

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	155
2.8.2	Funktionalpotenzreihen und Taylor-Reihen	156
2.8.3	Erzeugendes Funktional	158
2.8.4	Ein Beispiel: Der Propagator des Skalarfeldes	160
2.8.5	Komplexes Skalarfeld und Pfadintegrale	162
3.	Streumatrix und Observable in Streuung und Zerfällen	
3.1	Nichtrelativistische Streutheorie in Operatorform	165
3.1.1	Die Lippmann-Schwinger-Gleichung	165
3.1.2	T -Matrix und Streuamplitude	168
3.2	Kovariante Streutheorie	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