

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Die Quantelung physikalischer Größen</b>	1
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. Strahlungsgesetze</b>	12
Vorbetrachtung über die Strahlung von Körpern	12
Was ist Hohlraumstrahlung?	13
Rayleigh-Jeanssches Strahlungsgesetz – Die Eigenschwingungen des Hohlraums	19
Das Planksche Strahlungsgesetz	23
<b>3. Der Wellenaspekt der Materie</b>	37
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. Die mathematischen Grundlagen der Quantenmechanik I</b>	84
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 physikalische Größen	98
Drehimpulsoperator	100
Kinetische Energie	105
Gesamtenergie	106
<b>5. Mathematische Ergänzung</b>	124
Eigendifferentiale und die Normierung von Eigenfunktionen kontinuierlicher Spektren	124
Entwicklung nach Eigenfunktionen	134
<b>6. Die Schrödinger-Gleichung</b>	137
Die Erhaltung der Teilchenzahl in der Quantenmechanik	167
Stationäre Zustände	169
Eigenschaften der stationären Zustände	171
<b>7. Der harmonische Oszillator</b>	179
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 - Quantenmechanik</b>	208
Bewegung der Mittelwerte	208
Ehrenfestsches Theorem	209
Konstanten der Bewegung, Erhaltungssätze	211
Die Quantisierung in krummlinigen Koordinaten	213
<b>9. Geladenes Teilchen im elektromagnetischen Feld</b>	227
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 Quantenmechanik II . . . . .</b>	<b>268</b>
Darstellungstheorie . . . . .	268
Darstellung von Operatoren . . . . .	272
Eigenwertproblem . . . . .	280
Transformationen . . . . .	282
Die <i>S</i> -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 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 Röntgenstrahlung . . . . .	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