

Inhalt

Vorwort — V

Legende — VII

1	Die Physik, ihre Lehrbücher und ihre Geschichte — 1
1.1	Die Physik und ihre Lehrbücher — 1
1.2	Die Physik und ihre Geschichte — 2
1.3	<i>Nature of Science</i> und Wissenschaftsgeschichte — 6
1.3.1	Die Rolle der Wissenschaftsgeschichte für den Lernbereich NOS — 9
1.4	Die Quantenphysik als Revolution — 12
1.4.1	Mythos klassische Physik und klassisches Weltbild — 13
1.4.2	Warum sprechen wir von „klassischer Physik“? — 17
1.4.3	Gab es eine Quantenrevolution? — 18
1.5	Die Quasigeschichte der Quantentheorie — 20
2	Die frühe Quantentheorie — 23
2.1	Das Problem der Schwarzkörperstrahlung — 23
2.1.1	Die verschiedenen Gesetze der Schwarzkörperstrahlung und ihr mathematischer Zusammenhang — 24
2.1.2	Das Strahlungsgesetz von Wien — 26
2.1.3	Das Strahlungsgesetz von Rayleigh-Jeans — 28
2.1.4	Das Scheitern des Wien'schen Strahlungsgesetzes — 29
2.1.5	Das Strahlungsgesetz von Planck — 31
2.2	Einsteins Lichtquantenhypothese — 37
2.2.1	Rezeption der Lichtquantenhypothese — 40
2.3	Einsteins Theorie der spezifischen Wärme — 43
2.4	Das Spektrum von Röntgenstrahlung — 47
2.4.1	Der Nachweis der Beugung von Röntgenstrahlung durch Laue, Knipping und Friedrich — 48
2.4.2	Die Braggs — 51
2.4.3	Das Debye-Scherrer-Hull-Verfahren — 55
2.5	Atombegriff und Atommodelle vor Bohr — 56
2.5.1	Exkurs zur akustischen und elektromagnetischen Abstrahlung — 59
2.5.2	Das Spektrum des Wasserstoffs — 61
2.6	Das Bohr'sche Atommodell — 62
2.6.1	Das Bohr'sche Korrespondenzprinzip — 65
2.6.2	Didaktische Kritik am Bohr'schen Atommodell — 67
2.6.3	Das Atommodell von Bohr-Sommerfeld — 68
2.6.4	Henry Moseley und das Röntgenspektrum — 78
2.7	Der Franck-Hertz-Versuch — 82

2.7.1	Interpretation des Ergebnisses — 83
2.7.2	Die ursprüngliche Interpretation von Franck und Hertz — 85
2.8	Historischer Einschub: Der Erste Weltkrieg und seine Folgen — 86
2.9	Einstins Strahlungstheorie — 91
2.9.1	Bedeutung der Einstein'schen Strahlungstheorie — 94
2.10	Der Doppler-Effekt in der Quantentheorie — 96
2.10.1	Einstins Experiment zur Entscheidung des Welle-Teilchen-Dualismus — 97
2.10.2	Erklärung des Doppler-Effekt mit Lichtquanten — 99
2.11	Das Stern-Gerlach-Experiment — 101
2.11.1	Die aktuelle Erklärung des Stern-Gerlach-Experiments — 104
2.11.2	Adolf Schmidt, der vergessene Helfer — 105
2.12	Der Compton-Effekt — 106
2.12.1	Aktuelle Erklärung des Compton-Effekts — 108
2.13	Louis de Broglies Materiewellen — 109
2.13.1	Bedeutung der Materiewellen-Hypothese — 111
2.13.2	Experimenteller Nachweis der Materiewellen — 112
2.14	Die wegweisenden Experimente der Quantentheorie — 119
2.15	Die „alte“ Quantentheorie und ihre „Krise“ — 122
3	Der Formalismus der Quantenmechanik — 125
3.1	Postulate der Quantenmechanik — 126
3.2	Heisenbergs Matrizenmechanik — 127
3.3	Schrödingers Wellenmechanik — 132
3.3.1	Die Schrödingergleichung — 133
3.3.2	Die zeitabhängige Schrödingergleichung — 134
3.3.3	Zur physikalischen Bedeutung der Wellenfunktion — 137
3.4	Quantenmechanik als Hilbertraum-Theorie — 142
3.4.1	Erwartungswerte für Ort und Impuls — 142
3.4.2	Operatoren für physikalische Größen — 143
3.4.3	Das Skalarprodukt von Wellenfunktionen und der Hilbertraum — 144
3.4.4	Warum Eigenwerte in der Quantenmechanik eine besondere Rolle spielen — 148
3.4.5	Orthogonale Zustände — 148
3.4.6	Verallgemeinerung der Born'schen Regel — 149
3.4.7	Der „Kollaps der Wellenfunktion“ und die Ensemble-Deutung — 151
3.4.8	Operatoren mit kontinuierlichem Spektrum — 152
3.4.9	Der Zusammenhang zwischen Matrizen- und Wellenmechanik — 156
3.4.10	Der klassische Grenzwert der Quantenmechanik — 157
3.5	Die Dirac-Schreibweise — 159
3.5.1	Basiswechsel in Vektorräumen — 160
3.5.2	Die Bra-Ket-Notation — 161
3.6	Gemischte Zustände, Symmetrien und Erhaltungsgrößen — 165

