

Inhaltsverzeichnis

Vorwort *xiii*

1	Historische Anfänge	1
1.1	Aufgaben	3
2	Globale Eigenschaften von Kernen und Nukleonen	5
2.1	Massen, Bindung	5
2.2	Streuexperimente	11
2.2.1	Die Methode	11
2.2.2	Streuung an einer harten Kugel	12
2.2.3	Begriffe und Einheiten	13
2.3	Quantenmechanik der Streuung	16
2.3.1	Die Born'sche Näherung	19
2.3.2	Die Eikonal-Näherung	19
2.3.3	Die Rutherford-Streuung	20
2.4	Elastische Elektronenstreuung an Kernen	22
2.4.1	Formfaktoren und Mott-Streuung	22
2.4.2	Ladungsverteilung von Kernen	24
2.5	Streuung leichter Ionen an Kernen	28
2.5.1	Das Kastenpotential	28
2.5.2	Materieverteilung	30
2.6	Elektromagnetische Momente	32
2.6.1	Magnetische Momente	32
2.6.2	Elektrische Quadrupolmomente	36
2.7	Ladungsverteilung der Nukleonen	39
2.8	Partonen	44
2.9	Partialwellenzerlegung	45
2.9.1	Wirkungsquerschnitte der elastischen Streuung	45
2.9.2	Totaler Wirkungsquerschnitt	47
2.10	α -Zerfall	51
2.10.1	Gamow'sches Modell der Potentialdurchtunnelung	51
2.10.2	Spektroskopische Faktoren	57
2.10.3	Protonen-Radioaktivität	59
2.10.4	Cluster-Radioaktivität	59

2.11	Halbklassische Beschreibung	60
2.12	Die Nukleon-Nukleon-Wechselwirkung	63
2.12.1	Das Deuteron	63
2.12.1.1	Einfache Beschreibung	63
2.12.1.2	Einfluss des Spins	66
2.12.1.3	Momente und Tensorkraft	67
2.12.2	Nukleon-Nukleon-Streuung	69
2.12.2.1	Das LS-Potential	69
2.12.2.2	Streuung bei kleinen Energien	70
2.12.3	Feld-theoretische Beschreibung der Wechselwirkungen	73
2.12.3.1	Das Bosonen-Austauschpotential	77
2.13	Aufgaben	80
3	Kernmodelle	85
3.1	Fermi-Gas-Modell	85
3.2	Tröpfchenmodell	88
3.3	Das Schalenmodell	94
3.3.1	Sphärische Potentiale	94
3.3.2	Spin-Bahn-Wechselwirkung	100
3.3.3	Restwechselwirkung	103
3.3.3.1	Die Paarwechselwirkung	104
3.3.3.2	Besetzungszahlen	107
3.4	Deformierte Kerne	109
3.5	Das optische Modell	111
3.6	Einteilchen-Anregungen	117
3.7	Kollektive Anregungen	122
3.7.1	Vibrationen	123
3.7.2	Rotierende Kerne	126
3.7.3	Transurane und Spaltung	131
3.8	Aufgaben	135
4	Ungebundene Systeme, Symmetrien	139
4.1	Resonanzen in Kernen	139
4.2	Riesenresonanzen	144
4.3	Erhaltungsgrößen	148
4.3.1	Raum-Zeitliche Verschiebungen	150
4.3.2	Rotation	151
4.3.3	Halbzahlige Spins	153
4.3.4	Die Parität \mathcal{P}	153
4.3.5	Die Zeitumkehr \mathcal{T}	155
4.3.6	Der Isospin	159
4.4	Eigenschaften der Feldteilchen	161
4.4.1	Die Entdeckung des Pions	161
4.4.2	Spin und Parität der Pionen	162
4.4.3	Isospin der Pionen	164
4.4.4	Spin und Parität des Photons	166
4.4.5	Schwellenproduktionen	167
4.5	Empirische Erhaltungssätze	170
4.5.1	Ladungserhaltung	170

