

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Symmetrien und Symmetriegruppen in der Quantenphysik</b>	
<b>1.1 Wirkung von Symmetrien und Wigner'sches Theorem</b> .....	2
1.1.1 Kohärente Unterräume des Hilbert-Raums und Superauswahlregeln.....	3
1.1.2 Wigner'sches Theorem.....	6
<b>1.2 Die Drehgruppe (Teil 2)</b> .....	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
<b>1.3 Lorentz- und Poincarégruppe</b> .....	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
<b>2. Quantisierung von Feldern und ihre Interpretation</b>	
<b>2.1 Das Klein-Gordon-Feld</b> .....	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
<b>2.2 Das komplexe Klein-Gordon-Feld</b> .....	96
<b>2.3 Das quantisierte Maxwell-Feld</b> .....	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
<b>2.4 Wechselwirkung des quantisierten Maxwell-Feldes mit Materie</b> .....	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
<b>2.5 Kovariante Quantisierung des Maxwell-Feldes</b> .....	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
<b>2.6 *Der Zustandsraum der Quantenelektrodynamik</b> .....	140
2.6.1 *Feldoperatoren und Maxwell'sche Gleichungen.....	141
2.6.2 *Die Methode von Gupta und Bleuler.....	144

2.7	<b>Pfadintegrale und Quantisierung</b> .....	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	<b>*Pfadintegral für Feldtheorien</b> .....	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.	<b>Streumatrix und Observable in Streuung und Zerfällen</b>	
3.1	<b>Nichtrelativistische Streutheorie in Operatorform</b> .....	165
3.1.1	Die Lippmann-Schwinger-Gleichung .....	165
3.1.2	$T$ -Matrix und Streuamplitude .....	168
3.2	<b>Kovariante Streutheorie</b> .....	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	<b>Streuende Wellenpakete</b> .....	187
4.	<b>Teilchen mit Spin 1/2 und die Dirac-Gleichung</b>	
4.1	<b>Zusammenhang zwischen <math>SL(2, \mathbb{C})</math> und <math>L_+^\uparrow</math></b> .....	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	<b>Quantisierung des Dirac-Feldes</b> .....	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	<b>Dirac-Felder und Wechselwirkungen</b> .....	224
4.3.1	Spin und Spin-Dichtematrix .....	224
4.3.2	Der Fermion-Antifermion Propagator .....	229
4.3.3	Spuren von Produkten von $\gamma$ -Matrizen .....	231
4.3.4	Chirale Zustände und ihre Kopplungen an Spin-1 Teilchen .....	237
4.4	<b>Die Dirac-Gleichung als Ein-Teilchen-Theorie?</b> .....	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	<b>*Pfadintegrale mit fermionischen Feldern</b> .....	256
5.	<b>Elemente der Quantenelektrodynamik und der Schwachen Wechselwirkung</b>	
5.1	<b><math>S</math>-Matrix und Störungsreihe</b> .....	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	<b>Strahlungskorrekturen, Regularisierung und Renormierung</b> .....	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	<b>Ausblick: Die Quantenelektrodynamik im Rahmen der elektroschwachen Wechselwirkung</b> .....	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
<b>Historische Anmerkungen zu diesem Band und zu Band 2 .....</b>		<b>339</b>
<b>Aufgaben mit Hinweisen und ausgewählten Lösungen .....</b>		<b>351</b>
<b>Literatur .....</b>		<b>365</b>
<b>Anhang</b>		
<b>A</b>	<b>Beweis des Theorems von Wigner (nach V. Bargmann) .....</b>	<b>371</b>
A.1	Vorbemerkungen .....	371
A.2	Das Theorem .....	371
A.3	Einzelne Schritte des Beweises .....	372
<b>B</b>	<b>Selbstenergie des Elektrons: Zwischenrechnung .....</b>	<b>374</b>
<b>C</b>	<b>Renormierung der Fermionmasse: Zwischenrechnung .....</b>	<b>376</b>
<b>D</b>	<b>Beweis der Identität (5.86) .....</b>	<b>378</b>
<b>E</b>	<b>Analyse der Vakuumpolarisation .....</b>	<b>380</b>
<b>F</b>	<b>Ward-Takahashi-Identität .....</b>	<b>383</b>
<b>G</b>	<b>Wichtige Zahlenwerte .....</b>	<b>385</b>
<b>Sachverzeichnis .....</b>		<b>387</b>