

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Induktive Begründung der Wellenmechanik</b>	<b>1</b>
1.1	Grenzen der klassischen Physik	4
1.1.1	Aufgaben	7
1.2	Das Planck'sche Wirkungsquantum	8
1.2.1	Wärmestrahlungsgesetze	8
1.2.2	Das Versagen der klassischen Physik	11
1.2.3	Die Planck'sche Formel	14
1.2.4	Aufgaben	18
1.3	Atome, Elektronen, Atomkerne	18
1.3.1	Teilbarkeit der Materie	18
1.3.2	Elektronen	23
1.3.3	Rutherford-Streuung	33
1.3.4	Aufgaben	38
1.4	Lichtwellen, Lichtquanten	41
1.4.1	Interferenz, Beugung	42
1.4.2	Fraunhofer-Beugung	45
1.4.3	Beugung am Kristallgitter	49
1.4.4	Lichtquanten, Photonen	54
1.4.5	Aufgaben	59
1.5	Semiklassische Modellvorstellungen zum Atomaufbau	61
1.5.1	Versagen des klassischen Rutherford-Modells	61

1.5.2	Bohr'sches Atommodell . . . . .	65
1.5.3	Korrespondenzprinzip . . . . .	72
1.5.4	Aufgaben . . . . .	77
	Kontrollfragen . . . . .	77
<b>2</b>	<b>Schrödinger-Gleichung . . . . .</b>	<b>81</b>
2.1	Materiewellen . . . . .	83
2.1.1	Wirkungswellen in der Hamilton-Jacobi-Theorie . . . . .	84
2.1.2	Die de Broglie-Wellen . . . . .	88
2.1.3	Das Doppelspaltexperiment . . . . .	91
2.1.4	Aufgaben . . . . .	93
2.2	Die Wellenfunktion . . . . .	94
2.2.1	Statistische Interpretation . . . . .	94
2.2.2	Die freie Materiewelle . . . . .	98
2.2.3	Wellenpakete . . . . .	102
2.2.4	Wellenfunktion im Impulsraum . . . . .	107
2.2.5	Periodische Randbedingungen . . . . .	109
2.2.6	Mittelwerte, Schwankungen . . . . .	111
2.2.7	Aufgaben . . . . .	112
2.3	Der Impulsoperator . . . . .	117
2.3.1	Impuls- und Ortsdarstellung . . . . .	117
2.3.2	Nicht-Vertauschbarkeit von Operatoren . . . . .	120
2.3.3	Korrespondenzregel . . . . .	122
2.3.4	Aufgaben . . . . .	125
	Kontrollfragen . . . . .	128
<b>3</b>	<b>Grundlagen der Quantenmechanik (Dirac-Formalismus) . . . . .</b>	<b>131</b>
3.1	Begriffe . . . . .	134
3.1.1	Zustand . . . . .	134
3.1.2	Präparation eines reinen Zustands . . . . .	135

- 3.1.3 Observable . . . . . 140
- 3.2 Mathematischer Formalismus . . . . . 141
  - 3.2.1 Hilbert-Raum . . . . . 141
  - 3.2.2 Hilbert-Raum der quadratintegrablen Funktionen ( $\mathcal{H} = L^2$ ) . . . . 147
  - 3.2.3 Dualer Raum, bra- und ket-Vektoren . . . . . 149
  - 3.2.4 Uneigentliche (Dirac-)Vektoren . . . . . 151
  - 3.2.5 Lineare Operatoren . . . . . 155
  - 3.2.6 Eigenwertproblem . . . . . 159
  - 3.2.7 Spezielle Operatoren . . . . . 164
  - 3.2.8 Lineare Operatoren als Matrizen . . . . . 170
  - 3.2.9 Aufgaben . . . . . 175
- 3.3 Physikalische Interpretation . . . . . 188
  - 3.3.1 Postulate der Quantenmechanik . . . . . 189
  - 3.3.2 Messprozess . . . . . 191
  - 3.3.3 Verträgliche, nicht-verträgliche Observable . . . . . 195
  - 3.3.4 Dichtematrix (Statistischer Operator) . . . . . 198
  - 3.3.5 Unbestimmtheitsrelation . . . . . 203
  - 3.3.6 Aufgaben . . . . . 205
- 3.4 Dynamik der Quantensysteme . . . . . 209
  - 3.4.1 Zeitentwicklung der Zustände (Schrödinger-Bild) . . . . . 210
  - 3.4.2 Zeitentwicklungsoperator . . . . . 213
  - 3.4.3 Zeitentwicklung der Observablen (Heisenberg-Bild) . . . . . 217
  - 3.4.4 Wechselwirkungsdarstellung (Dirac-Bild) . . . . . 220
  - 3.4.5 Quantentheoretische Bewegungsgleichungen . . . . . 223
  - 3.4.6 Energie-Zeit-Unschärferelation . . . . . 226
  - 3.4.7 Aufgaben . . . . . 228
- 3.5 Korrespondenzprinzip . . . . . 231
  - 3.5.1 Heisenberg-Bild und klassische Poisson-Klammer . . . . . 232
  - 3.5.2 Orts- und Impulsdarstellung . . . . . 235
  - 3.5.3 Aufgaben . . . . . 241
- Kontrollfragen . . . . . 245

<b>4</b>	<b>Einfache Modellsysteme</b>	<b>251</b>
4.1	Allgemeine Aussagen zu eindimensionalen Potentialproblemen	254
4.1.1	Lösung der eindimensionalen Schrödinger-Gleichung	254
4.1.2	Wronski-Determinante	258
4.1.3	Eigenwertspektrum	260
4.1.4	Parität	265
4.1.5	Aufgaben	267
4.2	Potentialtopf	268
4.2.1	Gebundene Zustände	268
4.2.2	Streuzustände	273
4.2.3	Aufgaben	278
4.3	Potentialbarrieren	283
4.3.1	Potentialstufe	283
4.3.2	Potentialwall	289
4.3.3	Tunneleffekt	292
4.3.4	Beispiel: $\alpha$ -Radioaktivität	293
4.3.5	Kronig-Penney-Modell	297
4.3.6	Aufgaben	303
4.4	Harmonischer Oszillator	307
4.4.1	Erzeugungs- und Vernichtungsoperator	309
4.4.2	Eigenwertproblem des Besetzungszahloperators	311
4.4.3	Spektrum des harmonischen Oszillators	315
4.4.4	Ortsdarstellung	317
4.4.5	Sommerfeld'sche Polynommethode	321
4.4.6	Mehrdimensionaler harmonischer Oszillator	325
4.4.7	Aufgaben	327
	Kontrollfragen	334
	<b>Lösungen der Übungsaufgaben</b>	<b>339</b>
	<b>Sachverzeichnis</b>	<b>535</b>