

Klaus Bethge und Ulrich E. Schröder

Elementarteilchen

und ihre Wechselwirkungen

3., überarbeitete und erweiterte Auflage



WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA

Inhaltsverzeichnis

I	Einleitung	1
1	Historische Entwicklung	2
2	Qualitativer Überblick	8
2.1	Leptonen, Mesonen, Baryonen	8
2.2	Grundbegriffe	12
	Literatur	15
II	Grundlagen	17
3	Symmetrien als Ordnungsprinzip	17
A	Kontinuierliche raum-zeitliche Symmetrien	19
3.1	Symmetrie in der klassischen Mechanik	19
3.2	Symmetrie in der Quantenmechanik	20
3.3	Relativistische Invarianz	22
3.4	Quantenzahlen	25
3.5	Der Spin	26
B	Permutationssymmetrie	28
3.6	Fermionen und Bosonen	28
C	Diskrete Symmetrietransformationen	30
3.7	Räumliche Spiegelung	30
3.8	Zeitliche Spiegelung (Bewegungsumkehr)	32
3.9	Teilchen-Antiteilchen-Konjugation	35
3.10	Das <i>CPT</i> -Theorem	37
D	Innere Symmetrien	39
3.11	Phasentransformation und Ladungserhaltung	39
3.12	Der Isospin, $SU(2)$	41
3.13	Die unitäre Symmetrie $SU(3)$	44
4	Wechselwirkungen durch Felder	48
4.1	Teilchenaustausch	48
4.2	Yukawa-Potential	49
4.3	Virtuelle Teilchen	50
5	Eichsymmetrien als dynamisches Prinzip	52
5.1	Die Eichsymmetrie $U(1)$ in der Quantenmechanik	53
5.2	Das Prinzip der Eichsymmetrie	55
5.3	Höhere Eichsymmetrien	60
6	Experimentelle Methoden der Elementarteilchenphysik	70
6.1	Beschleuniger	71
6.2	Detektoren	78
	Literatur	93

III Die elektromagnetische Wechselwirkung	95
7 Geladene Leptonen	98
7.1 Das Elektron	98
7.2 Elektronenspin	99
7.3 Positronen	99
7.4 Myonen	100
8 Beispiele für elektromagnetische Wechselwirkung	102
8.1 Elastische Streuung	102
8.2 Annihilation	104
8.3 Unelastische Prozesse	106
9 Prüfung der Quantenelektrodynamik	108
9.1 Präzisionsmessungen bei niedrigen Energien	108
9.2 Strahlungskorrekturen, Renormierung	114
9.3 Test bei hohen Energien	117
9.4 Invarianz gegenüber C , P und T	118
10 Elektromagnetische Formfaktoren	120
10.1 Formfaktoren für Proton und Neutron	120
10.2 Interpretation	123
11 Unelastische Lepton-Nukleon-Streuung	124
11.1 Unelastische Formfaktoren	125
11.2 Skalenverhalten	129
11.3 Partonen	131
11.4 Quark-Partonen	134
11.5 Myon-Kern-Streuung	137
12 Elektron-Positron-Vernichtung bei hohen Energien	139
12.1 Die leichteren Vektormesonen	140
12.2 Der totale Wirkungsquerschnitt der Reaktionen $e^+e^- \rightarrow \text{Hadronen}$	143
12.3 Die Quantenzahl „Farbe“	147
12.4 Die neuen Teilchen	148
Literatur	162
IV Die schwache Wechselwirkung	163
13 Charakteristische Eigenschaften	167
13.1 Übersicht über die Prozesse der schwachen Wechselwirkung	167
13.2 Der β -Zerfall	169
13.3 Nachweis der Neutrinos	173
13.4 Nichterhaltung der Parität	176
14 Phänomenologische Beschreibung	185
14.1 Die V-A-Form der schwachen Wechselwirkung	185
14.2 Der Zerfall des Myons	187
14.3 Die Zerfälle $\text{Pion} \rightarrow \text{Lepton} + \text{Neutrino}$	188
14.4 Strom-Strom-Kopplung und der erhaltene Vektorstrom	190
14.5 Zerfälle der seltsamen Teilchen und die Universalität	192
15 Die K^0 -Zerfälle	194
15.1 Erzeugung und Zerfälle	194

15.2	Regeneration	196
15.3	Oszillation der Intensitäten	198
15.4	CP -Verletzung	199
16	Neutrinoophysik	201
16.1	Neutrinostrahlen und Detektoren	201
16.2	Elastische Neutrinostreuung	203
16.3	Unelastische Neutrinostreuung	206
16.4	Neutrale Ströme	210
17	Versagen der bisherigen Theorie bei hohen Energien	214
17.1	Grenzen der Strom-Strom-Kopplung	214
17.2	Die intermediären Vektorbosonen	214
18	Vereinheitlichte elektromagnetische und schwache Wechselwirkung	218
18.1	Spontane Symmetriebrechung	219
18.2	Spontane Symmetriebrechung bei Eichtheorien (Higgs-Mechanismus)	224
18.3	Die $SU(2) \times U(1)$ -Eichtheorie der elektroschwachen Wechselwirkung	225
18.4	Einbeziehung der Hadronen	230
18.5	Experimentelle Prüfung der GSW-Theorie	232
18.6	CP -Verletzung in B -Zerfällen	238
18.7	Neutrino-Oszillationen	244
	Literatur	261
V	Die starke Wechselwirkung	263
19	Charakteristische Eigenschaften	268
19.1	Wechselwirkung zwischen Nukleonen	268
19.2	Die π -Mesonen	269
19.3	Der Nukleonenspin	274
20	Die seltsamen Teilchen (Strangeness)	276
20.1	Kaonen	276
20.2	Hyperonen	279
21	Resonanzen	281
21.1	Baryonische Resonanzen	282
21.2	Mesonische Resonanzen	284
21.3	Höhere Resonanzen	289
22	Hadronische Prozesse bei hohen Energien	291
23	Das Quarkmodell der Hadronen	293
23.1	Ordnung durch Symmetrie: Die Multipletts von $SU(3)$	293
23.2	Die Hadronen im Quarkmodell	296
23.3	Massenrelationen, magnetische Momente	300
23.4	Quarks – eine neue Substruktur	304
24	Eichtheorie der starken Wechselwirkung	307
24.1	Die Grundvorstellungen der Quantenchromodynamik	307
24.2	Asymptotische Freiheit	310
24.3	Farbeinschluß	315
24.4	Modelle: Bag und String	318
24.5	Eichtheorie auf dem Gitter	320

24.6 Quarkonium	324
24.7 Experimentelle Prüfung der QCD	327
Literatur	335
VI Ausblick	337
25 Die große Vereinigung	337
25.1 Vereinigte Wechselwirkungen	337
25.2 Das $SU(5)$ -Modell	340
25.3 Die Lebensdauer des Protons	343
25.4 Die Entwicklungsphasen des frühen Universums	344
25.5 Die Asymmetrie zwischen Materie und Antimaterie	346
25.6 Schlußbemerkungen	347
Literatur	348
Literaturverzeichnis	349
VII Tabellen-Anhang	355
Index	517