

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>v</b>
<b>1 Allgemeine Formulierung: Erster Teil und einfache Beispiele</b>	<b>1</b>
1.1 Die Grundannahmen in Umrissen . . . . .	1
1.2 Observablen und zugeordnete Operatoren . . . . .	5
1.2.1 Das Korrespondenzprinzip . . . . .	5
1.2.2 Schrödinger-Darstellung und Aufenthaltswahrscheinlichkeit . . . . .	8
1.2.3 Vektoroperatoren . . . . .	10
1.3 Die Parität . . . . .	13
1.4 Der harmonische Oszillator . . . . .	17
1.4.1 Der lineare Oszillator . . . . .	17
1.4.2 Der dreidimensionale isotrope Oszillator . . . . .	20
1.5 Die Zeitentwicklung der Erwartungswerte . . . . .	22
1.6 Die allgemeine Unschärferelation . . . . .	25
1.7 Periodische Potentiale in einer Raumdimension . . . . .	28
1.7.1 Die allgemeine Theorie . . . . .	29
1.7.2 Das periodische Kastenpotential als Beispiel . . . . .	32
<b>2 Der Drehimpuls</b>	<b>37</b>
2.1 Drehimpuls-Algebra und Spektrum . . . . .	37
2.2 Der Bahndrehimpuls eines Teilchens . . . . .	41
2.2.1 Spektrum und Eigenvektoren . . . . .	41
2.2.2 Kugelfunktionen . . . . .	44
<b>3 Gebundene Zustände in einem Zentralpotential</b>	<b>49</b>
3.1 Vertauschbare Operatoren und simultane Eigenvektoren . . . . .	49
3.2 Das diskrete Spektrum des Hamilton-Operators . . . . .	51
3.3 Der isotrope Oszillator nochmals . . . . .	58
3.4 Ein Teilchen im Coulomb-Potential . . . . .	60
3.4.1 Die Eigenfunktionen des Hamilton-Operators . . . . .	60
3.4.2 Die dynamische Symmetrie . . . . .	66
<b>4 Geladene Teilchen im äußeren elektromagnetischen Feld</b>	<b>70</b>
4.1 Minimale Kopplung und Eichinvarianz . . . . .	71

---

4.2	Spezialfälle äußerer Felder . . . . .	74
4.3	Mehrere Teilchen . . . . .	75
<b>5</b>	<b>Störungstheorie der Eigenwerte</b>	<b>77</b>
5.1	Störungstheorie eines mehrfachen Eigenwertes . . . . .	77
5.1.1	Vorbemerkungen zur Basiswahl . . . . .	77
5.1.2	Die Störung als formale Potenzreihe . . . . .	79
5.2	Einfache Anwendung: Modell des Leuchtelektrons für Alkaliatome . . . . .	84
<b>6</b>	<b>Streuprozesse</b>	<b>86</b>
6.1	Fourier-Transformation und Temperierte Distributionen . . . . .	86
6.1.1	Die rasch abfallenden Testfunktionen . . . . .	86
6.1.2	Temperierte Distributionen . . . . .	89
6.2	Wellenpakete freier Teilchen . . . . .	93
6.3	Die Resolvente des freien Hamilton-Operators und Greensche Funktionen	97
6.4	Schema eines Streuexperiments und Wirkungsquerschnitt . . . . .	100
6.5	Streuung eines Teilchens an einem zeitunabhängigen Potential . . . . .	101
6.6	Streulösungen und Wirkungsquerschnitt . . . . .	107
6.7	Streuung am Zentralpotential . . . . .	111
6.7.1	Partialwellen und Streuphasen . . . . .	111
6.7.2	Das attraktive Exponentialpotential als Beispiel . . . . .	119
6.8	Die Streuung am Coulomb-Potential . . . . .	125
6.9	Die Møller-Operatoren . . . . .	128
6.10	Møller-Operatoren und Eigendistributionen der Lippmann-Schwinger-Gl.	133
6.11	Der Streuoperator . . . . .	137
<b>7</b>	<b>Teilchen mit Spin-<math>\frac{1}{2}</math></b>	<b>140</b>
7.1	Hilbert-Raum und Observablen . . . . .	140
7.2	Ein Spin- $\frac{1}{2}$ -Teilchen im elektromagnetischen Feld . . . . .	142
7.2.1	Allgemeiner Hamilton-Operator . . . . .	142
7.2.2	Die Bewegung im Feld einer zeitunabhängigen homogenen magnetischen Induktion . . . . .	145
7.3	Der Gesamtdrehimpuls und die Clebsch-Gordan-Koeffizienten . . . . .	149
7.4	Die Spin-Bahn-Kopplung . . . . .	152
<b>8</b>	<b>Zur Spektraltheorie selbstadjungierter Operatoren</b>	<b>155</b>
8.1	Die Spektralzerlegung . . . . .	155
8.2	Eigendistributionen und verallgemeinerte Vollständigkeitsrelation . . . . .	159
<b>9</b>	<b>Allgemeine Formulierung: Zweiter Teil</b>	<b>164</b>
9.1	Die Meßwahrscheinlichkeit spezieller Observablenwerte . . . . .	164
9.2	Der Statistische Operator . . . . .	167
9.2.1	Reine Gesamtheiten . . . . .	167

