

## Inhaltsverzeichnis

**Vorwort** *xiii*

<b>1</b>	<b>Historische Anfänge</b>	<b>1</b>
1.1	Aufgaben	3
<b>2</b>	<b>Globale Eigenschaften von Kernen und Nukleonen</b>	<b>5</b>
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	$\alpha$ -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
<b>3</b>	<b>Kernmodelle</b>	<b>85</b>
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
<b>4</b>	<b>Ungebundene Systeme, Symmetrien</b>	<b>139</b>
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 $\beta$ -Zerfall des Neutrons	172
4.6	Das $\pi$ -Nukleon-System	173
4.6.1	Die $\pi$ -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	$\eta$ -Zerfälle und die $\mathcal{C}$ -Konjugation	187
4.10	Aufgaben	190
<b>5</b>	<b>Quarkonia und die starke Wechselwirkung</b>	<b>195</b>
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	Partiell 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
<b>6</b>	<b>Die elektroschwache Wechselwirkung</b>	<b>257</b>
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 Tauchs	266

6.1.2	Die Neutrino-Hypothese	267
6.2	Der nukleare $\beta$ -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 $\Lambda$ -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 $\mathcal{T}$ -Invarianz	335
6.12.4.3	Verletzung der $CP$ -Invarianz im Zerfall	335
6.12.4.4	$CP$ -Verletzung im $BB$ -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
<b>7</b>	<b>Suche nach dem Higgs Boson</b>	<b>367</b>
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
<b>8</b>	<b>Kerne in exotischen Zuständen</b>	<b>381</b>
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
<b>Anhang</b>		<b>433</b>
<b>A</b>	<b>Fourier-Transformationen</b>	<b>433</b>
<b>B</b>	<b>Die Raum-Zeit</b>	<b>435</b>
B.1	Vierervektoren	435
B.2	Lorentz-Transformationen	436
B.3	Kovariante Formulierung der Elektrodynamik	437
<b>C</b>	<b>Kinematik und Phasenraum</b>	<b>439</b>
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
<b>D</b>	<b>Addition von Drehimpulsen</b>	<b>453</b>
<b>E</b>	<b>Die Dirac-Gleichung</b>	<b>455</b>
E.1	Wellengleichungen	455
E.2	Lösungen der Dirac-Gleichung	459
<b>F</b>	<b>Matrizelemente aus Feynman-Graphen</b>	<b>461</b>
F.1	Regeln der QED	461
F.2	Regeln der QCD	464

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

**H** Quantenzahlen der Mesonen 469

**I** Teilchen im Standardmodell 471

**Literaturverzeichnis** 473

**Index** 485