

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Die Quantelung physikalischer Größen</b>	<b>1</b>
	Lichtquanten	1
	Der photoelektrische Effekt	1
	Der Compton-Effekt	4
	Das Ritzsche Kombinationsprinzip	8
	Der Franck-Hertz-Versuch	9
	Der Stern - Gerlach - Versuch	10
<b>2.</b>	<b>Strahlungsgesetze</b>	<b>12</b>
	Vorbetrachtung über die Strahlung von Körpern	12
	Was ist Hohlraumstrahlung?	13
	Rayleigh-Jeanssches Strahlungsgesetz – Die Eigen- schwingungen des Hohlraums	19
	Das Planksche Strahlungsgesetz	23
<b>3.</b>	<b>Der Wellenaspekt der Materie</b>	<b>37</b>
	Die de Broglieschen Wellen	37
	Beugung von Materiestrahlen	43
	Die statistische Deutung der Materiewellen	49
	Mittelwerte in der Quantenmechanik	57
	Der Operator der kinetischen Energie	60
	Der Drehimpulsoperator	60
	Der Hamilton-Operator	61
	Das Superpositionsprinzip in der Quantenmechanik	62
	Die Heisenbergsche Unschärferelation	64
<b>4.</b>	<b>Die mathematischen Grundlagen der Quanten- mechanik I</b>	<b>84</b>
	Eigenschaften der Operatoren	84
	Verknüpfung zweier Operatoren	86
	Darstellung als Skalarprodukt	88
	Eigenwerte und Eigenfunktionen	89
	Gleichzeitige Meßbarkeit verschiedener Größen	95
	Orts- und Impulsoperatoren	97

Die Heisenbergschen Unschärferelationen für beliebige . . .	98
physikalische Größen . . . . .	100
Drehimpulsoperator . . . . .	105
Kinetische Energie . . . . .	106
Gesamtenergie . . . . .	
<b>5. Mathematische Ergänzung . . . . .</b>	<b>124</b>
Eigendifferentiale und die Normierung von Eigen-	
funktionen kontinuierlicher Spektren . . . . .	124
Entwicklung nach Eigenfunktionen . . . . .	134
<b>6. Die Schrödinger-Gleichung . . . . .</b>	<b>137</b>
Die Erhaltung der Teilchenzahl in der Quantenmechanik .	167
Stationäre Zustände . . . . .	169
Eigenschaften der stationären Zustände . . . . .	171
<b>7. Der harmonische Oszillator . . . . .</b>	<b>179</b>
Mathematische Ergänzung: Hypergeometrische Funktionen	181
Die Lösung der Oszillatorgleichung . . . . .	186
Die Beschreibung des harmonischen Oszillators durch . . .	
Erzeugungs- und Vernichtungsoperatoren . . . . .	197
Eigenschaften von $\hat{a}$ und $\hat{a}^+$ . . . . .	198
Bestimmung des Hamilton-Operators in $\hat{a}^+$ und $\hat{a}$ . . . .	200
Interpretation von $\hat{a}$ und $\hat{a}^+$ . . . . .	200
<b>8. Der Übergang klassische Mechanik - Quanten-</b>	
<b>mechanik . . . . .</b>	<b>208</b>
Bewegung der Mittelwerte . . . . .	208
Ehrenfest'sches Theorem . . . . .	209
Konstanten der Bewegung, Erhaltungssätze . . . . .	211
Die Quantisierung in krummlinigen Koordinaten . . . . .	213
<b>9. Geladenes Teilchen im elektromagnetischen Feld . . . .</b>	<b>227</b>
Ankopplung des elektromagnetischen Feldes . . . . .	227
Das Wasserstoffatom . . . . .	238
Die räumlichen Elektronendichten . . . . .	246
Das Spektrum des Wasserstoffatoms . . . . .	249

Ströme im Wasserstoffatom . . . . .	251
Das magnetische Moment . . . . .	253
Wasserstoffähnliche Atome . . . . .	254
<b>10. Die mathematischen Grundlagen der Quanten- mechanik II . . . . .</b>	<b>268</b>
Darstellungstheorie . . . . .	268
Darstellung von Operatoren . . . . .	272
Eigenwertproblem . . . . .	280
Transformationen . . . . .	282
Die $S$ -Matrix . . . . .	285
Die Schrödinger-Gleichung in Matrizenform . . . . .	287
Schrödinger-Bild . . . . .	290
Heisenberg-Bild . . . . .	290
Das Wechselwirkungsbild . . . . .	291
<b>11. Störungsrechnung – Näherungsverfahren . . . . .</b>	<b>293</b>
Stationäre Störungsrechnung . . . . .	293
Entartung . . . . .	298
Das Ritzsche Variationsprinzip . . . . .	311
Zeitabhängige Störungsrechnung . . . . .	314
Zeitunabhängige Störung . . . . .	321
Übergänge zwischen Kontinuumszuständen . . . . .	323
Projektoren . . . . .	327
<b>12. Der Spin . . . . .</b>	<b>352</b>
Der Stern-Gerlach-Versuch . . . . .	352
Dublettaufspaltung . . . . .	353
Der Einstein-de Haas-Versuch . . . . .	356
Die mathematische Beschreibung des Spins . . . . .	358
Wellenfunktionen mit Spin . . . . .	362
Die Pauli-Gleichung . . . . .	366
<b>13. Eine nichtrelativistische Wellengleichung mit Spin . . . . .</b>	<b>381</b>
Die Linearisierung der Schrödinger-Gleichung . . . . .	381
Teilchen im äußeren Feld und das magnetische Moment . . . . .	389

