip und nicht-wechselwirkende Teilchen	275
13.6	Anwendungen	279
	Übungsaufgaben	282
14	Atome und Moleküle	287
14.1	Das Heliumatom ohne Elektron-Elektron-Wechselwirkung	287
14.2	Der Einfluss der Elektron-Elektron-Wechselwirkung	291
14.3	Das Pauli-Prinzip und die Austauschwechselwirkung	294
14.4	Das Ritzsche Variationsprinzip	300
14.5	Das Atom mit Z Elektronen	302

14.6	Das einfachste Molekül: H_2^+	305
14.7	Molekülspektren	309
	Übungsaufgaben	311
15	Zeitabhängige Störungstheorie	317
15.1	Formalismus	317
15.2	Harmonische zeitliche Änderung des Potentials	320
15.3	Der Phasenraum	324
	Übungsaufgaben	327
16	Wechselwirkung geladener Teilchen mit einem elektromagnetischen Feld	331
16.1	Klassische Elektrodynamik	331
16.2	Die Schrödinger-Gleichung für ein Elektron im elektromagnetischen Feld	334
16.3	Das konstante Magnetfeld	336
16.4	Landau-Niveaus	340
16.5	Der ganzzahlige Quanten-Hall-Effekt	343
16.6	Eine zusätzliche Anmerkung zur Eichinvarianz	345
	Übungsaufgaben	346
17	Strahlungsübergänge	349
17.1	Die Übergangsrate	349
17.2	Berechnung des Matrixelementes	352
17.3	Winkelintegration und die Austauschregeln	354
17.4	Der Übergang $2p \rightarrow 1s$	358
	Übungsaufgaben	360
18	Ausgewählte Themen zur Strahlungstheorie	363
18.1	Laser	364
18.2	Das Kühlen von Atomen	367
18.3	Das Zweiniveausystem	370
18.4	Das Dreiniveausystem	374
18.5	Die Beobachtung von Quantensprüngen	376
18.6	Der Mößbauer-Effekt	379
19	Theorie der Stoßprozesse	385
19.1	Der Wirkungsquerschnitt für den Stoß	385
19.2	Streuung bei niedrigen Energien	394
19.3	Die Bornsche Näherung	403
19.4	Die Streuung identischer Teilchen	407
19.5	Ein inelastischer Prozess: Der Photoeffekt	411
	Übungsaufgaben	417

20	Verschränkung und ihre Implikationen	421
20.1	Das Doppelspaltexperiment und die Weginformation	423
20.2	Der Quantenradierer	426
20.3	Verschränkung und EPR	429
20.4	Der Messprozess in der Quantenmechanik	433
Anhang zu Kapitel 1		439
1-A	Einsteins Näherung für das Plancksche Gesetz	439
1-B	Schätzung der Lebenszeit des Rutherford-Atoms	442
Anhang zu Kapitel 2		445
2-A	Das Fourier-Integral und die Deltafunktion	445
2-B	Eine kurze Einführung in die Wahrscheinlichkeitstheorie	451
Anhang zu Kapitel 4		455
4-A	Die Wentzel-Kramers-Brillouin-Jeffreys-Näherung	455
4-B	Tunnelphänomene in der Kernphysik	457
4-C	Periodische Potentiale	460
Anhang zu Kapitel 5		469
5-A	Unschärferelationen	469
Anhang zu Kapitel 7		473
7-A	Rotationsinvarianz	473
7-B	Der Drehimpuls in sphärischen Koordinaten	474
Anhang zu Kapitel 8		481
8-A	Ein nützliches Theorem	481
8-B	Der Potentialtopf, Kontinuumslösungen	483
Anhang zu Kapitel 10		489
10-A	Addition von Spin $1/2$ und Bahndrehimpuls – Details	489
10-B	Das Levi-Civita-Symbol und die Maxwell'schen Gleichungen	494
Anhang zu Kapitel 13		497
13-A	Erhaltung des Gesamtimpulses	497
Anhang zu Kapitel 14		501
14-A	Die Hartree-Näherung	501
14-B	Das Aufbauprinzip	505
14-C	Eine kurze Behandlung der Moleküle	516

Anhang zu Kapitel 15	523
15-A Lebensdauern, Linienbreiten und Resonanzen	523
15-B Das Wechselwirkungsbild	527
Anhang zu Kapitel 16	531
16-A Der Aharonov-Bohm-Effekt	531
16-B Bessel-Funktionen	537
Anhang zu Kapitel 17	539
17-A Der Spin und die Intensitätsregeln	539
Anhang zu Kapitel 18	543
18-A Quantisierung des elektromagnetischen Feldes	543
18-B Details zum Dreiniveausystem	547
Anhang zu Kapitel 20	553
20-A Which-Way-Messungen und der Quantenradierer	553
20-B Die Erzeugung von GHZ-Zuständen	557
20-C Der Dichteoperator	560
Physikalische Konstanten	567
Literatur	569
Index	575