

Franz Mandl
Graham Shaw

Quantenfeldtheorie

Übersetzt aus dem Englischen
und bearbeitet von Ralf Bönisch

Mit 95 Abbildungen
und Übungsaufgaben



AULA-Verlag Wiesbaden

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	ix
1 Photonen und das elektromagnetische Feld	1
1.1 Teilchen und Felder	1
1.2 Das elektromagnetische Feld bei Abwesenheit von Ladungen . . .	2
1.2.1 Das klassische Feld	2
1.2.2 Der harmonische Oszillator	6
1.2.3 Das quantisierte Strahlungsfeld	8
1.3 Der elektrische Dipol	10
1.4 Das elektromagnetische Feld in Anwesenheit von Ladungen	15
1.4.1 Klassische Elektrodynamik	16
1.4.2 Quantenelektrodynamik	18
1.4.3 Strahlungsübergänge in Atomen	19
1.4.4 Thomson-Streuung	21
1.5 Anhang: Schrödinger-, Heisenberg- und Wechselwirkungsbilder . .	23
1.6 Aufgaben	25
2 Lagrangesche Feldtheorie	27
2.1 Relativistische Notation	27
2.2 Klassische Lagrangesche Feldtheorie	29
2.3 Quantisierte Lagrangesche Feldtheorie	32
2.4 Symmetrien und Erhaltungssätze	33
2.5 Aufgaben	40
3 Das Klein-Gordon-Feld	43
3.1 Das reelle Klein-Gordon-Feld	43
3.2 Das komplexe Klein-Gordon-Feld	47
3.3 Kovariante Vertauschungsrelationen	50
3.4 Der Mesonen-Propagator	53
3.5 Aufgaben	59

4	Das Dirac-Feld	61
4.1	Die Besetzungszahldarstellung für Fermionen	61
4.2	Die Dirac-Gleichung	63
4.3	Zweite Quantisierung	67
4.4	Der Fermionen-Propagator	74
4.5	Elektromagnetische Wechselwirkung und Eichinvarianz	77
4.6	Aufgaben	80
5	Kovariante Theorie der Photonen	83
5.1	Die klassischen Felder	84
5.2	Kovariante Quantisierung	88
5.3	Der Photonen-Propagator	92
5.4	Aufgaben	95
6	Die Streumatrix	97
6.1	Natürliche Einheiten und Dimensionen	98
6.2	Die Entwicklung der Streumatrix	100
6.3	Das Wick-Theorem	104
7	Feynman-Regeln und -Diagramme in der QED	109
7.1	Feynman-Diagramme im Ortsraum	110
7.2	Feynman-Diagramme im Impulsraum	121
7.2.1	Die erste Ordnung $S^{(1)}$	123
7.2.2	Compton-Streuung	125
7.2.3	Elektron-Elektron-Streuung	128
7.2.4	Schleifen-Diagramme	129
7.3	Die Feynman-Regeln der QED	130
7.4	Leptonen	133
7.5	Aufgaben	138
8	QED in niedrigster Ordnung	141
8.1	Der Streuquerschnitt	142
8.2	Spin-Summen	145
8.3	Polarisationssummen des Photons	148
8.4	Produktion von Lepton-Paaren in (e^+e^-) Streuung	150
8.5	Bhabha-Streuung	154
8.6	Compton-Streuung	158
8.7	Streuung am externen Feld	164
8.8	Bremsstrahlung	169
8.9	Die infrarote Divergenz	172
8.10	Aufgaben	176

9 Strahlungskorrekturen	179
9.1 Strahlungskorrekturen zweiter Ordnung in der QED	180
9.2 Die Selbstenergie des Photons	187
9.3 Die Selbstenergie des Elektrons	192
9.4 Renormierung der externen Linien	196
9.5 Die Korrektur des Vertex	199
9.6 Anwendungen	204
9.6.1 Die anomalen magnetischen Momente	205
9.6.2 Die Lamb-Verschiebung	208
9.7 Die infrarote Divergenz	213
9.8 Strahlungskorrekturen höherer Ordnung: Renormierbarkeit	216
9.9 Aufgaben	224
10 Regularisierung	225
10.1 Mathematische Vorbemerkungen	226
10.1.1 Einige Standard-Integrale	226
10.1.2 Die Feynman-Parametrisierung	227
10.2 Impuls-Regularisierung: Die Elektron-Masse	229
10.3 Dimensionelle Regularisierung	230
10.3.1 Einleitung	230
10.3.2 Allgemeine Resultate	232
10.4 Vakuum-Polarisation	233
10.5 Das anomale magnetische Moment	235
10.6 Aufgaben	238
11 Schwache Wechselwirkung	241
11.1 Einleitung	241
11.2 Die schwache Wechselwirkung der Leptonen	242
11.3 Das freie Vektorboson-Feld	248
11.4 Die Feynman-Regeln in der IVB-Theorie	250
11.5 Zerfallsraten	252
11.6 Anwendungen der IVB-Theorie	253
11.6.1 Myon-Zerfall	253
11.6.2 Neutrino-Streuung	259
11.6.3 Der leptonische Zerfall des W -Bosons	261
11.7 Schwierigkeiten mit der IVB-Theorie	261
11.8 Aufgaben	265
12 Eine Eichtheorie der schwachen Wechselwirkung	267
12.1 Die einfachste Eichtheorie: QED	267
12.2 Globale Phasentransformationen und erhaltene schwache Ströme .	269
12.3 Die eichinvariante schwache Wechselwirkung	275
12.4 Eigenschaften der Eichbosonen	279

12.5 Massive Leptonen und Eichbosonen 281

12.6 Anhang: Ergebnisse zweier Eichtransformationen 282

12.6.1 Das Transformations-Gesetz (12.32b) 282

12.6.2 Die $SU(2)$ -Eichinvarianz von Gl. (12.57) 283

13 Spontane Symmetriebrechung 285

13.1 Das Goldstone-Modell 286

13.2 Das Higgs-Modell 290

13.3 Die Standardtheorie der elektroschwachen Wechselwirkung 295

14 Die Standardtheorie der elektroschwachen Wechselwirkung 303

14.1 Die Lagrange-Dichte in der unitären Eichung 304

14.2 Feynman-Regeln 309

14.3 Elastische Neutrino-Elektron-Streuung 317

14.4 Elektron-Positron Annihilation 321

14.5 Das Higgs-Boson 330

14.6 Aufgaben 334

A Die Dirac-Gleichung 337

A.1 Die Dirac-Gleichung 337

A.2 Kontraktions-Identitäten 339

A.3 Spuren 339

A.4 Ebene Wellen 341

A.5 Energieprojektoren 342

A.6 Helizitäts- und Spinprojektoren 343

A.7 Relativistische Eigenschaften 345

A.8 Spezielle Darstellungen der γ -Matrizen 346

A.9 Aufgaben 349

B Feynman-Regeln und Formeln der Störungstheorie 351

Index 361