

Inhaltsverzeichnis

1	Überblick und Hilfsmittel	1
1.1	Strukturen der Materie	3
1.1.1	Teilchen und Kräfte	3
1.1.2	Abstandsskalen und Energieskalen	6
1.1.3	Intermezzo: Schreibweise und Maßsysteme	15
1.2	Die Elementarteilchen	18
1.2.1	Antimaterie	19
1.2.2	Leptonen	21
1.2.3	Hadronen	28
1.2.4	Quarks	34
1.2.5	Felder und Wechselwirkungen	39
1.2.6	Was ist ein Elementarteilchen?	44
1.3	Wirkungsquerschnitte und Zerfallsraten	45
1.3.1	Der Wirkungsquerschnitt	45
1.3.2	Zerfallsraten	48
1.4	Teilchenbeschleuniger	50
1.4.1	Linearbeschleuniger	50
1.4.2	Das Zyklotron	53
1.4.3	Das Synchrotron	54
1.4.4	Speicherringe	64
1.5	Detektoren	66
1.5.1	Detektoren an <i>collidern</i>	66
1.5.2	Spurenkammern	71
1.5.3	Kalorimeter	74
1.5.4	Blasenkammer	77
2	Die Streumatrix und ihre Symmetrien	79
2.1	Die Streumatrix	81
2.1.1	Wirkungsquerschnitte und Streuamplitude	82
2.1.2	Zerfallsraten	87
2.1.3	Symmetrien der <i>S</i> -Matrix	89
2.1.4	Das optische Theorem	92
2.1.5	Anhang über die δ -Funktion	93
2.2	Drehungen in drei Dimensionen	95
2.2.1	Drehungen	95
2.2.2	Die Drehgruppe	96
2.2.3	Darstellungen der Drehgruppe	98
2.2.4	Drehgruppe und halbzahlige Spins	103
2.2.5	Produkte von Darstellungen	104
2.3	Drehungen und Verschiebungen in vier Dimensionen	108
2.3.1	Lorentz-Transformationen	108
2.3.2	Die Poincaré-Gruppe	110
2.3.3	Darstellungen der Poincaré-Gruppe	112

2.4	Anwendungen	114
2.4.1	Kinematik der Zwei-Körper-Reaktionen	114
2.4.2	Zwei-Körper-Zerfälle	116
2.4.3	Partialwellenentwicklung der Streuamplitude	119
2.4.4	Resonanzen in Formationsexperimenten	120
2.4.5	Pion-Resonanzen	129
2.4.6	Der Spin des Photons	129
2.4.7	Der Spin des neutralen Pions	131
2.5	Spiegelungen und Paritätsinvarianz	132
2.5.1	Die Paritätstransformation	132
2.5.2	Die Parität des Photons, des ρ -Mesons und der Pionen	136
2.5.3	Spin und Parität des K -Mesons	138
2.5.4	Paritätsverletzung in der schwachen Wechselwirkung	140
2.6	Die Zeitumkehr	142
2.6.1	Zeitumkehr und das Prinzip des detaillierten Gleichgewichts	142
2.6.2	Invarianz der Wechselwirkungen unter Zeitspiegelungen	145
2.7	Innere Symmetrien I	146
2.7.1	Globale Phasentransformationen	147
2.7.2	Die Teilchen-Antiteilchen-Konjugation	148
2.7.3	Lang- und kurzlebige neutrale K -Mesonen	152
2.7.4	CP -Verletzung im K_L -Zerfall	158
2.8	Innere Symmetrien II, Isospin und SU_2	166
2.8.1	Die Form der SU_2 -Matrizen	167
2.8.2	Darstellungen	169
2.8.3	Antiteilchen in der SU_2	170
2.8.4	Die Isoinvarianz der Kernkraft	171
2.8.5	Isospin und Quarks	173
2.8.6	Reguläre Darstellung und G -Parität	174
2.8.7	Isospin und K -Zerfälle	175
3	Elementare Quantenelektrodynamik	179
3.1	Dirac-Gleichung und Feynman-Regeln	181
3.1.1	Die Dirac-Gleichung	181
3.1.2	Lösungen der freien Dirac-Gleichung	185
3.1.3	Feynman-Regeln	196
3.1.4	Die Renormierung und die laufende Kopplung	198
3.2	Basis-Reaktionen der QED	205
3.2.1	e^-e^+ -Vernichtung in $\mu^-\mu^+$ -Paare	205
3.2.2	Die Elektron-Myon-Streuung	209
3.2.3	Bhabha- und Møller-Streuung	214
3.2.4	Anwendungen der Streuformeln	217
3.2.5	Die Compton-Streuung	221
3.3	Prozesse höherer Ordnung	228
3.3.1	Die Bremsstrahlung	228
3.3.2	Strahlungskorrekturen zur Mott-Streuung	236

