

Florian Scheck

Theoretische Physik 2

Nichtrelativistische Quantentheorie

Vom Wasserstoffatom
zu den Vielteilchensystemen

Dritte Auflage

Mit 50 Abbildungen,
51 Übungen mit Lösungshinweisen
und exemplarischen, vollständigen Lösungen

 Springer Spektrum

Inhaltsverzeichnis

1. Quantenmechanik eines Punktteilchens	
1.1 Grenzen der klassischen Physik	3
1.2 Die Heisenberg'sche Unschärferelation für Ort und Impuls	14
1.2.1 Streuung von Observablen	15
1.2.2 Quantenmechanische Unschärfen von kanonischen Variablen	18
1.2.3 Beispiele zur Heisenberg'schen Unschärferelation	22
1.3 Der Dualismus Teilchen–Welle	24
1.3.1 Die Wellenfunktion und ihre Interpretation	26
1.3.2 Erste Querverbindung zur Mechanik	29
1.3.3 Gauß'sches Wellenpaket	30
1.3.4 Elektron in äußeren elektromagnetischen Feldern	33
1.4 Schrödinger-Gleichung und Born'sche Interpretation der Wellenfunktion	37
1.5 Erwartungswerte und Observable	43
1.5.1 Observable als selbstadjungierte Operatoren auf L	45
1.5.2 Der Ehrenfest'sche Satz	49
1.6 Diskretes Spektrum: Harmonischer Oszillator in einer Dimension	51
1.7 Orthogonale Polynome in einer reellen Variablen	63
1.8 Observable und Erwartungswerte	71
1.8.1 Observable mit nichtentartetem Spektrum	71
1.8.2 Ein Beispiel	76
1.8.3 Observable mit entartetem, diskretem Spektrum	80
1.8.4 Observable mit rein kontinuierlichem Spektrum	85
1.9 Zentralkräfte in der Schrödinger-Gleichung	89
1.9.1 Der Bahndrehimpuls: Eigenwerte und Eigenfunktionen	90
1.9.2 Radialimpuls und kinetische Energie	100
1.9.3 Kräftefreie Bewegung bei scharfem Drehimpuls	103
1.9.4 Der Kugeloszillator	110
1.9.5 Gemischtes Spektrum: das Wasserstoffatom	117
2. Streuung von Teilchen an Potentialen	
2.1 Makroskopische und mikroskopische Skalen	127
2.2 Streuung am Zentralpotential	129
2.3 Partialwellenanalyse	134
2.3.1 Methoden der Berechnung von Streuphasen	139
2.3.2 Potentiale mit unendlicher Reichweite: Coulombpotential im Außenraum	142
2.4 Born'sche Reihe und Born'sche Näherung	146
2.4.1 Erste Born'sche Näherung	148
2.4.2 Formfaktoren bei elastischer Streuung	150
2.5 *Analytische Eigenschaften der Partialwellenamplituden	154
2.5.1 Jost-Funktionen	156
2.5.2 Dynamische und kinematische Schnitte	156
2.5.3 Partialwellenamplituden als analytische Funktionen	160