- 4.5.2 Folgerungen aus der Existenz und aus dem β -Zerfall des Neutrons 172
- 4.6 Das π -Nukleon-System 173
- 4.6.1 Die π -Nukleon-Wechselwirkung 173
- 4.6.2 Nukleonenresonanzen 176
- 4.7 Resonanzen im $\pi - \pi$ -System 179
- 4.7.1 Zweipionen-Systeme 179
- 4.7.2 Dreipionen-Systeme 181
- 4.8 Die Strangeness 184
- 4.9 η -Zerfälle und die \mathcal{C} -Konjugation 187
- 4.10 Aufgaben 190

- 5 Quarkonia und die starke Wechselwirkung 195**
- 5.1 Multipletts leichter Quarks 195
- 5.1.1 Anordnungen in Multipletts, Quarks 195
- 5.1.2 Quarkmassen 200
- 5.1.2.1 Hyperfeinwechselwirkung 201
- 5.1.2.2 Coulomb-Effekte 205
- 5.1.2.3 Magnetische Momente 206
- 5.1.3 Farbe 207
- 5.1.4 Quarklinien 208
- 5.2 Schwere Quarks 209
- 5.2.1 Die Entdeckung des Charms 209
- 5.2.2 Die Entdeckungen des Bottom- und des Top-Quarks 214
- 5.3 QCD, Jets und Gluonen 216
- 5.3.1 Quark-Quark-Potential 216
- 5.3.2 Die laufende Kopplungskonstante 221
- 5.3.3 Das Saitenmodell 223
- 5.3.4 Nichtresonante $q\bar{q}$ -Erzeugung 225
- 5.3.5 Gluonenabstrahlung 227
- 5.3.6 Die Gluon-Gluon-Wechselwirkung 231
- 5.4 Struktur der Nukleonen 232
- 5.4.1 Skaleninvarianz 232
- 5.4.2 Das Quark-Parton-Modell 237
- 5.4.3 Neutrinostreuung 240
- 5.4.4 Skalenbrechung und Impulsverteilung der Gluonen 241
- 5.5 Chirale Störungstheorie 242
- 5.5.1 Chiraler Grenzfall 242
- 5.5.2 Partiiell erhaltener axialer Strom 244
- 5.5.3 $\pi\pi$ -Streuung 245
- 5.5.4 Offene Probleme 247
- 5.6 Streuung von Hadronen bei hohen Energien 249
- 5.7 Aufgaben 253

- 6 Die elektroschwache Wechselwirkung 257**
- 6.1 Leptonen 257
- 6.1.1 Eigenschaften geladener Leptonen 257
- 6.1.1.1 Eigenschaften des Elektrons 257
- 6.1.1.2 Eigenschaften des Myons 259
- 6.1.1.3 Eigenschaften des Taus 266

