

Inhalt

Vorwort zur 2. Auflage — VI

Vorwort zur 1. Auflage — VII

Inhaltsübersicht — IX

23 Zeitentwicklung — 1

23.1	Der Zeitentwicklungsoperator — 1
23.2	Explizite Darstellung des Zeitentwicklungsoperators — 4
23.3	Das Heisenberg-Bild — 9
23.3.1	Erhaltungsgrößen — 12
23.3.2	Bewegungsgleichungen im Heisenberg-Bild — 12
23.4	Das Wechselwirkungsbild — 13
23.5	Zeitabhängige Störungstheorie — 17
23.6	Formale Aufsummation der Störreihe — 20
23.7	Zeitabhängige Störungstheorie im Pfadintegralzugang: Feynman-Diagramme — 22
23.8	Die Green'sche Funktion der Schrödinger-Gleichung — 29
23.8.1	Zeitabhängige und stationäre Green'sche Funktion — 29
23.8.2	Die Green'sche Funktion des freien Teilchens — 32

24 Zeitabhängige Prozesse — 36

24.1	Übergänge infolge einer äußeren Störung — 36
24.2	Störreihe für die Übergangsamplitude — 37
24.3	Fermis Goldene Regel — 39
24.3.1	Zeitlich begrenzte Störung — 39
24.3.2	Instantanes Ein- bzw. Ausschalten der Störung — 41
24.3.3	Periodische Störung — 50

25 Streutheorie — 52

25.1	Der Streuprozess — 53
25.2	Streuung eines Wellenpaket am Potenzial — 56
25.3	Stationäre Streutheorie: Die Lippmann-Schwinger-Gleichung — 60
25.4	Die Streuamplitude — 62
25.5	Der Wirkungsquerschnitt — 64
25.6	Die Born'sche Näherung — 67
25.6.1	Streuung am Yukawa-Potenzial — 70
25.6.2	Streuung am Coulomb-Potenzial — 72

25.7	Die Streumatrix — 73
25.7.1	Die S -Matrix — 74
25.7.2	Die T -Matrix — 76
25.7.3	Das optische Theorem — 78
25.8	Streuung am Zentralpotenzial: Partialwellenzerlegung — 80
25.8.1	Partialwellenzerlegung der Streufunktion — 80
25.8.2	Die Streuphase — 81
25.8.3	Partialwellenzerlegung des Streuquerschnitts — 86
25.8.4	Konvergenz der Partialwellenzerlegung — 87
25.9	Hartkugelstreuung — 88
25.10	Erklärung der Schattenstreuung — 96
25.11	Streuung am Potenzialtopf — 101
25.11.1	Die Streuphasen — 102
25.11.2	Resonanzstreuung — 106
25.11.3	Die s -Streuung am Potenzialtopf — 112
25.11.4	Levinson-Theorem — 113
25.11.5	Die Streulänge — 117
25.11.6	Streuung am kugelsymmetrischen Potenzialberg — 119
26	Symmetrien — 121
26.1	Euklidische Koordinatentransformationen — 121
26.2	Symmetrietransformationen — 126
26.3	Kontinuierliche Symmetrietransformationen — 127
26.4	Translation des Raums — 129
26.5	Drehungen — 130
26.5.1	Der Drehoperator — 131
26.5.2	Matrixdarstellung des Drehoperators — 134
26.5.3	Das Drehverhalten von Observablen: Skalare, Vektoren und Tensoren — 137
26.5.4	Passive Drehung — 141
26.5.5	Teilchen im rotierenden Bezugssystem: Die Coriolis-Wechselwirkung — 146
26.6	Diskrete Symmetrien — 150
26.6.1	Raumspiegelung — 150
26.6.2	Zeitumkehr — 151
26.7	Innere Symmetrien — 153
26.8	Eichsymmetrien — 156
27	Starre Körper — 161
27.1	Darstellung der Drehung durch Euler-Winkel — 163
27.1.1	Der Drehoperator — 164
27.1.2	Die Drehmatrix — 168