3.6.1	Die Dichtematrix — 165
3.6.2	Symmetrien und Erhaltungsgrößen — 170
4	Die Heisenberg'sche Unbestimmtheitsrelation — 175
4.1	Kennard- und Robertson-Beziehung — 175
4.1.1	Die Rolle der Messung in der HUR — 176
4.1.2	Geschichte der Unbestimmtheitsrelation — 177
4.2	Neuere Entwicklungen zu Unbestimmtheitsrelationen — 180
4.2.1	HUR beim Einzelpalt: qualitative Betrachtung — 181
4.2.2	HUR beim Einzelpalt: quantitative Betrachtung — 182
4.2.3	HUR und das Doppelpaltexperiment — 185
5	Anwendung und Vertiefung der Quantenmechanik — 189
5.1	Das freie Teilchen — 190
5.1.1	Das Normierungsproblem — 191
5.1.2	Das Gauß'sche Wellenpaket — 192
5.2	Der unendlich hohe Potenzialtopf — 193
5.2.1	Die HUR beim unendlichen Potenzialtopf — 198
5.2.2	Der Impuls beim unendlichen Potenzialtopf — 199
5.2.3	Das Elektronengasmodell — 203
5.2.4	Der unendliche Potenzialtopf und NOS — 205
5.3	Der endlich hohe Potenzialtopf — 206
5.3.1	Gebundene Lösungen ($E < 0$) — 206
5.3.2	Kontinuumslösungen ($E > 0$) — 210
5.4	Der Tunneleffekt — 213
5.5	Der quantenmechanische harmonische Oszillator — 214
5.5.1	Auf- und Absteigeoperatoren — 215
5.5.2	Besetzungszahloperator und Unbestimmtheitsrelation — 218
5.5.3	Historische Anmerkung zum quantenmechanischen HO — 219
5.6	Das Wasserstoffatom — 220
5.6.1	Der Drehimpuls — 220
5.6.2	Die Schrödinger-Gleichung in Kugelkoordinaten — 223
5.6.3	Magnetfelder und der Elektronenspin — 230
5.6.4	Das Pauli-Prinzip und die quantenmechanische Ununterscheidbarkeit — 237
5.7	Atombau und das Periodensystem der Elemente — 239
5.7.1	Aufbauprinzip und Nebengruppen — 240
5.7.2	Kann die Chemie auf die Physik reduziert werden? — 242
5.8	Spin-Addition und Verschränkung — 242
5.8.1	Das Tensorprodukt und die Spin-Addition — 243
5.8.2	Verschränkung — 247
5.9	Die Wechselwirkung von Strahlung und Materie in der semiklassischen Näherung — 254

XII — Inhalt

5.9.1	Photoeffekt ohne Photonen — 255
5.9.2	Was sind Photonen? — 260
6	Die Philosophie der Quantenmechanik — 268
6.1	Die Interpretation der Quantenmechanik — 268
6.1.1	Die „Kopenhagener Deutung“ der Quantentheorie — 269
6.1.2	Schrödingers Katze und das Messproblem — 271
6.1.3	Maudlins Trilemma und eine Klassifikation der Interpretationen — 274
6.1.4	Die De-Broglie-Bohm-Theorie — 275
6.1.5	Viele-Welten-Interpretation — 277
6.1.6	Spontane-Kollaps-Theorien — 278
6.1.7	Epistemische Interpretationen — 278
6.2	EPR und die Bell'schen Ungleichungen — 280
6.2.1	Das EPR-Experiment — 280
6.2.2	Die Bell'sche Ungleichung — 282
6.2.3	Konsequenzen aus der Verletzung der Bell'schen Ungleichung — 288
6.2.4	Der experimentelle Test der Bell'schen Ungleichung — 290
6.2.5	Die Rezeptionsgeschichte des Bell-Theorems — 291
A	Appendix — 297
A.1	Die Berechnung der spektralen Modendichte — 297
A.2	Details zu Plancks Herleitung des Strahlungsgesetzes — 298
Literatur — 301	
Stichwortverzeichnis — 315	