

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
24 Zeitentwicklung in der Quantenmechanik	1
24.1 Der Zeitentwicklungsoperator	1
24.2 Explizite Darstellung des Zeitentwicklungsoperators	4
24.3 Das Heisenberg-Bild	9
24.3.1 Erhaltungsgrößen	12
24.3.2 Bewegungsgleichungen im Heisenberg-Bild	13
24.4 Das Wechselwirkungsbild	14
24.5 Zeitabhängige Störungstheorie	18
24.6 Formale Aufsummation der Störreihe	21
24.7 Zeitabh. Störungstheorie im Pfadintegralzugang: Feynman-Diagramme*	23
24.8 Die Green'sche Funktion der Schrödinger-Gleichung	30
24.8.1 Die volle Green'sche Funktion	31
24.8.2 Die Green'sche Funktion des freien Teilchens	34
25 Zeitabhängige Prozesse	39
25.1 Übergänge infolge einer äußeren Störung	39
25.2 Störreihe für die Übergangsamplitude	40
25.3 Fermis Goldene Regel	42
25.3.1 Zeitlich begrenzte Störung	42
25.3.2 Instantanes Ein- bzw. Ausschalten der Störung	44
25.3.3 Periodische Störung	53
26 Streutheorie	57
26.1 Der Streuprozess	58
26.2 Streuung eines Wellenpaketes am Potential	60
26.3 Stationäre Streutheorie: Die Lippmann-Schwinger-Gleichung	65
26.4 Die Streuamplitude	68

26.5	Der Wirkungsquerschnitt	70
26.6	Die Born'sche Näherung	73
26.6.1	Streuung am Yukawa-Potential	76
26.6.2	Streuung am Coulomb-Potential	78
26.7	Die Streumatrix*	80
26.8	Das optische Theorem*	85
26.9	Streuung am Zentralpotential: Partialwellenzerlegung	86
26.9.1	Partialwellenzerlegung der Streufunktion	86
26.9.2	Die Streuphase	88
26.9.3	Partialwellenzerlegung des Streuquerschnitts	92
26.9.4	Konvergenz der Partialwellenzerlegung	94
26.10	Hartkugelstreuung	96
26.11	Erklärung der Schattenstreuung*	104
26.12	Streuung am Potentialtopf	108
26.12.1	Die Streuphasen	109
26.12.2	Resonanzstreuung	113
26.12.3	s-Streuung am Potentialtopf	119
26.12.4	Levinson-Theorem	121
26.12.5	Die Streulänge	124
26.12.6	Streuung am kugelsymmetrischen Potentialberg	127
27	Adiabatische Beschreibung: Die Berry-Phase	131
27.1	Adiabatische Prozesse	131
27.2	Die adiabatische Näherung	133
27.3	Die Berry-Phase	136
27.4	Das Berry-Potential	138
27.5	Pfadintegralableitung der Berry-Phase*	141
27.6	Das induzierte Magnetfeld	146
27.7	Spin im homogenen Magnetfeld	147
27.7.1	Das Berry-Potential	148
27.7.2	Das induzierte Magnetfeld	149
27.7.3	Zum Raumwinkel*	151
27.7.4	Mechanische Interpretation der Berry-Phase	154
27.8	Der Bohm-Aharonov-Effekt	156
27.8.1	Interpretation als Berry-Phase	159
27.8.2	Pfadintegralberechnung der Berry-Phase*	161
28	Symmetrien	165
28.1	Verhalten der Wellenfunktion unter Koordinatentransformationen	165