27.2	Die Wigner'schen \mathcal{D} -Funktionen — 169
27.2.1	Explizite Darstellung — 172
27.2.2	Eigenschaften — 174
27.3	Die Drehimpulse des starren Körpers — 178
27.3.1	Darstellung der Drehimpulsoperatoren im Raum der \mathcal{D} -Funktionen — 180
27.3.2	Euler-Winkel-Darstellung der Drehimpulsoperatoren — 183
27.4	Rotation eines starren Körpers — 186
27.4.1	Symmetrischer Kreisel — 187
27.4.2	Asymmetrischer Kreisel — 189
28	Relativistische Quantenmechanik — 194
28.1	Relativistische Kinematik — 194
28.2	Lagrange- und Hamilton-Formulierung — 197
28.3	Elektromagnetische Felder — 201
28.4	Die Klein-Gordon-Gleichung — 208
28.5	Die Dirac-Gleichung — 213
28.6	Die Lösungen der freien Dirac-Gleichung — 216
28.6.1	Stationäre Dirac-Gleichung — 216
28.6.2	Kovariante Dirac-Gleichung — 219
28.7	Der Drehimpuls des Dirac-Teilchens — 224
28.8	Ladung im Magnetfeld — 227
28.9	Nichtrelativistischer Limes der Dirac-Gleichung — 233
28.10	Elektron im Coulomb-Potenzial — 237
28.10.1	Punktmasse im Zentralpotenzial — 237
28.10.2	Lösung der Dirac-Gleichung für das Coulomb-Potenzial — 241
29	Adiabatische Beschreibung: Die Berry-Phase — 251
29.1	Adiabatische Prozesse — 251
29.2	Die adiabatische Näherung — 253
29.3	Die Berry-Phase — 256
29.3.1	Die geometrische Phase — 256
29.3.2	Das Berry-Potenzial — 258
29.3.3	Das induzierte Magnetfeld — 261
29.4	Spin im homogenen Magnetfeld — 263
29.4.1	Das Berry-Potenzial — 263
29.4.2	Das induzierte Magnetfeld — 265
29.5	Der Bohm-Aharonov-Effekt — 272
29.5.1	Elektron im Magnetfeld einer sehr dünnen Spule — 272
29.5.2	Interpretation des Bohm-Aharonov-Effekts mittels der Berry-Phase — 274
29.5.3	Pfadintegralbeschreibung des Bohm-Aharonov-Effekts — 277

29.6	Pfadintegralableitung der Berry-Phase — 280
29.6.1	Pfadintegralbeschreibung der langsamsten Freiheitsgrade — 280
29.6.2	Adiabatische Näherung im Pfadintegral — 283
29.6.3	Mechanische Interpretation der Berry-Phase — 285
30	Vielteilchensysteme — 287
30.1	Unterscheidbare Teilchen — 287
30.2	Identische Teilchen — 289
30.3	Permutationen — 291
30.4	Zwei identische Teilchen — 294
30.5	Systeme identischer Teilchen — 296
30.6	Spin-Statistik-Theorem — 299
30.7	Observablen von Systemen identischer Teilchen — 301
30.8	Fermi-Systeme — 303
30.8.1	Slater-Determinanten — 303
30.8.2	Zwei identische Fermionen mit Spin 1/2 — 305
30.9	Das Helium-Atom — 310
30.9.1	Das ungestörte Helium-Spektrum — 311
30.9.2	Einschluss der Coulomb-Wechselwirkung — 314
30.10	Die Hartree-Fock-Methode — 315
30.10.1	Hartree-Näherung — 316
30.10.2	Hartree-Fock-Näherung — 320
30.11	Das ideale Fermi-Gas — 323
30.12	Die Thomas-Fermi-Näherung — 330
31	Zweite Quantisierung — 336
31.1	Identische Teilchen — 336
31.2	Besetzungszahldarstellung — 338
31.3	Der harmonische Oszillator als ein Ensemble von Phononen — 341
31.4	Der Fock-Raum — 342
31.5	Bosonen — 344
31.6	Fermionen — 347
31.7	Operatoren — 351
31.7.1	Einteilchenoperatoren — 352
31.7.2	Zweiteilchenoperatoren — 356
31.7.3	Nützliche Operatorbeziehungen — 357
31.7.4	Das Wick'sche Theorem — 360
31.8	Die Ortsdarstellung — 361
31.8.1	Feldoperatoren — 361
31.8.2	Die Dichtematrix — 366
31.9	Fermi-Systeme — 368
31.9.1	Slater-Determinanten — 368

31.9.2	Das Quasiteilchen-Bild — 371
31.9.3	Das Thouless-Theorem — 374
32	Quantenstatistik — 378
32.1	Gemischte Zustände — 378
32.1.1	Der statistische Operator — 379
32.1.2	Der statistische Operator für einen Spin 1/2 — 381
32.1.3	Beziehung zu reinen Zuständen — 383
32.2	Statistische Ensembles — 385
32.2.1	Das Prinzip der maximalen Entropie — 385
32.2.2	Das kanonische Ensemble — 388
32.2.3	Das großkanonische Ensemble — 391
32.3	Das großkanonische Ensemble identischer Teilchen — 393
32.3.1	Fermi-Statistik — 396
32.3.2	Bose-Statistik — 397
32.3.3	Gibbs-Statistik — 400
32.3.4	Die Entropie identischer Teilchen — 401
32.4	Die Wärmestrahlung — 402
32.5	Approximation des mittleren Felds bei endlichen Temperaturen — 408
33	Kohärente Bose- und Fermi-Zustände — 414
33.1	Bose-Systeme — 414
33.1.1	Kohärente Bose-Zustände — 414
33.1.2	Darstellung des Fock-Raums — 417
33.2	Fermi-Systeme — 419
33.2.1	Der fermionische Oszillator — 419
33.2.2	Kohärente Fermi-Zustände und Graßmann-Variablen — 420
33.2.3	Differentiation und Integration für Graßmann-Variablen — 422
33.2.4	Darstellung des Fock-Raums — 426
33.2.5	Verallgemeinerung auf Fermi-Systeme mit mehreren Freiheitsgraden — 428
33.3	Beschreibung von Bose- und Fermi-Systemen mittels kohärenter Zustände — 431
33.3.1	Die Schrödinger-Gleichung in klassischen Variablen — 433
33.3.2	Das erzeugende Funktional — 437
33.3.3	Die Spur im Fock-Raum — 442
33.3.4	Ensemble-Mittel — 444
34	Wick'sches Theorem, Green'sche Funktionen und Erzeugendes Funktional — 447
34.1	Wick'sches Theorem — 447
34.1.1	Abstrakte Form des Wick'schen Theorems — 448

