

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----|
| 1. Symmetrien und Symmetriegruppen in der Quantenphysik | |
| 1.1 Wirkung von Symmetrien und Wigner'sches Theorem | 2 |
| 1.1.1 Kohärente Unterräume des Hilbert-Raums und Superauswahlregeln | 3 |
| 1.1.2 Wigner'sches Theorem | 6 |
| 1.2 Die Drehgruppe (Teil 2) | 9 |
| 1.2.1 Zusammenhang zwischen $SU(2)$ und $SO(3)$ | 10 |
| 1.2.2 Die irreduziblen, unitären Darstellungen der $SU(2)$ | 14 |
| 1.2.3 Addition von Drehimpulsen und Clebsch-Gordan-Koeffizienten | 24 |
| 1.2.4 Berechnung der Clebsch-Gordan-Koeffizienten und die $3j$ -Symbole | 29 |
| 1.2.5 Tensoroperatoren und Wigner-Eckart-Theorem | 33 |
| 1.2.6 *Intertwiner, $6j$ - und $9j$ -Symbole | 38 |
| 1.2.7 Reduzierte Matrixelemente in gekoppelten Zuständen | 46 |
| 1.2.8 Bemerkung über kompakte Lie-Gruppen und Innere Symmetrien | 49 |
| 1.3 Lorentz- und Poincarégruppe | 53 |
| 1.3.1 Die Erzeugenden der Lorentz- und der Poincaré-Gruppe | 53 |
| 1.3.2 Energie-Impuls, Masse und Spin | 59 |
| 1.3.3 Physikalische Darstellungen der Poincaré-Gruppe | 60 |
| 1.3.4 Massive Einteilchen-Zustände und Poincaré-Gruppe | 66 |
| 2. Quantisierung von Feldern und ihre Interpretation | |
| 2.1 Das Klein-Gordon-Feld | 71 |
| 2.1.1 Die kovariante Normierung | 76 |
| 2.1.2 Bemerkung über physikalische Einheiten | 77 |
| 2.1.3 Lösungen der Klein-Gordon-Gleichung zu festem Viererimpuls | 80 |
| 2.1.4 Quantisierung des reellen Klein-Gordon-Feldes | 82 |
| 2.1.5 Normalmoden, Erzeugungs- und Vernichtungsoperatoren | 85 |
| 2.1.6 Kommutator zu verschiedenen Zeiten und Propagator | 91 |
| 2.2 Das komplexe Klein-Gordon-Feld | 96 |
| 2.3 Das quantisierte Maxwell-Feld | 103 |
| 2.3.1 Maxwell'sche Theorie im Lagrangeformalismus | 103 |
| 2.3.2 Kanonische Impulse, Hamilton- und Impulsdichte | 107 |
| 2.3.3 Lorenz- und transversale Eichungen | 107 |
| 2.3.4 Quantisierung des Maxwell-Feldes | 111 |
| 2.3.5 Energie, Impuls und Spin der Photonen | 114 |
| 2.3.6 Helizität und Bahndrehimpuls von Photonen | 114 |
| 2.4 Wechselwirkung des quantisierten Maxwell-Feldes mit Materie | 119 |
| 2.4.1 Viel-Photonenzustände und Matrixelemente | 120 |
| 2.4.2 Absorption und Emission einzelner Photonen | 122 |
| 2.4.3 Rayleigh- und Thomson-Streuung | 127 |
| 2.5 Kovariante Quantisierung des Maxwell-Feldes | 133 |
| 2.5.1 Eichfixierung und Quantisierung | 134 |
| 2.5.2 Normalmoden und Ein-Photon-Zustände | 136 |
| 2.5.3 Lorenz-Bedingung, Energie und Impuls des Strahlungsfeldes | 138 |
| 2.6 *Der Zustandsraum der Quantenelektrodynamik | 140 |
| 2.6.1 *Feldoperatoren und Maxwell'sche Gleichungen | 141 |
| 2.6.2 *Die Methode von Gupta und Bleuler | 144 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 2.7 | Pfadintegrale und Quantisierung | 148 |
| 2.7.1 | Die Wirkung in der klassischen Mechanik..... | 148 |
| 2.7.2 | Die Wirkung in der Quantenmechanik..... | 149 |
| 2.7.3 | Klassische und Quantenpfade..... | 154 |
| 2.8 | *Pfadintegral für Feldtheorien | 155 |
| 2.8.1 | Die Funktionalableitung..... | 156 |
| 2.8.2 | Funktionalpotenzreihen und Taylor-Reihen..... | 158 |
| 2.8.3 | Erzeugendes Funktional..... | 160 |
| 2.8.4 | Ein Beispiel: Der Propagator des Skalarfeldes..... | 162 |
| 2.8.5 | Komplexes Skalarfeld und Pfadintegrale..... | 162 |
| 3. | Streu matrix und Observable in Streuung und Zerfällen | |
