



Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
Einleitung	7
1 Der Untergang der klassischen Physik	10
1.1 Einige Grundideen der klassischen Physik	11
1.1.1 Klassische Teilchen und klassische Felder	12
1.1.2 Ein wenig theoretische Mechanik	13
1.1.2.1 Das Hamiltonsche Prinzip	14
1.1.2.2 Lagrange-Formalismus	16
1.1.2.3 Die Hamiltonschen Gleichungen	19
1.1.2.4 Kanonische Transformationen	21
1.1.2.5 Hamilton-Jacobi-Theorie	24
1.1.2.6 Wirkungsvariable und Winkelvariable	28
1.2 Die Grenzen der klassischen Physik	29
1.2.1 Spektrale Verteilung von Hohlraumstrahlung	30
1.2.2 Spezifische Wärme von Festkörpern	31
1.2.3 Stabilität der Atome	33
1.2.3.1 Die Atomhypothese	34
1.2.3.2 Das Rutherfordsche Atommodell	35
1.2.3.3 Instabile Atome	40
1.2.4 Was ist mit dem Photoeffekt?	48
2 Die ältere Quantenmechanik	52
2.1 Die Plancksche Strahlungsformel	52
2.1.1 Die ursprüngliche Ableitung durch Planck	52
2.1.2 Anwendungen der Planckschen Strahlungsformel	60
2.1.3 Weitere Ableitungen der Planckschen Strahlungsformel	62
2.1.3.1 Quantenhypothese, aber richtig	63
2.1.3.2 Die erste Quantisierung des Strahlungsfeldes	65
2.1.3.3 Einsteins zweite Herleitung	68
2.2 Die Anfänge der Tieftemperaturphysik	71



2.3	Die Lichtquantenhypothese	74
2.3.1	Vom Rechenrick zur physikalischen Realität	75
2.3.2	Einsteins Fluktuationsformel	78
2.3.3	Photoeffekt und Quantentheorie	89
2.3.4	Der Compton-Effekt	91
2.4	Die Atommodelle von Bohr und Sommerfeld	94
2.4.1	Das Bohrsche Atommodell	95
2.4.2	Das Sommerfeldsche Atommodell	99
2.5	Die Anfänge der Quantenstatistik	118
2.5.1	Die Bose-Einstein-Statistik	118
2.5.2	Einsteins Theorie der idealen Gase	124
2.5.3	Elektronenspin und Pauli-Prinzip	132
2.5.4	Die Fermi-Dirac-Statistik	140
2.5.5	Bosonen und Fermionen	143
3	Die neuere Quantenmechanik	147
3.1	Materiewellen	148
3.2	Die ersten Pfadintegrale	151
3.3	Matrizenmechanik	154
3.3.1	Die Matrizenformulierung der Quantenmechanik	155
3.3.1.1	Orts-, Impuls- und Hamiltonmatrizen	156
3.3.1.2	Energieniveaus und Übergangsfrequenzen	160
3.3.2	Das Wasserstoffatom als Beispiel	164
3.3.2.1	Runge-Lenz-Vektor	165
3.3.2.2	Direkter Weg mit Matrizenmechanik	168
3.4	Wellenmechanik	171
3.4.1	Ein vorweggenommener Alternativvorschlag	171
3.4.2	Der Weg zur Wellenmechanik	174
3.4.3	Die zeitabhängige Version der Wellenmechanik	182
3.4.4	Versuche anschaulicher Deutungen	183
3.4.5	Zerfließende Wellenpakete	186
3.5	Sind Matrizen- und Wellenmechanik äquivalent?	193
3.6	Hilberträume und abstrakte Quantenmechanik	201
3.7	Die Wahrscheinlichkeitsdeutung	203
3.7.1	Eine Anmerkung mit Folgen	204
3.7.2	Die Lehrbuchfassung der Wahrscheinlichkeitsdeutung	207
3.7.3	Zwei Arten von Wahrscheinlichkeiten	213
3.7.4	Vollständigkeit der Quantenmechanik	219
3.8	Unschärferelationen	223
3.8.1	Unschärferelation für Ort und Impuls	223
3.8.1.1	Heisenbergs ursprüngliche Version	223
3.8.1.2	Erste Herleitungen	227



3.8.2	Die exakte Form der Unschärferelationen	233
3.8.2.1	Unschärferelationen korrekt interpretiert	233
3.8.2.2	Funktionalanalytische Herleitung	236
3.8.3	Die Schrödingersche Unschärferelation	239
3.8.4	Unschärferelationen für n Observable	243
3.8.5	Was ist mit Energie und Zeit?	246
3.8.5.1	Ein Phantom geht um	246
3.8.5.2	Die Zeit als kanonische Variable?	248
3.9	Erste Interpretationen der Quantenmechanik	255
3.9.1	Die Ensemble-Interpretation	256
3.9.2	Der Kollaps der Wellenfunktion	258
3.9.3	Die Kopenhagener Deutung	260
3.9.3.1	Niels Bohr	261
3.9.3.2	Werner Heisenberg	269
3.9.3.3	Carl Friedrich von Weizsäcker	283
3.9.4	Kritik der Interpretationen	287
3.9.4.1	Alles nur Statistik?	287
3.9.4.2	Klassische Meßgeräte und nichtklassische Meßobjekte? . . .	293
4	Ausblick und philosophische Bewertung	302
	Literaturverzeichnis	307