

Inhalt

Wichtiger Hinweis — V

Vorwort — VII

XV Erzeugungs- und Vernichtungsoperatoren von identischen Teilchen — 1589

- A Allgemeiner Formalismus — 1590
- B Symmetrische Einteilchenoperatoren — 1604
- C Zweiteilchenoperatoren — 1609

Übersicht über die Ergänzungen zu Kapitel XV — 1619

A_{XV} Teilchen und Löcher — 1621

- 1 Grundzustand eines idealen Fermi-Gases — 1621
- 2 Neue Definition der Erzeugungs- und Vernichtungsoperatoren — 1622
- 3 Der Vakuumzustand der Anregungen — 1623

B_{XV} Ideale Fermi- und Bose-Gase. Quantenstatistik — 1625

- 1 Großkanonische Beschreibung eines Systems ohne Wechselwirkungen — 1626
- 2 Mittelwerte von Einteilchenoperatoren — 1629
- 3 Zweiteilchenoperatoren — 1633
- 4 Gesamtteilchenzahl — 1636
- 5 Zustandsgleichung. Druck — 1642

C_{XV} Kondensierte Bosonen. Gross-Pitaevskii-Gleichung — 1646

- 1 Notation. Variationsrechnung — 1647
- 2 Eine skalare Wellenfunktion für das Kondensat — 1648
- 3 Verallgemeinerung in Dirac-Notation — 1652
- 4 Physikalische Interpretation — 1656

D_{XV} Zeitabhängige Gross-Pitaevskii-Gleichung — 1662

- 1 Zeitliche Entwicklung — 1662
- 2 Hydrodynamische Formulierung — 1670
- 3 Metastabile Strömungen. Supraflüssigkeiten — 1674

E_{XV} Wechselwirkende Fermionen. Hartree-Fock-Verfahren — 1686

- 1 Grundlagen der Methode — 1688
- 2 Verallgemeinerung: Operatorwertige Variationsrechnung — 1700

F_{XV} Zeitabhängiges Hartree-Fock-Verfahren — 1714

- 1 Variationsansatz und Notation — 1714
- 2 Variationsverfahren — 1715
- 3 Auswertung des Wirkungsfunktional — 1719
- 4 Bewegungsgleichungen — 1722

G_{XV} Hartree-Fock-Verfahren im thermischen Gleichgewicht — 1726

- 1 Variationsprinzip — 1728
- 2 Durchführung der Variationsrechnung — 1732
- 3 Temperaturabhängige Hartree-Fock-Gleichungen — 1743

H_{XV} Anwendung: Wechselwirkende Fermi- und Bose-Gase — 1752

- 1 Wiederholung der Grundbegriffe — 1752
- 2 Homogenes System — 1753
- 3 Spontane Magnetisierung von Fermionen — 1756
- 4 Instabilität eines Bose-Gases — 1766

XVI Feldoperatoren — 1771

- A Konstruktion — 1772
- B Symmetrische Operatoren — 1776
- C Heisenberg-Bild: Zeitabhängiges Quantenfeld — 1785
- D Quantisierte Felder und N -Teilchen-Systeme — 1788

Übersicht über die Ergänzungen zu Kapitel XVI — 1790

A_{XVI} Korrelationen in idealen Bose- und Fermi-Gasen — 1791

- 1 System in einem Fock-Zustand — 1792
- 2 Fermi-Gas im Grundzustand — 1794
- 3 Bose-Gase — 1798

B_{XVI} Greensche Funktionen und Korrelationen — 1804

- 1 Definitionen im Ortsraum — 1804
- 2 Korrelationen in der Energie-Impuls-Domäne — 1814
- 3 Spektralfunktion — 1820

C_{XVI} Wick-Theorem — 1825

- 1 Herleitung — 1825
- 2 Anwendung: Korrelationen in idealen Gasen — 1831

XVII Gepaarte Zustände identischer Teilchen — 1839

- A Erzeugungs- und Vernichtungsoperatoren für ein Teilchenpaar — 1841
- B Konstruktion von gepaarten Zuständen — 1846
- C Eigenschaften der gepaarten Zustände — 1852
- D Korrelationen zwischen Teilchen. Paarwellenfunktion — 1860
- E Quasiteilchen und Bogoliubov-Valatin-Transformation — 1866

