

Bogdan Povh Klaus Rith
Christoph Scholz Frank Zetsche

Teilchen und Kerne

Eine Einführung
in die physikalischen Konzepte

Fünfte, korrigierte und erweiterte Auflage
Mit 144 Abbildungen, 12 Tabellen
und 58 Aufgaben mit Lösungen



Springer

Professor Dr. Bogdan Povh
Max-Planck-Institut für Kernphysik
Postfach 10 39 80, D-69029 Heidelberg

Professor Dr. Klaus Rith
Physikalisches Institut der Universität
Erlangen-Nürnberg
Erwin-Rommel-Strasse 1, D-91058 Erlangen

Dr. Christoph Scholz
SAP AG
Postfach 1461, D-69185 Walldorf

Dr. Frank Zetsche
Universität Hamburg und
Deutsches Elektronen-Synchrotron
Notkestrasse 85, D-22603 Hamburg

ISBN 3-540-65928-5 5. Auflage Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York

ISBN 3-540-61737-X 4. Auflage Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Teilchen und Kerne: eine Einführung in die physikalischen Konzepte / von Bogdan Povh... –

5., korrigierte und erw. Aufl. –

Berlin; Heidelberg; New York; Barcelona; Hongkong; London; Mailand; Paris; Singapur; Tokio;

Springer, 1999

(Springer-Lehrbuch)

ISBN 3-540-65928-5

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1993, 1994, 1995, 1997, 1999

Printed in Germany

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Satz: Datenkonvertierung durch Jürgen Sawinski, Heidelberg

Einbandgestaltung: *design & production* GmbH, Heidelberg

SPIN: 10717780 55/3144/di - 5 4 3 2 1 0 - Gedruckt auf säurefreiem Papier

Inhaltsverzeichnis

1. Hors d'œuvre	1
1.1 Grundbausteine der Materie	1
1.2 Die fundamentalen Wechselwirkungen	3
1.3 Symmetrien und Erhaltungssätze	4
1.4 Experimente	5
1.5 Einheiten	7

Teil I. Analyse: Bausteine der Materie

2. Globale Eigenschaften der Kerne	11
2.1 Das Atom und seine Bausteine	11
2.2 Nuklide	13
2.3 Parametrisierung der Bindungsenergien	18
2.4 Ladungsunabhängigkeit der Kernkraft und Isospin	22
Aufgaben	24
3. Stabilität der Kerne	25
3.1 β -Zerfall	27
3.2 α -Zerfall	31
3.3 Kernspaltung	33
3.4 Zerfall angeregter Kernzustände	36
Aufgaben	40
4. Streuung	43
4.1 Allgemeine Betrachtung von Streuprozessen	43
4.2 Wirkungsquerschnitt	46
4.3 Die „Goldene Regel“	50
4.4 Feynman-Diagramme	52
Aufgaben	55
5. Geometrische Gestalt der Kerne	57
5.1 Kinematik der Elektronenstreuung	57
5.2 Der Rutherford-Wirkungsquerschnitt	59

5.3	Der Mott-Wirkungsquerschnitt	64
5.4	Formfaktoren der Kerne	65
5.5	Inelastische Kernanregungen	73
	Aufgaben	75
6.	Elastische Streuung am Nukleon	77
6.1	Formfaktoren des Nukleons	77
6.2	Quasielastische Streuung	82
6.3	Ladungsradius von Pionen und Kaonen	85
	Aufgaben	86
7.	Tiefinelastische Streuung	87
7.1	Angeregte Nukleonzustände	87
7.2	Strukturfunktionen	89
7.3	Das Partonmodell	93
7.4	Interpretation der Strukturfunktionen im Partonmodell	95
	Aufgaben	99
8.	Quarks, Gluonen und starke Wechselwirkung	101
8.1	Quarkstruktur der Nukleonen	101
8.2	Quarks in Hadronen	106
8.3	Quark-Gluon-Wechselwirkung	108
8.4	Skalenbrechung der Strukturfunktionen	113
	Aufgaben	116
9.	Teilchenerzeugung in e^+e^--Kollisionen	117
9.1	Erzeugung von Leptonpaaren	119
9.2	Resonanzen	122
9.3	Nichtresonante Erzeugung von Hadronen	127
9.4	Gluonenabstrahlung	129
	Aufgaben	131
10.	Phänomenologie der schwachen Wechselwirkung	133
10.1	Leptonfamilien	133
10.2	Typen der schwachen Wechselwirkung	136
10.3	Kopplungsstärke des geladenen Stromes	139
10.4	Quarkfamilien	143
10.5	Paritätsverletzung	147
10.6	Tiefinelastische Neutrinostreuung	149
	Aufgaben	153
11.	Austauschbosonen der schwachen Wechselwirkung	155
11.1	Reelle W- und Z-Bosonen	155
11.2	Die elektroschwache Vereinheitlichung	160
	Aufgaben	167

12. Das Standardmodell 169

Teil II. Synthese: Zusammengesetzte Systeme

13. Quarkonia 175
 13.1 Wasserstoffatom und Positronium als Analoga 175
 13.2 Charmonium 178
 13.3 Quark-Antiquark-Potential 180
 13.4 Farbmagnetische Wechselwirkung 184
 13.5 Bottonium und Toponium 186
 13.6 Zerfallskanäle schwerer Quarkonia 188
 13.7 Test der QCD aus der Zerfallsbreite 190
 Aufgaben 193

14. Mesonen aus leichten Quarks 195
 14.1 Mesonmultipletts 195
 14.2 Massen der Mesonen 199
 14.3 Zerfallskanäle 201
 14.4 Zerfall des neutralen Kaons 203
 Aufgaben 206

15. Baryonen 207
 15.1 Erzeugung und Nachweis von Baryonen 207
 15.2 Baryonmultipletts 213
 15.3 Massen der Baryonen 217
 15.4 Magnetische Momente 219
 15.5 Semileptonische Zerfälle der Baryonen 224
 15.6 Wie gut ist das Konstituentenquark-Konzept? 232
 Aufgaben 233

16. Kernkraft 235
 16.1 Nukleon-Nukleon-Streuung 236
 16.2 Das Deuteron 241
 16.3 Charakter der Kernkraft 244
 Aufgaben 250

17. Aufbau der Kerne 251
 17.1 Das Fermigasmodell 251
 17.2 Hyperkerne 256
 17.3 Das Schalenmodell 260
 17.4 Deformierte Kerne 268
 17.5 Spektroskopie mittels Kernreaktionen 272
 17.6 β -Zerfall des Kerns 278
 Aufgaben 288

18. Kollektive Kernanregungen	291
18.1 Elektromagnetische Übergänge	292
18.2 Dipolschwingungen	295
18.3 Formschwingungen	304
18.4 Rotationszustände	307
Aufgaben	317
19. Nukleare Thermodynamik	319
19.1 Thermodynamische Beschreibung der Kerne	320
19.2 Compoundkern und Quantenchaos	322
19.3 Die Phasen der Kernmaterie	325
19.4 Teilchenphysik und Thermodynamik im frühen Universum ...	331
19.5 Sternentwicklung und Elementsynthese	338
Aufgaben	345
20. Vielkörpersysteme der starken Wechselwirkung	347
A. Anhang	351
A.1 Beschleuniger	351
A.2 Detektoren	358
A.3 Kopplung von Drehimpulsen	369
A.4 Naturkonstanten	371
Lösungen	373
Literaturverzeichnis	399
Sachverzeichnis	405