2.5.4	Resonanzen.....	160
2.5.5	Streulänge und effektive Reichweite.....	163
2.6	Inelastische Streuung mit Partialwellenanalyse.....	166
3.	Die Prinzipien der Quantentheorie	
3.1	Darstellungstheorie.....	171
3.1.1	Dirac'sche Bracket-Schreibweise.....	174
3.1.2	Transformationen zwischen verschiedenen Darstellungen..	177
3.2	Der Begriff des Hilbert-Raums.....	180
3.2.1	Definition von Hilbert-Räumen.....	182
3.2.2	Unterräume von Hilbert-Räumen.....	187
3.2.3	Dualraum eines Hilbert-Raums und Dirac'sche Notation..	189
3.3	Lineare Operatoren auf Hilbert-Räumen.....	191
3.3.1	Selbstadjungierte Operatoren.....	192
3.3.2	Projektionsoperatoren.....	195
3.3.3	Spektralschar von Projektionsoperatoren.....	197
3.3.4	Unitäre Operatoren.....	201
3.3.5	Zeitliche Entwicklung quantenmechanischer Systeme.....	203
3.4	Quantenmechanische Zustände.....	205
3.4.1	Präparation von Zuständen.....	205
3.4.2	Statistischer Operator und Dichtematrix.....	209
3.4.3	Abhängigkeit eines Zustands von seiner Vorgeschichte....	211
3.4.4	Beispiele zur Präparation von Zuständen.....	214
3.5	Zwischenbilanz.....	216
3.6	Schrödinger- und Heisenberg-Bild.....	218
4.	Raum-Zeit-Symmetrien in der Quantenphysik	
4.1	Die Drehgruppe (Teil 1).....	221
4.1.1	Die Erzeugenden der Drehgruppe.....	221
4.1.2	Darstellungen der Drehgruppe.....	224
4.1.3	Die „Drehmatrizen“ D.....	230
4.1.4	Beispiele und Formeln für D-Matrizen.....	232
4.1.5	Spin und magnetisches Moment von Teilchen mit $j = 1/2$	233
4.1.6	Clebsch-Gordan-Reihe und Kopplung von Drehimpulsen..	236
4.1.7	Spin- und Ortswellenfunktionen.....	239
4.1.8	Reine und gemischte Zustände für Spin 1/2.....	240
4.2	Raumspiegelung und Zeitumkehr in der Quantenmechanik... 	242
4.2.1	Raumspiegelung und Parität.....	243
4.2.2	Bewegungs- und Zeitumkehr.....	245
4.2.3	Abschließende Bemerkungen zu T und.....	249
4.3	Symmetrie und Antisymmetrie bei identischen Teilchen.....	252
4.3.1	Zwei verschiedene Teilchen in Wechselwirkung.....	253
4.3.2	Identische Teilchen am Beispiel $N = 2$	255
4.3.3	Erweiterung auf N identische Teilchen.....	259
4.3.4	Zusammenhang zwischen Spin und Statistik.....	260
5.	Anwendungen der Quantenmechanik	
5.1	Korrelierte Zustände und Quanteninformation.....	265
5.1.1	Nichtlokalitäten, Verschränkung und Korrelationen.....	266
5.1.2	Verschränkung und allgemeinere Überlegungen.....	273
5.1.3	Klassische und Quanten-Bits.....	276

5.2 Stationäre Störungsrechnung	280
5.2.1 Störung eines nichtentarteten Energiespektrums	281
5.2.2 Störung eines Spektrums mit Entartung	285
5.2.3 Ein Beispiel: Der Stark-Effekt	286
5.2.4 Zwei weitere Beispiele: Ein Zwei-Niveau-System, Zeeman-Effekt der Hyperfeinstruktur in Myonium	289
5.3 Zeitabhängige Störungstheorie und Übergangswahrscheinlichkeiten	297
5.3.1 Störungsentwicklung der zeitabhängigen Wellenfunktion ..	297
5.3.2 Erste Ordnung und Fermis Goldene Regel	300
5.4 Stationäre Zustände von N identischen Fermionen	303
5.4.1 Selbstkonsistenz und Hartree'sches Verfahren	303
5.4.2 Methode der zweiten Quantisierung	304
5.4.3 Die Hartree-Fock-Gleichungen	308
5.4.4 Hartree-Fock-Gleichungen und Restwechselwirkungen ...	311
5.4.5 Teilchen- und Lochzustände, Normalprodukt und Wick'sches Theorem	313
5.4.6 Anwendung auf den Hartree-Fock-Grundzustand	317
A. Anhang	
A.1 Diracs $\delta(x)$ und temperierte Distributionen	321
A.1.1 Testfunktionen und temperierte Distributionen	322
A.1.2 Funktionen als Distributionen	324
A.1.3 Träger einer Distribution	325
A.1.4 Ableitungen temperierter Distributionen	326
A.1.5 Beispiele von Distributionen	326
A.2 Gammafunktion und Hypergeometrische Funktionen	329
A.2.1 Die Gammafunktion	329
A.2.2 Hypergeometrische Funktionen	332
A.3 Wichtige Zahlenwerte	337
Aufgaben und ausgewählte Lösungen	339
Literatur	361
Sachverzeichnis	365