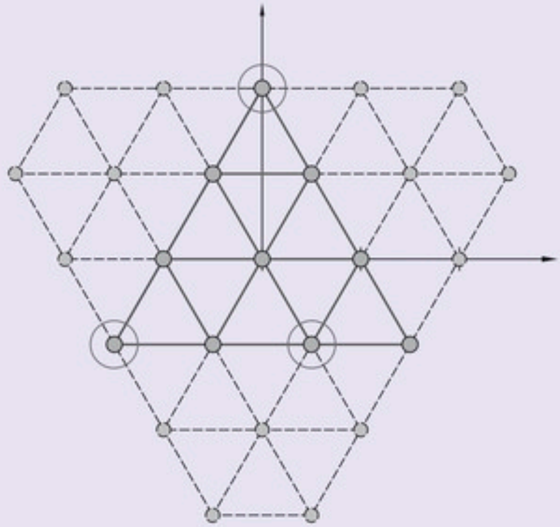
Greiner
Müller



QUANTENMECHANIK
SYMMETRIEN

Edition
Harri
Deutsch

EUROPA LEHRMITTEL

Quantenmechanik

Symmetrien

Edition
Harri
Deutsch

Quantenmechanik

Symmetrien

von

Walter Greiner
Berndt Müller

5., korrigierte Aufl ge

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG
Düsselberger Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

Europa-Nr.: 56382

Prof. Dr. Dr. h. c. mult. Walter Greiner
Frankfurt Institute for Advanced Studies (FIAS)
Johann Wolfgang Goethe-Universität
D-60438 Frankfurt am Main

Prof. Dr. Berndt Müller
Department of Physics
Duke University
Durham, NC 27708-0305, USA

5., korrigierte Auflag 2014

Druck 5 4 3 2 1

ISBN 978-3-8085-5639-9

ISBN 978-3-8085-5818-8 (E-Book)

http://www.europa-lehrmittel.de
Satz: Satzherstellung Dr. Naake, 09618 Brand-Erbisdorf
Umschlaggestaltung: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald
Druck: Media-Print Informationstechnologie GmbH, 33100 Paderborn

Theoretische Physik

von Prof. Dr. Dr. h. c. mult. Walter Greiner

Seit vielen Jahren zählen die Bände der Reihe *Theoretische Physik* zu den weltweit geschätzten und wegweisenden Lehrbüchern, mit denen Generationen von Studierenden ihre Physikausbildung erfolgreich gestaltet haben. Damit führt Prof. Dr. Dr. h. c. mult. Walter Greiner die Tradition der klassischen Buchreihen von Sommerfeld, von Planck und von Landau und Lifschitz fort, einen zusammenhängenden Blick auf das große Wissenschaftsfeld der Physik zu geben. Englische, französische, japanische und chinesische Ausgaben untermauern die Bedeutung des Werkes *Theoretische Physik*.

Auf über 7 000 Seiten lehrt Walter Greiner, der Herausgeber und Hauptautor, Physik mit einem eigenständigen, didaktisch geschickten Konzept: Vermittlung der theoretischen Grundlagen und deren Anwendung anhand vieler ausführlicher Beispiele und Aufgaben mit ausgearbeiteten Lösungen – insbesondere auch zu aktuellen Themen. Denn nichts ist für den Studierenden von größerer Bedeutung, als im Detail zu erleben, wie die theoretischen Konzepte und Werkzeuge auf konkrete Probleme angewandt werden, die für den arbeitenden Physiker von Interesse sind. Walter Greiner begleitet seine Ausführungen mit einer sorgfältigen Entwicklung der benötigten mathematischen Methoden. Biografisch und geschichtliche Notizen schlagen die Brücke zu den Wegbereitern der modernen Physik.

So entstand ein lebendiges Konzept von integrierten Lehr- und Übungsbüchern. Pragmatisch orientiert, aber ohne Abstriche an der theoretischen Grundlegung des Stoffes, gelingt es Walter Greiner, den Lernenden einen schnellen Zugang zum theoretisch-physikalischen Denken zu ebnen und sie für die physikalische Wissenschaft zu begeistern.