Übersicht über die Ergänzungen zu Kapitel XVII — 1873

A_{XVII} Feldoperatoren für gepaarte Teilchen — 1874

- 1 Paarerzeuger und -vernichter — 1875
- 2 Mittelwerte in einem Paarzustand — 1880
- 3 Vertauschungsrelationen — 1892

- B_{XVII} Auswertung der mittleren Energie von gepaarten Teilchen — 1899**
- 1 Zustände ohne feste Teilchenzahl — 1899
 - 2 Hamilton-Operator — 1901
 - 3 Fermionen in Singulett-Paarung — 1905
 - 4 Bosonen mit makroskopischem Kondensat — 1911
- C_{XVII} BCS-Theorie — 1919**
- 1 Variationsverfahren für den Grundzustand — 1921
 - 2 Verteilungsfunktionen. Korrelationen — 1931
 - 3 Physikalische Interpretation — 1947
 - 4 Elementare Anregungen — 1953
- D_{XVII} Das Cooper-Modell — 1962**
- 1 Cooper-Paare — 1962
 - 2 Zustand und Hamilton-Operator — 1962
 - 3 Lösung des Eigenwertproblems — 1964
 - 4 Berechnung der Bindungsenergie — 1964
- E_{XVII} Kondensierte Bosonen mit abstoßenden Wechselwirkungen — 1967**
- 1 Aufstellung des Variationsproblems — 1970
 - 2 Optimierung — 1972
 - 3 Eigenschaften des Grundzustands — 1975
 - 4 Operatorwertiges Bogoliubov-Verfahren — 1987
- XVIII Elektrodynamik: Abriss der klassischen Theorie — 1995**
- A Klassische Elektrodynamik — 1997
 - B Das transversale Feld als Satz von harmonischen Oszillatoren — 2007
- Übersicht über die Ergänzungen zu Kapitel XVIII — 2017**
- A_{XVIII} Lagrange-Formulierung der Elektrodynamik — 2018**
- 1 Lagrange-Funktionen mit verschiedenen Variablentypen — 2020
 - 2 Anwendung: Freies elektromagnetisches Feld — 2026
 - 3 Lagrange-Funktion für Feld und Ladungen — 2034
- XIX Quantisierung des Strahlungsfelds — 2041**
- A Quantisierung des Strahlungsfelds in der Coulomb-Eichung — 2043
 - B Photonen: Elementare Anregungen des quantisierten Felds — 2050
 - C Wechselwirkung zwischen Feld und Ladungen — 2056
- Übersicht über die Ergänzungen zu Kapitel XIX — 2065**
- A_{XIX} Impulsaustausch zwischen Atomen und Photonen — 2066**
- 1 Rückstoß eines freien Atoms unter Absorption oder Emission — 2068
 - 2 Anwendungen: Abbremsen und Kühlen von Atomen — 2074
 - 3 Unterdrückung des Photonenrückstoßes — 2088
 - 4 Rückstoßunterdrückung in Mehrphotonprozessen — 2093