34.1.2	Normal- und zeitgeordnetes Produkt sowie Kontraktion von Feldoperatoren — 452
34.1.3	Wick'sches Theorem für Feldoperatoren — 455
34.2	Green'sche Funktionen — 458
34.2.1	Feldoperatoren im Heisenberg- und Wechselwirkungsbild — 458
34.2.2	Vielteilchen-Green'sche Funktionen — 461
34.2.3	Die Einteilchen-Green'sche Funktion — 464
34.2.4	Zeitabhängige Hartree-Fock-Theorie — 465
34.3	Erzeugendes Funktional — 467
34.3.1	Heisenberg-Bild — 468
34.3.2	Wechselwirkungsbild — 469
34.3.3	Wick'sches Theorem für erzeugende Funktionale — 470
35	Pfadintegralquantisierung von Vielteilchensystemen — 477
35.1	Pfadintegraldarstellung der Übergangsamplitude — 478
35.1.1	Ableitung des Pfadintegrals — 478
35.1.2	Der Kontinuum-Limes: Glatte Pfade — 481
35.2	Pfadintegraldarstellung der großkanonischen Zustandssumme — 485
35.3	Pfadintegraldarstellung des erzeugenden Funktional — 487
35.4	Nichtdifferenzierbare Pfade — 488
35.5	Funktionalintegraldarstellung der Eichtheorien — 494
36	Theorie der Supraleitung — 500
36.1	Paarkorrelationen: Die BCS-Wellenfunktion — 501
36.2	Variation der Energie — 506
36.3	Quasiteilchen — 510
36.4	Die Bogoliubov-Transformation — 512
36.4.1	Diagonalisierung des Hamilton-Operators — 514
36.4.2	Bestimmung der Wellenfunktionen — 516
36.5	Die Energelücke — 518
36.6	BCS-Theorie bei endlichen Temperaturen — 524
36.6.1	Bosonisierung — 525
36.6.2	Ableitung der Gap-Gleichung — 529
E	Grundzüge der Gruppentheorie — 533
E.1	Grundlagen — 533
E.2	Kontinuierliche Gruppen — 536
E.3	Die Drehgruppe in $N = 2$ Dimensionen: $SO(2)$ — 538
E.4	Die Gruppen $O(N)$ und $SO(N)$ — 539
E.5	Die Drehgruppe $SO(3)$ — 542
E.6	Die Gruppe der unitären Matrizen $U(N)$ und $SU(N)$ — 544

E.7	Homomorphismus und Isomorphismus — 546
E.7.1	Der Isomorphismus $U(1) \simeq SO(2)$ — 546
E.7.2	Der Homomorphismus $SO(3) \sim SU(2)$ — 548
E.8	Nicht-kompakte Gruppen: Die Lorentz-Gruppe — 550
E.9	Minimale Darstellung der Lorentz-Transformationen durch die Gruppe $SL(2, \mathbb{C})$ — 554
E.10	Die Poincaré-Gruppe — 557
E.10.1	Definition und Casimir-Operatoren — 557
E.10.2	Physikalische Bedeutung der Casimir-Operatoren — 558
E.11	Spinoren — 561
E.11.1	Spinor-Darstellung der $O(N)$ — 562
E.11.2	Spinor-Darstellung der Lorentz-Gruppe — 564
E.12	Die Algebra einfacher und halbeinfacher Lie-Gruppen — 565
E.12.1	Gewichte und Wurzeln — 566
E.12.2	Leiteroperatoren — 567
E.12.3	Normalform der Algebra — 570
E.12.4	Gewichte und Wurzeln der speziellen unitären Gruppen $SU(2)$ und $SU(3)$ — 572
F	Zweite Quantisierung — 578
F.1	Operatoren in der Zweiten Quantisierung — 578
F.1.1	Einteilchenoperatoren — 580
F.1.2	Zweiteilchenoperatoren — 581
F.2	Spuridentitäten im Fock-Raum — 583
G	Komplexe Gauß-Integrale — 587
H	(Anti-)Periodische Funktionen und Matsubara-Summen — 592
H.1	(Anti-)Periodische δ -Funktionen — 592
H.2	Matsubara-Summen — 595
Stichwortverzeichnis — 599	