

Hartmut Machner

Einführung in die Kern- und Elementarteilchenphysik



WILEY.
VCH

WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	XIII
1 Historische Anfänge	1
1.1 Aufgaben	4
2 Experimentelle Methoden	7
2.1 Beschleuniger	7
2.1.1 Gleichspannungsbeschleuniger	7
2.1.2 Linearbeschleuniger	9
2.1.3 Kreisbeschleuniger	11
2.2 Detektoren	16
2.2.1 Wechselwirkung von Strahlung mit Materie	17
2.2.2 Messung der Ionisation	23
2.2.3 Positionsmessung	25
2.2.4 Teilchenidentifizierung	29
2.2.5 Zeitmessung	32
2.2.6 Energiemessung	34
2.2.7 Impulsmessung	35
2.3 Aufgaben	39
3 Globale Eigenschaften von Kernen und Nukleonen	43
3.1 Massen, Bindung	43
3.2 Streuexperimente	49
3.2.1 Die Methode	49
3.2.2 Streuung an einer harten Kugel	51
3.2.3 Begriffe und Einheiten	52
3.3 Quantenmechanik der Streuung	55
3.3.1 Die Bom'sche Näherung	58
3.3.2 Die Eikonal-Näherung	58
3.3.3 Die Rutherford-Streuung	59
3.4 Elastische Elektronenstreuung an Kernen	61
3.4.1 Formfaktoren und Mott-Streuung	61
3.4.2 Ladungsverteilung von Kernen	64
3.5 Streuung leichter Ionen an Kernen	68
3.5.1 Das Kastenpotential	68
3.5.2 Materieverteilung	69

3.6	Elektromagnetische Momente	72
3.6.1	Magnetische Momente	72
3.6.2	Elektrische Quadrupolmomente	76
3.7	Ladungsverteilung der Nukleonen	79
3.8	Partonen	84
3.9	Partialwellenzerlegung	86
3.9.1	Wirkungsquerschnitte der elastischen Streuung	86
3.9.2	Totaler Wirkungsquerschnitt	88
3.10	a-Zerfall	92
3.10.1	Gamow'sches Modell der Potentialdurchtunnelung	92
3.10.2	Spektroskopische Faktoren	98
3.10.3	Protonen-Radioaktivität	100
3.10.4	Cluster-Radioaktivität	100
3.11	Halbklassische Beschreibung	101
3.12	Die Nukleon-Nukleon-Wechselwirkung	104
3.12.1	Das Deuteron	104
3.12.2	Nukleon-Nukleon-Streuung	110
3.12.3	Feld-theoretische Beschreibung der Wechselwirkungen	116
3.13	Aufgaben	123
4	Kernmodelle	127
4.1	Fermi-Gas-Modell	127
4.2	Tröpfchenmodell	130
4.3	Das Schalenmodell	137
4.3.1	Sphärische Potentiale	137
4.3.2	Spin-Bahn-Wechselwirkung	143
4.3.3	Restwechselwirkung	146
4.4	Deformierte Kerne	153
4.5	Das optische Modell	155
4.6	Einteilchen- Anregungen	162
4.7	Kollektive Anregungen	167
4.7.1	Vibrationen	168
4.7.2	Rotierende Kerne	170
4.7.3	Transurane und Spaltung	177
4.8	Aufgaben	181
5	Ungebundene Systeme, Symmetrien	185
5.1	Resonanzen in Kernen	185
5.2	Riesenresonanzen	191
5.3	Erhaltungsgrößen	194
5.3.1	Raum-Zeitliche Verschiebungen	197
5.3.2	Rotation	198
5.3.3	Halbzahlige Spins	200
5.3.4	Die Parität V	201
5.3.5	Die Zeitumkehr T	203
5.3.6	Der Isospin	207

