

# Teubner Studienbücher

## Physik

Becher/Böhm/Joos: **Eichtheorien der starken und elektroschwachen Wechselwirkung**

395 Seiten. DM 34,—

Bourne/Kendall: **Vektoranalysis**

227 Seiten. DM 21,80

Daniel: **Beschleuniger**

215 Seiten. DM 25,80

Großer: **Einführung in die Teilchenoptik**

155 Seiten. DM 21,80

Großmann: **Mathematischer Einführungskurs für die Physik**

3. Aufl. 288 Seiten. DM 28,80

Heber/Weber: **Grundlagen der Quantenphysik**

Band 1: Quantenmechanik. VI, 158 Seiten. DM 18,80

Band 2: Quantenfeldtheorie, VI, 178 Seiten. DM 19,80

Kamke/Krämer: **Physikalische Grundlagen der Maßeinheiten**

Mit einem Anhang über Fehlerrechnung. 218 Seiten. DM 19,80

Kneubühl: **Repetitorium der Physik**

2. Aufl. 544 Seiten. DM 39,80

Lautz: **Elektromagnetische Felder**

2. Aufl. 184 Seiten. DM 26,80

Lohrmann: **Hochenergiephysik**

2. Aufl. 248 Seiten. DM 28,80

Mayer-Kuckuk: **Atomphysik**

Eine Einführung. 2. Aufl. 233 Seiten. DM 28,—

Mayer-Kuckuk: **Kernphysik**

Eine Einführung. 3. Aufl. 349 Seiten. DM 30,80

Raeder u. a.: **Kontrollierte Kernfusion**

Grundlagen ihrer Nutzung zur Energieversorgung. 408 Seiten. DM 34,—

Rohe: **Elektronik für Physiker**

Eine Einführung in analoge Grundsaltungen. 247 Seiten. DM 24,80

Walcher: **Praktikum der Physik**

4. Aufl. 408 Seiten. DM 28,—

Wegener: **Physik für Hochschulanfänger**

Teil 1: 269 Seiten. DM 23,80

Teil 2: 282 Seiten. DM 23,80

Wiesemann: **Einführung in die Gaselektronik**

Grundlagen der Elektrizitätsleitung in Gasen

282 Seiten. DM 28,—

# **Einführung in die Teilchenoptik**

Von Dr. rer. nat. Joachim Großer  
Privatdozent an der Universität Hannover

Mit 71 Abbildungen



**B. G. Teubner Stuttgart 1983**

Dr. rer. nat. Joachim Großer

Geboren 1941 in Berlin. Studium der Physik von 1961 bis 1966 in Freiburg und Berlin. 1971 Promotion in Freiburg. Studienaufenthalte am FOM-Institut in Amsterdam 1972/73 und 1977. Seit 1973 an der Universität Hannover, seit 1979 Privatdozent.

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Großer, Joachim:

Einführung in die Teilchenoptik / von Joachim

Großer. - Stuttgart : Teubner, 1983.

(Teubner-Studienbücher : Physik)

ISBN 978-3-519-03050-8      ISBN 978-3-322-91218-3 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-322-91218-3

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, besonders die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Bildentnahme, der Funksendung, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege, der Speicherung und Auswertung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei Verwertung von Teilen des Werkes dem Verlag vorbehalten.

Bei gewerblichen Zwecken dienender Vervielfältigung ist an den Verlag gemäß § 54 UrhG eine Vergütung zu zahlen, deren Höhe mit dem Verlag zu vereinbaren ist.

© B. G. Teubner, Stuttgart 1983

Gesamtherstellung: Beltz Offsetdruck, Hemsbach/Bergstraße  
Umschlaggestaltung: W. Koch, Sindelfingen

## Vorwort

Die bahnbrechenden Fortschritte im Bereich der Ionen- und Elektronenoptik haben in den Jahren von 1930 bis 1960 stattgefunden. In dieser Zeit wurden das Elektronenmikroskop, die hochauflösenden Massenspektrometer und die ersten Beschleuniger entwickelt. Fast alle teilchenoptischen Instrumente, mit denen wir heute umgehen, wurden für einen dieser Anwendungszwecke erfunden. Heutzutage ist die Elektronen- und Ionenoptik kein aktuelles Forschungsgebiet mehr. Dafür hat sie sich aber zu einem völlig unentbehrlichen experimentellen Hilfsmittel entwickelt, das in vielen unterschiedlichen Bereichen der physikalischen Forschung und der Technik eingesetzt wird. Wer mit einem Elektronen- oder Ionenstrahl umgehen muß, kommt nicht umhin, Überlegungen und experimentelle Hilfsmittel aus dem Bereich der geometrischen Teilchenoptik anzuwenden.

In dem vorliegenden Buch werden in erster Linie die Bauelemente teilchenoptischer Geräte, also vor allem Linsen und Prismen, beschrieben. Ihre Eigenschaften werden dargestellt, und ihre Funktionsweise soll verständlich gemacht werden. Darüber hinaus werden Begriffe eingeführt, die man benötigt, um das Zusammenwirken mehrerer Bauelemente in einem optischen Gerät zu beschreiben und zu beurteilen. Im letzten kurzen Kapitel wird auch auf die Optik mit neutralen Teilchen eingegangen. Die physikalischen Vorkenntnisse, die der Leser benötigt, gehen über den Stoff der ersten zwei Semester des Physikstudiums kaum hinaus. Ähnliches gilt für die Mathematik. Rechnungen sind zwar oft recht knapp dargestellt, aber sie können immer anhand des Textes mit elementaren Mitteln nachvollzogen werden.