| 3.1 | Nichtrelativistische Streu theorie in Operatorform | 165 |
| 3.1.1 | Die Lippmann-Schwinger-Gleichung..... | 165 |
| 3.1.2 | T -Matrix und Streuamplitude..... | 168 |
| 3.2 | Kovariante Streu theorie | 170 |
| 3.2.1 | Voraussetzungen und Konventionen..... | 170 |
| 3.2.2 | S -Matrix und optisches Theorem..... | 171 |
| 3.2.3 | Wirkungsquerschnitte bei zwei streuenden Teilchen..... | 177 |
| 3.2.4 | Zerfallsbreiten instabiler Teilchen..... | 182 |
| 3.3 | Streuende Wellenpakete | 187 |
| 4. | Teilchen mit Spin 1/2 und die Dirac-Gleichung | |
| 4.1 | Zusammenhang zwischen $SL(2, \mathbb{C})$ und L^{\uparrow}_+ | 192 |
| 4.1.1 | Darstellungen mit Spin 1/2..... | 195 |
| 4.1.2 | Die Dirac-Gleichung im Impulsraum..... | 197 |
| 4.1.3 | Lösungen der Dirac-Gleichung im Impulsraum..... | 205 |
| 4.1.4 | Dirac-Gleichung im Ortsraum und Lagrangedichte..... | 210 |
| 4.2 | Quantisierung des Dirac-Feldes | 214 |
| 4.2.1 | Quantisierung von Majorana-Feldern..... | 215 |
| 4.2.2 | Quantisierung von Dirac-Feldern..... | 218 |
| 4.2.3 | Elektrische Ladung, Energie und Impuls..... | 221 |
| 4.3 | Dirac-Felder und Wechselwirkungen | 224 |
| 4.3.1 | Spin und Spin-Dichtematrix..... | 224 |
| 4.3.2 | Der Fermion-Antifermion Propagator..... | 229 |
| 4.3.3 | Spuren von Produkten von γ -Matrizen..... | 231 |
| 4.3.4 | Chirale Zustände und ihre Kopplungen an Spin-1 Teilchen..... | 237 |
| 4.4 | Die Dirac-Gleichung als Ein-Teilchen-Theorie? | 244 |
| 4.4.1 | Separation der Dirac-Gleichung in sphärischen Polarkoordinaten..... | 244 |
| 4.4.2 | Wasserstoff-Ähnliche Atome mit der Dirac-Gleichung..... | 249 |
| 4.5 | *Pfadintegrale mit fermionischen Feldern | 256 |
| 5. | Elemente der Quantenelektrodynamik und der Schwachen Wechselwirkung | |
| 5.1 | S-Matrix und Störungsreihe | 261 |
| 5.1.1 | Bausteine der Quantenelektrodynamik mit Leptonen..... | 265 |
| 5.1.2 | Feynman-Regeln für Quantenelektrodynamik mit geladenen Leptonen..... | 268 |
| 5.1.3 | Einfache Prozesse in Baumnäherung..... | 272 |
| 5.2 | Strahlungskorrekturen, Regularisierung und Renormierung | 287 |
| 5.2.1 | Selbstenergie eines Elektrons zur Ordnung $\mathcal{O}(e^2)$ | 287 |
| 5.2.2 | Renormierung der Fermionmasse..... | 292 |
| 5.2.3 | Streuung am äußeren Potential..... | 295 |
| 5.2.4 | Vertexkorrektur und anomales magnetisches Moment..... | 303 |
| 5.2.5 | Vakuumpolarisation..... | 310 |
| 5.3 | Ausblick: Die Quantenelektrodynamik im Rahmen der elektroschwachen Wechselwirkung | 325 |

| | | |
|---|---|------------|
| 5.3.1 | Schwache Wechselwirkung mit geladenen Strömen | 326 |
| 5.3.2 | Rein leptonische Prozesse und der Myon-Zerfall | 329 |
| 5.3.3 | Zwei einfache semi-leptonische Prozesse..... | 335 |
| Historische Anmerkungen zu diesem Band und zu Band 2 | | 339 |
| Aufgaben mit Hinweisen und ausgewählten Lösungen | | 351 |
| Literatur | | 365 |
| Anhang | | |
| A | Beweis des Theorems von Wigner (nach V. Bargmann)..... | 371 |
| A.1 | Vorbemerkungen | 371 |
| A.2 | Das Theorem | 371 |
| A.3 | Einzelne Schritte des Beweises | 372 |
| B | Selbstenergie des Elektrons: Zwischenrechnung..... | 374 |
| C | Renormierung der Fermionmasse: Zwischenrechnung..... | 376 |
| D | Beweis der Identität (5.86)..... | 378 |
| E | Analyse der Vakuumpolarisation..... | 380 |
| F | Ward-Takahashi-Identität | 383 |
| G | Wichtige Zahlenwerte..... | 385 |
| Sachverzeichnis | | 387 |