28.2	Koordinatentransformationen im Hilbert-Raum	169
28.3	Symmetrietransformationen	171
28.4	Kontinuierliche Symmetrietransformationen	173
28.5	Translation des Raumes	174
28.6	Drehungen	176
28.6.1	Drehung des Koordinatensystems	176
28.6.2	Der Drehoperator	177
28.6.3	Matrixdarstellung des Drehoperators	179
28.6.4	Das Drehverhalten von Observablen: Skalare, Vektoren und Tensoren ...	183
28.6.5	Teilchen im rotierenden Bezugssystem: Die Coriolis-Wechselwirkung	186
28.7	Diskrete Symmetrien	189
28.7.1	Raumspiegelung	189
28.7.2	Zeitumkehr	190
28.8	Innere Symmetrien	191
28.9	Eichsymmetrien*	194
29	Rotationen*	199
29.1	Darstellung der Drehung durch Euler-Winkel	199
29.2	Die Wigner'schen \mathcal{D} -Funktionen	204
29.3	Die Drehimpulseigenfunktionen des starren Körpers	208
29.4	Rotation eines starren Körpers	217
30	Relativistische Quantenmechanik	221
30.1	Relativistische Kinematik	221
30.2	Lagrange- und Hamilton-Formulierung*	224
30.3	Elektromagnetische Felder	228
30.4	Die Klein-Gordon-Gleichung	232
30.5	Die Dirac-Gleichung	237
30.6	Die Lösungen der freien Dirac-Gleichung	241
30.7	Der Drehimpuls des Dirac-Teilchens	246
30.8	Elektron im Magnetfeld	249
30.9	Der nichtrelativistische Limes der Dirac-Gleichung	257
30.10	Elektron im Coulomb-Potential	260
30.10.1	Punktmasse im Zentralpotential	261
30.10.2	Lösung der Dirac-Gleichung für das Coulomb-Potential	265

31	Vielteilchensysteme	275
31.1	Unterscheidbare Teilchen	275
31.2	Identische Teilchen	277
31.3	Permutationen	279
31.4	Systeme aus zwei identischen Teilchen	281
31.5	Systeme aus N identischen Teilchen	283
31.6	Spin-Statistik-Theorem	287
31.6.1	Statistik von zusammengesetzten Teilchen	288
31.7	Observablen von Systemen identischer Teilchen	289
31.8	Fermi-Systeme	292
31.8.1	Slater-Determinanten	292
31.8.2	System aus zwei identischen Fermionen mit Spin $1/2$	293
31.9	Das Helium-Atom	298
31.9.1	Das ungestörte Helium-Spektrum	300
31.9.2	Helium-Spektrum mit Coulomb-Wechselwirkung	302
31.10	Die Hartree-Fock-Methode	304
31.10.1	Hartree-Näherung	305
31.10.2	Hartree-Fock-Näherung	309
31.11	Das ideale Fermi-Gas	312
31.12	Die Thomas-Fermi-Näherung	320
32	Die Zweite Quantisierung	327
32.1	Identische Teilchen	327
32.2	Besetzungszahldarstellung	331
32.3	Der harmonische Oszillator als ein Ensemble von Phononen	333
32.4	Der Fock-Raum	334
32.5	Bosonen	336
32.6	Fermionen	339
32.7	Operatoren	344
32.7.1	Einteilchenoperatoren	344
32.7.2	Zweiteilchenoperatoren	348
32.7.3	Nützliche Operatorbeziehungen	350
32.7.4	Das Wick'sche Theorem	352
32.8	Die Ortsdarstellung	354
32.8.1	Feldoperatoren	354
32.8.2	Die Dichtematrix	358