<b>14. Systeme identischer Teilchen</b>	393
Mehrkörperprobleme	393
Die Erhaltung des Gesamtimpulses eines Teilchensystems	396
Die Schwerpunktsbewegung eines Teilchensystems in der	
Quantenmechanik	398
Die Erhaltung des Gesamtdrehimpulses	404
Schwingungen kleiner Amplituden in einem	
Vielteilchensystem	418
Identische Teilchen	438
Das Pauli-Prinzip	443
Austauschentartung	443
Slaterdeterminante	445
<b>15. Das formale Schema der Quantenmechanik</b>	463
Zur mathematischen Vertiefung: Der Hilbert-Raum	463
Operatoren im Hilbert-Raum	466
Eigenwerte und Eigenvektoren	467
Operatoren mit kontinuierlichen bzw. gemischten Spektren	471
Funktionen von Operatoren	473
Unitäre Transformationen	476
Der direkte Produktraum	477
Die Axiome der Quantenmechanik	479
Freie Teilchen	483
Resümee der Störungstheorie	496
<b>16. Konzeptionelle und philosophische Probleme der</b>	
<b>    Quantenmechanik</b>	500
Determinismus und Lokalität	500
Theorien verborgener Parameter	504
Das Bellsche Theorem	509
Theorien des Meßprozesses	513
Das Problem der Realität	525

## Aufgaben und Beispiele

2.1	Aufgabe:	Zur Hohlraumstrahlung . . . . .	16
2.2	Beispiel:	Die Ableitung des Planckschen Strahlungsgesetzes nach Planck . . . . .	27
2.3	Aufgabe:	Strahlung eines schwarzen Körpers . . . . .	30
2.4	Aufgabe:	Das Wiensche Verschiebungsgesetz . . . . .	33
2.5	Aufgabe:	Emittierte Energien eines schwarzen Strahlers . . . . .	34
2.6	Beispiel zur Vertiefung:	Kosmische Schwarzkörperstrahlung . . . . .	35
3.1	Aufgabe:	Beugungsbilder monochromatischer Röntgen- strahlung . . . . .	46
3.2	Aufgabe:	Beugung von Elektronen und Neutronen . . . . .	47
3.3	Aufgabe:	Erwartungswert der kinetischen Energie . . . . .	61
3.4	Beispiel:	Superposition ebener Wellen, Impulswahrscheinlichkeit . . . . .	63
3.5	Beispiel:	Ortsmessung am Spalt . . . . .	69
3.6	Beispiel:	Ortsmessung durch Einschluß im Kasten . . . . .	70
3.7	Beispiel:	Ortsmessung mit dem Mikroskop . . . . .	71
3.8	Beispiel:	Impulsmessung mit dem Beugungsgitter . . . . .	72
3.9	Ergänzung:	Das Auflösungsvermögen eines Strichgitters . . . . .	73
3.10	Aufgabe:	Eigenschaften eines Gaußschen Wellenpakets . . . . .	76
3.11	Aufgabe:	Normierung von Wellenfunktionen . . . . .	79
3.12	Aufgabe:	Melone im Quantenland . . . . .	81
3.13	Aufgabe:	Interferenz von Neutronenwellen . . . . .	82
4.1	Beispiel:	Hermitezität des Impulsoperators . . . . .	85
4.2	Beispiel:	Kommutator von Orts- und Impulsoperator . . . . .	86
4.3	Aufgabe:	Rechenregeln für Kommutatoren . . . . .	87
4.4	Beispiel:	Die Eigenfunktionen des Impulses . . . . .	95
4.5	Aufgabe:	Beweis einer Operatorenungleichung . . . . .	106
4.6	Aufgabe:	Unterschiede von Unschärferelationen . . . . .	107
4.7	Aufgabe:	Entwicklung eines Operators . . . . .	108
4.8	Beispiel zur Vertiefung:	Legendre-Polynome . . . . .	109
4.9	Beispiel zur Vertiefung:	Die Kugelflächen-Funktionen . . . . .	117
4.10	Beispiel:	Das Additionstheorem der Kugelfunktionen . . . . .	121