---

9.2.2	Gemischte Gesamtheiten . . . . .	170
9.3	Die Bilder der Zeitentwicklung . . . . .	176
9.3.1	Das Schrödinger-Bild . . . . .	176
9.3.2	Das Heisenberg-Bild . . . . .	178
9.3.3	Das Wechselwirkungsbild . . . . .	179
9.3.4	Der Oszillator im äußeren Feld als Beispiel . . . . .	182
9.4	Die Bewegungsumkehr . . . . .	185
9.5	Meßprozeß und Korrelationen . . . . .	189
<b>10</b>	<b>Identische Teilchen</b>	<b>194</b>
10.1	Das Tensorprodukt von Hilbert-Räumen . . . . .	194
10.2	Fermi-Dirac-Statistik und Bose-Einstein-Statistik . . . . .	196
10.3	Zwei Elektronen im Coulomb-Potential . . . . .	203
10.3.1	Die Grobstruktur heliumartiger Atome . . . . .	203
10.3.2	Variationsmethoden und Grundzustand . . . . .	208
10.4	Das $n$ -Elektronen-Atom: der Virialsatz . . . . .	211
10.5	Der Fock-Raum . . . . .	213
10.6	Erzeugungs- und Vernichtungsoperatoren und der Feldoperator . . . . .	216
10.6.1	Bosonen . . . . .	216
10.6.2	Fermionen . . . . .	223
10.7	Die großkanonische Gesamtheit . . . . .	230
10.7.1	Modell unabhängiger Teilchen und mittlere Besetzungszahlen . .	232
10.7.2	Ideale Quantengase . . . . .	235
<b>A</b>	<b>Lineare Operatoren in einem separablen komplexen Hilbert-Raum</b>	<b>240</b>
A.1	Hilbert-Räume . . . . .	240
A.1.1	Der abstrakte Hilbert-Raum . . . . .	240
A.1.2	Folgerungen aus den Axiomen . . . . .	241
A.1.3	Konkrete Hilbert-Räume . . . . .	243
A.2	Lineare Operatoren . . . . .	245
A.2.1	Beschränkte auf ganz $\mathcal{H}$ definierte Operatoren . . . . .	245
A.2.2	Unbeschränkte Operatoren . . . . .	248
A.2.3	Das Spektrum eines selbstadjungierten Operators . . . . .	249
<b>Lösungen der Aufgaben</b>		<b>253</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>		<b>279</b>
<b>Index</b>		<b>282</b>