4	Hadronen in der Quantenchromodynamik	241
4.1	Quarks mit Farbe	244
4.1.1	Das Statistik-Problem	244
4.1.2	Die Gruppe SU_3	245
4.1.3	Mesonen als $q\bar{q}$ -Zustände	249
4.1.4	Baryonen als qqq -Zustände	250
4.2	Farbdynamik	254
4.2.1	Gluonen und das Potential der QCD	254
4.2.2	Die laufende Kopplungskonstante	260
4.3	Der Aufbau der Hadronen	263
4.3.1	Die Werte von Spin und Parität im Quarkmodell	264
4.3.2	Hadronen aus u - und d -Quarks	266
4.3.3	Die Massen der Quarks	270
4.3.4	Hadronen aus u -, d - und s -Quarks	272
4.4	Die chromodynamische Hyperfeinstruktur	283
4.4.1	Die Aufspaltung für Hadronen aus u - und d -Quarks	284
4.4.2	Hyperfeinstruktur und „seltsame“ Quarks	285
4.5	Elektromagnetische und starke Zerfälle von Hadronen	287
4.5.1	Radiative Zerfälle der Vektormesonen	287
4.5.2	Zerfälle der Vektormesonen in Leptonenpaare	289
4.5.3	Radiative Zerfälle der pseudoskalaren Mesonen	293
4.5.4	Zerfälle in Hadronen	296
4.6	Neue schwere Quarks	299
4.6.1	Das Vektormeson $J/\psi(1S)$	299
4.6.2	Die Υ -Mesonen	302
4.6.3	Quarkonium, $c\bar{c}$ und $b\bar{b}$	304
4.6.4	Hadronen mit <i>charm</i> und <i>bottom</i>	310
5	Elektronen und Quarks	315
5.1	Elektron-Positron-Annihilation in Hadronen	317
5.1.1	Der Wirkungsquerschnitt	317
5.1.2	QCD-Korrekturen	320
5.1.3	Der Endzustand	324
5.2	Die elastische Elektron-Nukleon-Streuung	330
5.2.1	Der Wirkungsquerschnitt	331
5.2.2	Experimente zur elastischen Elektronenstreuung	333
5.2.3	Das $e\pi$ -System	335
5.3	Inelastische Elektron-Nukleon-Streuung	338
5.3.1	Der Wirkungsquerschnitt im Quarkmodell	338
5.3.2	Allgemeine Form des Wirkungsquerschnitts	341
5.3.3	Modelle und Ergebnisse für F_2^{eN}	345
5.3.4	QCD-Korrekturen	349
5.3.5	Der Endzustand	357
5.4	Zwei-Photonen-Physik	359
5.4.1	Resonanzzerzeugung	360
5.4.2	Die Strukturfunktion des Photons	363

6	Von der schwachen zur elektroschwachen Wechselwirkung . . .	369
6.1	Schwache Wechselwirkung von Leptonen	371
6.1.1	Quasielastische $\nu_\mu e^-$ -Streuung	371
6.1.2	Der Zerfall des Myons	375
6.2	Schwache Wechselwirkung von Quarks	379
6.2.1	Der Cabibbo-Winkel	379
6.2.2	Der β -Zerfall des Neutrons	381
6.2.3	Der Zerfall $\pi \rightarrow \mu \nu$	385
6.2.4	Zerfälle von K^- , D^- und B -Mesonen	388
6.2.5	Der Zerfall des top -Quarks	392
6.2.6	Inelastische Neutrino-Nukleon-Streuung	392
6.3	Die elektroschwache Wechselwirkung	398
6.3.1	Die Entdeckung der neutralen Ströme	398
6.3.2	Elektroschwache Wechselwirkung der Leptonen	401
6.3.3	Elektroschwache Wechselwirkung von Quarks	406
7	Das Standard-Modell	409
7.1	Die Neutrino-Elektron-Streuung	411
7.2	Die $e^- e^+$-Vernichtung in Fermion-Antifermion-Paare	415
7.2.1	Die Bornsche Näherung	415
7.2.2	Strahlungskorrekturen	421
7.3	Die Elektron-Nukleon-Streuung bei Berücksichtigung des Z^-- und W^--Austausches	422
7.4	Die Erzeugung des W^--Bosons in Quark-Antiquark-Stößen	425
7.5	Die Produktion des top-Quarks in Hadron-Hadron-Stößen	429
7.6	Intermezzo: Die Hadron-Hadron-Streuung	430
7.7	Higgs-Bosonen	437
7.8	CP-Verletzung im Standard-Modell	450
7.8.1	Die CKM-Matrix	450
7.8.2	CP -Verletzung und b -Quarks	455
7.9	Neutrinomassen und Neutrino-Oszillationen	460
7.10	Jenseits des Standard-Modells	476
7.10.1	Majorana-Neutrinos	476
7.10.2	Das Parameter-Problem	481
7.10.3	Die große Vereinheitlichung	484
7.10.4	Hierarchie und Feinabstimmung	489
7.10.5	Die supersymmetrische Erweiterung des Standard-Modells	491
8	Lösungshinweise zu den Übungsaufgaben	503
8.1	Kapitel 1	505
8.2	Kapitel 2	506
8.3	Kapitel 3	509
8.4	Kapitel 4	511
8.5	Kapitel 5	512
8.6	Kapitel 6	514
8.7	Kapitel 7	515
	Literatur	517
	Sachverzeichnis	525