B_{XIX}	Drehimpuls des Strahlungsfelds — 2097
1	Drehimpuls für ein Spin-1-Teilchen — 2098
2	Drehimpuls des freien klassischen Strahlungsfelds — 2101
3	Physikalische Interpretation — 2105
C_{XIX}	Drehimpulsübertrag von Licht auf Atome — 2111
1	Übertrag von Spindrehimpuls auf interne Atomfreiheitsgrade — 2112
2	Optische Methoden — 2115
3	Drehimpulsübertrag auf externe Freiheitsgrade — 2123
XX	Atom-Photon-Wechselwirkungen: Absorption, Emission, Streuung — 2127
A	Grundlage: Zeitabhängige Störungstheorie — 2128
B	Absorption von Photonen — 2134
C	Stimulierte und spontane Emission — 2143
D	Einphotonprozesse und Korrelationsfunktionen — 2148
E	Photonenstreuung an Atomen — 2150
	Übersicht über die Ergänzungen zu Kapitel XX — 2162
A_{XX}	Zweiphotonenabsorption — 2164
1	Monochromatische Strahlung — 2164
2	Breitbandige Strahlung — 2168
3	Physikalische Interpretation — 2173
B_{XX}	Photoionisation — 2177
1	Grundbegriffe des photoelektrischen Effekts — 2178
2	Berechnung der Ionisationsrate — 2180
3	Ist eine Quantentheorie der Strahlung notwendig? — 2188
4	Photoionisation mit zwei Photonen — 2195
5	Tunnelionisation in starken Laserfeldern — 2198
C_{XX}	Beleuchtete Atome (Dressed Atoms) — 2200
1	Überblick — 2202
2	Schwache Kopplung — 2210
3	Starke Kopplung — 2216
4	Rückwirkung auf das Feld: Dispersion und Absorption — 2223
D_{XX}	Experimente mit Lichtverschiebungen — 2227
1	Dipolkräfte und Laserfallen — 2228
2	Spiegel für Atome — 2229
3	Optische Gitter — 2230
4	Sub-Doppler-Kühlung — 2232
5	Nichtdestruktive Detektion einzelner Photonen — 2237
E_{XX}	Detektion und Interferenz von photonischen Wellenpaketen — 2240
1	Wellenpakete mit einem Photon. Photodetektion — 2242
2	Ein- und Zweiphotoninterferenz — 2246

- 3 Absorption eines Photons durch ein Atom — 2254
- 4 Streuung eines photonischen Wellenpakets — 2257
- 5 Verschränkte Photonenpaare — 2262

- XXI Verschränkung, Messung, Nichtlokalität — 2271**
- A Einführung. Ziele des Kapitels — 2271
- B Verschränkte Zustände für zwei Spin-1/2-Teilchen — 2275
- C Allgemeine Definition von Verschränkung — 2278
- D Messung und verschränkte Zustände — 2282
- E Welchen Weg nimmt das Photon im Doppelspalt? — 2290
- F Nichtlokalität und Bell-Theorem — 2292

Übersicht über die Ergänzungen zu Kapitel XXI — 2305

- A_{XXI} Gemischte, korrelierte und separable Zustände — 2306**
- 1 Statistische Entropie nach von Neumann — 2306
- 2 Klassische und Quantenkorrelationen — 2310
- 3 Separable Zustände — 2314
- B_{XXI} GHZ-Zustände. Übertrag von Verschränkung — 2318**
- 1 Korrelationen im GHZ-Zustand — 2318
- 2 Übertrag von Verschränkung — 2324
- C_{XXI} Entstehen einer relativen Phase im Messprozess — 2329**
- 1 Wahrscheinlichkeitsdichten für die Detektion von Teilchen — 2331
- 2 Entstehen von Verschränkung durch den Messprozess — 2335
- 3 Detektion von vielen Teilchen — 2338
- D_{XXI} Relative Phase eines Spinkondensats. Makroskopisches EPR-Argument — 2346**
- 1 Zwei Spinkondensate — 2347
- 2 Berechnen der Verteilung der Messergebnisse — 2349
- 3 Auswertung und Diskussion — 2353

Anhänge — 2361

- IV Das Feynman-Pfadintegral — 2361**
- 1 Der Teilchenpropagator — 2362
- 2 Interpretation mit klassischen Pfaden — 2366
- 3 Physikalische Interpretation — 2369
- 4 Konstruktion von Operatoren — 2372

- V Variation unter Nebenbedingungen — 2377**
- 1 Variation von zwei Variablen — 2377
- 2 Verallgemeinerung auf N Variablen — 2379

XVI — Inhalt

VI Abriss der statistischen Mechanik — 2381

- 1 Thermodynamische Ensembles — 2381
- 2 Intensive und extensive Größen — 2390

VII Die Wigner-Transformation — 2397

- 1 δ -Funktion eines Operators — 2399
- 2 Wigner-Darstellung des Dichteoperators — 2400
- 3 Wigner-Transformierte eines Operators — 2413
- 4 Verallgemeinerungen — 2421
- 5 Anschauliche Interpretation. Nichtklassisches Verhalten — 2422

Bibliographie — 2429

Sach- und Namenverzeichnis — 2437