6.1.2	Die Neutrino-Hypothese	267
6.2	Der nukleare β -Zerfall, Fermi's Theorie	269
6.3	Verletzung der Paritätserhaltung, Helizität der Leptonen	275
6.3.1	Das Wu-Experiment	275
6.3.2	Der Zerfall des Λ -Hyperons	277
6.3.3	Die Helizität der Leptonen	279
6.4	Die $V - A$ -Wechselwirkung	281
6.5	Test der $V - A$ -Theorie	284
6.6	Der neutrale, schwache Strom	288
6.7	Die Feldbosonen der schwachen Wechselwirkung	289
6.8	Schwache Zerfälle von Teilchen mit Strangeness	293
6.9	Verallgemeinerung auf sechs Quarks	294
6.10	Die Vereinheitlichung der elektrischen und der schwachen Wechselwirkung	296
6.11	Eichinvarianz	296
6.11.1	Nicht-Abel'sche Eichtransformationen	296
6.11.1.1	Eichinvarianz in der QED	298
6.11.1.2	Isospin-Invarianz	298
6.11.1.3	Eichfelder der Gruppe $SU(3)$	299
6.11.2	Spontane Brechung der globalen Symmetrie: Goldstone-Mode	300
6.11.3	Spontane Brechung der lokalen Symmetrie: Higgs-Mode	302
6.11.4	Higgs-Mechanismus und Isospin	303
6.11.5	Tests des Standardmodells	308
6.11.5.1	Eigenschaften der Z Zerfälle	308
6.11.5.2	Test der QED	310
6.11.5.3	Zwei Fermionen Endzustand	313
6.11.6	Untersuchungen zur elektroschwachen Wechselwirkung bei LEP II Energien	321
6.12	Oszillationen, CP -Verletzung	323
6.12.1	Das Zweizustandsproblem	323
6.12.2	Die neutralen Kaonen	326
6.12.3	Oszillation und Regeneration	328
6.12.4	Verletzung der CP - und der T -Invarianz	330
6.12.4.1	Zerfälle neutraler Kaonen	330
6.12.4.2	Verletzung der \mathcal{J} -Invarianz	335
6.12.4.3	Verletzung der CP -Invarianz im Zerfall	335
6.12.4.4	CP -Verletzung im $\bar{B}B$ -System	336
6.12.5	CP -Verletzung im Standardmodell	338
6.13	Neutrinos	342
6.13.1	Sonnenneutrinos	345
6.13.2	Atmosphärische Neutrinos	349
6.13.3	Neutrinooszillationen	350
6.13.4	Suche nach dem Majorana Neutrino	356
6.14	Aufgaben	361
7	Suche nach dem Higgs Boson	367
7.1	Frühe Suchen	367
7.2	Blick durchs Schlüsselloch	367
7.3	Produktions- und Zerfallskanäle	371
7.4	Experimentelle Prerequisite	374

- 7.5 Die Entdeckung des Higgs Bosons 376
- 7.5.1 Spin und Parität des Higgs Bosons 378
- 7.6 Aufgaben 379

- 8 Kerne in exotischen Zuständen 381**
- 8.1 Hyperkerne 381
- 8.2 Mesonische Atome 384
- 8.3 Schwerionenphysik bei mittleren Energien 387
- 8.3.1 Heiße Kerne 387
- 8.3.2 Weitere Thermometer 391
- 8.3.3 Thermalisierung 392
- 8.3.4 Die Zustandsgleichung 395
- 8.4 Hoch relativistische Schwerionenreaktionen 397
- 8.4.1 Hochenergetische Schwerionenbeschleuniger 398
- 8.4.2 Schwerionendetektoren 401
- 8.4.3 Kollektiver Strömung 403
- 8.4.4 Gittereichtheorie 411
- 8.4.5 Raum-Zeit Entwicklung des Quark-Gluon Plasmas 416
- 8.4.5.1 Messung der Korrelation 416
- 8.4.5.2 Der kritische Punkt 418
- 8.4.5.3 Die Zähigkeit des Quark-Gluon Plasmas 423
- 8.5 Nukleares Brennen, Neutronensterne 426
- 8.6 Aufgaben 430

- Anhang 433**

- A Fourier-Transformationen 433**

- B Die Raum-Zeit 435**
- B.1 Vierervektoren 435
- B.2 Lorentz-Transformationen 436
- B.3 Kovariante Formulierung der Elektrodynamik 437

- C Kinematik und Phasenraum 439**
- C.1 Kinematik 439
- C.2 Zweikörper-Kinematik 442
- C.3 Dreikörper-Kinematik 445
- C.4 Methode der fehlenden Masse 450
- C.5 Rapidität und Pseudorapidität 450

- D Addition von Drehimpulsen 453**

- E Die Dirac-Gleichung 455**
- E.1 Wellengleichungen 455
- E.2 Lösungen der Dirac-Gleichung 459

- F Matrixelemente aus Feynman-Graphen 461**
- F.1 Regeln der QED 461
- F.2 Regeln der QCD 464

xii | *Inhaltsverzeichnis*

G Generatoren für die Gruppe $SU(3)$ 465

H Quantenzahlen der Mesonen 469

I Teilchen im Standardmodell 471

Literaturverzeichnis 473

Index 485