5.4	Eigenschaften der Feldteilchen	209
5.4.1	Die Entdeckung des Pions	209
5.4.2	Spin des geladenen Pions	211
5.4.3	Isospin der Pionen	212
5.4.4	Spin und Parität des Photons	214
5.4.5	Schwellenproduktionen	215
5.5	Empirische Erhaltungssätze	218
5.5.1	Ladungserhaltung	218
5.5.2	Folgerungen aus der Existenz und aus dem 3-Zerfall des Neutrons	221
5.6	Das 7r-Nukleon-System	222
5.6.1	Die 7r-Nukleon-Wechselwirkung	222
5.6.2	Nukleonens resonanzen	225
5.7	Resonanzen im 7r-7r-System	229
5.7.1	Zweipionen-Systeme	229
5.7.2	Dreipionen-Systeme	231
5.8	Die Strangeness	234
5.9	r/-Zerfälle und die C-Konjugation	238
5.10	Aufgaben	241
6	Quarkonia und die starke Wechselwirkung	247
6.1	Multiplets leichter Quarks	247
6.1.1	Anordnungen in Multiplets, Quarks	247
6.1.2	Quarkmassen	255
6.1.3	Farbe	261
6.1.4	Quarklinien	261
6.2	Schwere Quarks	263
6.2.1	Die Entdeckung des Charms	263
6.2.2	Die Entdeckungen des Bottom- und des Top-Quarks	267
6.3	QCD, Jets und Gluonen	270
6.3.1	Quark-Quark-Potential	270
6.3.2	Die laufende Kopplungskonstante	274
6.3.3	Das Saitenmodell	277
6.3.4	Nichtresonante ($/(-)$ -Erzeugung)	279
6.3.5	Gluonenabstrahlung	282
6.3.6	Die Gluon-Gluon-Wechselwirkung	285
6.4	Struktur der Nukleonen	287
6.4.1	Skaleninvarianz	287
6.4.2	Das Quark-Parton-Modell	293
6.4.3	Neutrinostreuung	296
6.4.4	Skalenbrechung und Impulsverteilung der Gluonen	297
6.5	Eichinvarianz	299
6.5.1	Nicht-Abel'sche Eichtransformationen	299
6.5.2	Spontane Brechung der globalen Symmetrie: Goldstone-Mode	303
6.5.3	Spontane Brechung der lokalen Symmetrie: Higgs-Mode	306
6.5.4	Higgs-Mechanismus und Isospin	307

6.6	Chirale Störungstheorie	308
6.6.1	Chiraler Grenzfall	308
6.6.2	Partiell erhaltener axialer Strom	310
6.6.3	TTTr-Streuung	311
6.6.4	Offene Probleme	313
6.7	Streuung von Hadronen bei hohen Energien	316
6.8	Aufgaben	320
7	Die elektroschwache Wechselwirkung	325
7.1	Leptonen	325
7.1.1	Eigenschaften geladener Leptonen	325
7.1.2	Die Neutrino-Hypothese	330
7.2	Der nukleare β -Zerfall, Fermi's Theorie	332
7.3	Verletzung der Paritätserhaltung, Helizität der Leptonen	338
7.3.1	Das Wu-Experiment	339
7.3.2	Der Zerfall des A-Hyperons	341
7.3.3	Die Helizität der Leptonen	343
7.4	Die V - A-Wechselwirkung	345
7.5	Test der V - A-Theorie	348
7.6	Der neutrale, schwache Strom	352
7.7	Die Feldbosonen der schwachen Wechselwirkung	354
7.8	Schwache Zerfälle von Teilchen mit Strangeness	358
7.9	Verallgemeinerung auf sechs Quarks	359
7.10	Die Vereinheitlichung der elektrischen und der schwachen Wechselwirkung	362
7.11	Oszillationen, CV -Verletzung	366
7.11.1	Das Zweizustandsproblem	366
7.11.2	Die neutralen Kaonen	369
7.11.3	Oszillation und Regeneration	371
7.11.4	Verletzung der CV- und der T-Invarianz	373
7.11.5	CV-Verletzung im Standardmodell	381
7.12	Neutrinos	386
7.12.1	Drei Leptonenfamilien	387
7.12.2	Sonnenneutrinos	389
7.12.3	Atmosphärische Neutrinos	393
7.12.4	Neutrinooszillationen	395
7.13	Aufgaben	402
8	Kerne in exotischen Zuständen	407
8.1	Hyperkerne	407
8.2	Mesonische Atome	411
8.3	Schwerionenphysik bei mittleren Energien	414
8.3.1	Heiße Kerne	414
8.3.2	Weitere Thermometer	418
8.3.3	Thermalisierung	419
8.3.4	Die Zustandsgleichung	423

8.4	Suche nach dem Quark-Gluon-Plasma	425
8.5	Nukleares Brennen, Neutronensterne	428
8.6	Aufgaben	433

Anhang

A	Fourier-Transformationen	437
B	Die Raum-Zeit	439
B.1	Vierervektoren	439
B.2	Lorentz-Transformationen	440
B.3	Kovariante Formulierung der Elektrodynamik	441
C	Kinematik und Phasenraum	443
C.1	Kinematik	443
C.2	Zweikörper-Kinematik	446
C.3	Dreikörper-Kinematik	449
C.4	Methode der fehlenden Masse	455
C.5	Rapidität	455
D	Addition von Drehimpulsen	457
E	Die Dirac-Gleichung	459
E.1	Wellengleichungen	459
E.2	Lösungen der Dirac-Gleichung	463
F	Matrixelemente aus Feynman-Graphen	465
F.1	Regeln der QED	465
F.2	Regeln der QCD	468
G	Generatoren für die Gruppe $SU(3)$	471
H	Quantenzahlen der Mesonen	475
Literaturverzeichnis		477
Index		489