32.9	Fermi-Systeme	360
32.9.1	Slater-Determinanten	361
32.9.2	Das Quasiteilchen-Bild	363
32.9.3	Das Thouless-Theorem*	366
33	Die Theorie der Supraleitung*	371
33.1	Paarkorrelationen	372
33.2	Variation der Energie	376
33.3	Quasiteilchen	381
33.4	Die Bogoljubov-Transformation	383
33.5	Die Energielücke	390
34	Quantenstatistik	395
34.1	Gemischte Zustände	395
34.1.1	Der statistische Operator	397
34.1.2	Der statistische Operator für ein Spin-1/2-Teilchen	400
34.1.3	Zusammenhang mit reinen Zuständen	402
34.2	Statistische Ensembles	403
34.2.1	Das Prinzip der Maximalen Entropie	404
34.2.2	Das kanonische Ensemble	407
34.2.3	Das großkanonische Ensemble	410
34.3	Das großkanonische Ensemble identischer Teilchen	412
34.3.1	Fermi-Statistik	416
34.3.2	Bose-Statistik	417
34.3.3	Gibbs-Statistik	418
34.3.4	Der harmonische Oszillator bei endlichen Temperaturen	419
34.3.5	Die Entropie identischer Teilchen	421
34.4	Mean-Field-Approximation bei endlichen Temperaturen	422
35	Kohärente Zustände	429
35.1	Kohärente Bose-Zustände	429
35.2	Kohärente Fermi-Zustände	436
35.2.1	Der fermionische Oszillator	436
35.2.2	Kohärente Fermi-Zustände und Graßmann-Variablen	437
35.2.3	Differentiation und Integration für Graßmann-Variablen	439
35.2.4	Darstellung des Fock-Raumes durch Graßmann-Variablen	443
35.2.5	Verallgem. auf Fermi-Systeme mit mehreren Freiheitsgraden	445
35.2.6	Beschreibung von Fermi-Systemen mit Hilfe von Graßmann-Variablen ..	448
35.3	Komplexe Gauß-Integrale	450

35.4	Anwendungen	454
35.4.1	Das erzeugende Funktional	455
35.4.2	Die Spur im Fock-Raum	457
35.4.3	Ensemble-Mittel	459
36	Pfadintegralbeschreibung von Vielteilchensystemen	463
36.1	Pfadintegraldarstellung der Übergangsamplitude	464
36.2	Pfadintegraldarstellung der großkanonischen Zustandssumme	469
36.3	Pfadintegraldarstellung des erzeugenden Funktional	471
36.4	Nichtdifferenzierbare Pfade	473
36.5	Bosonisierung: BCS-Theorie bei endlichen Temperaturen*	478
36.6	Funktionalintegraldarstellung der Eichtheorien	485
E	Grundzüge der Gruppentheorie	493
E.1	Grundlagen	493
E.2	Kontinuierliche Gruppen	496
E.3	Die Drehgruppe in $N = 2$ Dimensionen: $SO(2)$	498
E.4	Die Gruppen $O(N)$ und $SO(N)$	499
E.5	Die Drehgruppe $SO(3)$	503
E.6	Die Gruppe der unitären Matrizen $U(N)$	505
E.7	Homomorphismus und Isomorphismus	506
E.7.1	Der Isomorphismus $U(1) \simeq SO(2)$	506
E.7.2	Der Homomorphismus $SU(2) \sim SO(3)$	507
E.8	Nicht-kompakte Gruppen: Die Lorentz-Gruppe	510
E.9	Minimale Darstellung d. Lorentz-Transform. durch die Gruppe $SL(\mathbb{C})$..	515
E.10	Die Poincaré-Gruppe	518
E.10.1	Definition und Casimir-Operatoren	518
E.10.2	Physikalische Bedeutung der Casimir-Operatoren	519
E.11	Spinoren	522
E.11.1	Spinor-Darstellung der $O(N)$	522
E.11.2	Spinor-Darstellung der Lorentz-Gruppe	525
E.12	Die Algebra einfacher und halbeinfacher Lie-Gruppen	526
E.12.1	Gewichte und Wurzeln	527
E.12.2	Beispiele: Die Gruppen $SU(2)$ und $SU(3)$	530

F	Eigenschaften der Wigner'schen \mathcal{D}-Funktionen	537
G	Spuridentitäten im Fock-Raum	543
H	Das Wick'sche Theorem	547
H.1	Basisdefinitionen und Operatorbeziehungen	547
H.2	Zeitabhängige Feldoperatoren	552
H.3	Normal- und zeitgeordnetes Produkt sowie Kontraktion von Feldoperatoren	554
H.4	Allgemeine Form des Wick'schen Theorems	557
H.5	Das Wick'sche Theorem für Ensemble-Mittel	560
I	(Anti-)Periodische Funktionen und Matsubara-Summen	565
Index		571

*Dieses Kapitel ist für das Verständnis der übrigen Kapitel nicht erforderlich und kann deshalb beim ersten Lesen übersprungen werden.