

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Von der Klein-Gordon-Gleichung zur Dirac-Gleichung	3
2.1	Klein-Gordon-Gleichung	4
2.2	Dirac-Gleichung	7
2.2.1	Dirac-Matrizen	9
2.2.2	Erfüllt die Dirac-Gleichung die Kontinuitätsgleichung?	12
2.2.3	Kovariante Form der Dirac-Gleichung	14
2.2.4	Spin in der Dirac-Theorie	26
2.2.5	Lösungen der Dirac-Gleichung für freie Teilchen	28
3	Feldquantisierung	35
3.1	Natürliche Einheiten	35
3.2	Von der kanonischen Mechanik zur Feldtheorie	35
3.3	Quantisierung des Dirac-Feldes	38
3.3.1	Lagrange-Dichte	38
3.3.2	Euler-Lagrange-Gleichung	39
3.3.3	Kanonisch konjugierter Impuls	41
3.3.4	Hamilton-Dichte und Hamilton-Funktion	41
3.4	Feldquantisierung	44
3.4.1	Vertauschungsrelationen	44
3.4.2	Antiteilchen der Elektronen	48
3.4.3	Normalordnung	50

3.5	„Kontinuierlicher“ Fock-Raum	51
3.5.1	Fermionischer Fock-Raum	54
3.5.2	Anwendung von Operatoren auf Zustände	56
4	Quantenelektrodynamik	59
4.1	Vom Eichprinzip zur Lagrange-Dichte der QED	59
4.1.1	Globale Invarianz unter $U(1)$ -Transformation	59
4.1.2	Lokale Invarianz unter $U(1)$ -Transformation	60
4.1.3	Bewegungsgleichungen des gekoppelten Dirac-Feldes und des gekoppelten elektromagnetischen Feldes	65
4.2	Propagatoren	66
4.2.1	Feynman-Propagator	67
4.2.2	Feynman-Propagator des Dirac-Feldes	73
4.2.3	Feynman-Propagator für das Photonenfeld	75
4.2.4	Propagatoren im Impulsraum	76
4.3	Vom Schrödinger- und Heisenberg-Bild zum Wechselwirkungsbild	77
4.3.1	Schrödinger-Bild	77
4.3.2	Heisenberg-Bild	78
4.3.3	Wechselwirkungsbild	80
4.4	Wechselwirkung in der Quantenfeldtheorie	84
4.4.1	Zeitentwicklungsoperator	84
4.4.2	Streumatrix	88
4.4.3	Wick'sches Theorem	90
4.5	Feynman-Diagramme und Regeln in der Quantenelektrodynamik	93
4.5.1	Feynman-Diagramme im Ortsraum	93
4.5.2	Compton-Streuung im Ortsraum	101
4.5.3	Compton-Streuung im Impulsraum	106
4.5.4	Compton-Streuung am Positron	108
4.5.5	Paarerzeugung	110
4.5.6	Paarvernichtung	112
4.6	Streuquerschnitt der Compton-Streuung	114
4.6.1	Wirkungsquerschnitt	114
4.6.2	Quadrieren von Spinoramplituden	118
4.6.3	Mandelstam-Variablen	121
4.6.4	Streuquerschnitt in verschiedenen Inertialsystemen	123

4.6.5	Streuquerschnitt der Compton-Streuung im Schwerpunktsystem	127
4.6.6	Streuquerschnitt der Compton-Streuung im Laborsystem	134
5	Fazit und Ausblick	141
	Literaturverzeichnis	145