Die in diesem Buch enthaltene Information sollte bei vielen praktisch vorkommenden Aufgabestellungen zur Lösung genügen. Bei sehr aufwendigen Anlagen wird man zusätzlich numerische Bahnberechnungen durchführen. Darauf wird hier nicht eingegangen. Methoden, die über den Rahmen dieses Buches hinausgehen, benötigt man auch, wenn man eine Abbildung besonders hoher Qualität erreichen will. Die Auswirkung von Abbildungsfehlern wird in diesem Buch zwar geschildert, aber es wird nur am Rande besprochen, was man tun kann, um sie zu beseitigen.

## Inhaltsverzeichnis

### 1 Geladene Teilchen in elektrischen und magnetischen Feldern

1.1 Die Grundgleichungen	7
Newtonsche und relativistische Bewegungsgleichung, Grundgleichungen statischer Felder, mögliche Fehlerquellen, Einheiten und Größenordnungen.	
1.2 Ähnlichkeitsgesetze	11
Welche einfachen Änderungen der äußeren Bedingungen führen zu einfachen Änderungen der Bahnen. Beispiele.	
<u>2 Linsen und Linsenkombinationen</u>	
2.1 Bahnen im rotationssymmetrischen elektrischen Feld	17
Aufstellen und Linearisieren der nichtrelativistischen Bahngleichung.	
2.2 Die Abbildungsgesetze	19
Die Abbildungsgesetze am Beispiel der elektrischen Linsen.	
2.3 Rotationssymmetrische elektrische Linsen	23
Näherungsformeln, qualitative Diskussion der Funktionsweise, Rohrlinsen, Einzellinsen, einfache Anwendungen.	
2.4 Bahnen im rotationssymmetrischen Magnetfeld	30
Aufstellen und Linearisieren der Bahngleichung, die Bild-drehung.	
2.5 Rotationssymmetrische magnetische Linsen	33
Kurze magnetische Linse, Linsen mit Eisenkern, mit Permanentmagneten, lange magnetische Linsen.	
2.6 Quadrupollinsen	41
Aufstellen und Linearisieren der Bahngleichung, Abbildungseigenschaften, Kombinationen von Quadrupollinsen, Vergleich der verschiedenen Linsentypen, Schlitzlinsen.	
2.7 Der allgemeine Fall der optischen Abbildung, Abbildungsfehler dritter Ordnung	53
Die Gesetze der optischen Abbildung als allgemeine Gesetze, Abbildungsfehler, der Öffnungsfehler.	
2.8 Der Phasenraum	61
Invarianz des Phasenraumvolumens, der Richtstrahlwert.	
2.9 Optik im relativistischen Bereich	66
Vergleich mit den Resultaten der klassischen Behandlung.	
2.10 Transfermatrizen	68
Definition und Anwendungsbeispiele.	

2.11 Weitere Anwendungsbeispiele	71
Auflösungsvermögen des Elektronenmikroskops, das Rastermikroskop, Elektronenstrahlquellen, Streuapparatur.	
<u>3 Prismen und Spektrometer</u>	
3.1 Allgemeines	77
Funktionsweise eines Spektrometers, Dispersion und Auflösungsvermögen, Transfermatrizen mit Dispersion.	
3.2 Der Zylinderkondensator als Beispiel	83
Bahnberechnung, Kardinalelemente, Transfermatrizen.	
3.3 Sektorfelder und vergleichbare Anordnungen	88
Toruskondensator, homogenes Magnetfeld, Magnetfeld mit Feldgradient, Linsenspektrometer.	
3.4 Randfeldeffekte	96
Bahnen im Randbereich von Sektorfeldern, die effektive Feldgrenze, Herzogblenden.	
3.5 Optische Abbildung bei Systemen mit gekrümmter Hauptachse, Abbildungsfehler zweiter Ordnung	106
Optische Abbildung als allgemeine Gesetzmäßigkeit, Abbildungsfehler im Spektrometerbetrieb, Dimensionierung eines Spektrometers.	
3.6 Mehrfachfokussierende Anordnungen	114
Begriffsbildung, Beispiele, mehrfachfokussierende Spektrometer.	
3.7 Andere Spektrometertypen	118
Wienfilter, Gegenfeld, Laufzeit- und Hochfrequenzspektrometer, das Quadrupolmassenfilter.	
<u>4 Raumladung</u>	
4.1 Strahlverbreiterung und Energieverminderung durch Raumladung	124
Kräfte, die Perveanz, Strahlaufweitung, kinetische Energie eines Strahls.	
4.2 Strahltransport und Strahlbeschleunigung bei Raumladung	133
Magnetische Führung, Pierce-Anordnungen.	
<u>5 Optik mit neutralen Atomen und Molekülen</u>	142
Kräfte im elektrischen und magnetischen Feld, n-Pol-Felder	
<u>Literaturverzeichnis</u>	151
<u>Stichwortverzeichnis</u>	153