Vorwort zur 5. Auflage

Die Theoretische Physik ist eine umfangreiche, breit gefächerte Wissenschaft geworden. Es ist für den jungen Studenten schwer, vor der Fülle des zu Erlernenden nicht zurückzuschrecken und sich vielmehr systematisch einen Überblick über das weite Feld von der Mechanik über die Elektrodynamik, die Quantentheorie, Feldtheorie, Kern- und Schwerionenphysik, Statistische Mechanik und Thermodynamik, Festkörperphysik bis hin zur Physik der Elementarteilchen zu verschaffen.

Das alles soll außerdem in acht bis zehn Semestern einschließlich einer ordentlichen Diplomarbeit geschafft werden. Dies ist nur möglich, wenn die akademischen Lehrer mithelfen, die Studenten frühzeitig in die neuen Disziplinen einzuweihen und so Interesse und Begeisterung zu wecken, wodurch wichtige zusätzliche Energien frei werden. Dabei muss auch Unwesentliches weggelassen werden.

An der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main haben wir daher schon seit 1965 die Theoretische Physik in das 1. Studiensemester vorverlegt. Darum werden die Mechanik I und II, die Elektrodynamik und die Einführung in die Quantentheorie in einem Grundkurs vor dem Vordiplom in Verbindung mit vielen mathematischen Erläuterungen und Ergänzungen gelehrt. Nach dem 4. Semester sind Quantentheorie II, Statistische Mechanik und Thermodynamik, Relativistische Quantentheorie und Quantenelektrodynamik (Einführung in die Quantenfeldtheorie) Pfl chtvorlesungen. Neben diesem Grundkurs durch die Theoretische Physik werden eine ganze Reihe Ergänzungen und Spezialvorlesungen regelmäßig angeboten. Dazu gehören beispielsweise die Hydrodynamik, Klassische Feldtheorie, Theoretische Optik, Theorie der Streuprozesse, Allgemeine Relativitätstheorie, Theorie der Schwachen Wechselwirkung, Theorie der Elementarteilchen usw. Einige davon, wie z.B. die zweisemestrigen Vorlesungen über Theoretische Kernphysik bzw. Theoretische Festkörperphysik, gehören auch zu den Pflichte für das Diplom in Physik.

Wir stellen hier die Symmetrien in der Quantenmechanik vor. Die Vorlesung ist so gehalten wie die Grundvorlesungen auch: Zusammen mit ausführlichen Erläuterungen des notwendigen mathematischen Werkzeuges, vielen Beispielen und durchgerechneten Aufgaben, versuchen wir den Stoff so interessant wie möglich darzustellen. Dabei haben wir mit den Symmetrien in der Quantenmechanik ein besonders schönes Thema angesprochen.

Die getroffene Stoffauswahl ist unkonventionell, entspricht aber unserer Meinung nach der Bedeutung dieses Gebietes in der modernen Physik. Nach kurzer Vorstellung einiger Symmetrien in der klassischen Mechanik zeigen wir ihre Bedeutung in der Quantenmechanik auf, besprechen ausführlich die Konsequenzen der Rotationssymmetrie und gelangen so zur allgemeinen Theorie der Lie-Gruppen. Die Isospingruppe, die Hyperladung, die SU(3)-Symmetrie und ihre Anwendung in der modernen Elementarteilchenphysik werden ausführlich besprochen.

Wichtige mathematische Sätze haben wir zunächst ohne Beweis zitiert und in ihrer Bedeutung heuristisch erläutert. Kapitel über die Permutationsgruppe, die Methode der Young-Tableaux und über Gruppencharaktere erläutern das Handwerkszeug für die Anwendung der Theorie der Symmetriegruppen. Mit der Behandlung von Charm und der SU(4)-Symmetrie gelangen wir zu einem immer noch sehr aktuellen Gebiet der Physik.

Eine größere mathematische Ergänzung über Wurzelvektoren und klassische Lie-Algebren vertieft das Gesagte, und je ein Kapitel über spezielle diskrete Symmetrien, dynamische Symmetrien, nicht-kompakte Lie-Gruppen und das wichtige Racah'sche Theorem runden die Vorlesung ab.

Dies alles sind Themen, die jüngere Physikerinnen und Physiker faszinieren, weil sie ihnen zeigen, dass man auch schon im 5. Semester ohne Niveauverlust an Fragen der Spitzenforschung herangeführt werden kann. Das in den letzten Jahren aktuell gewordene Thema der Supersymmetrie haben wir allerdings bewusst ausgelassen, um eine Überfrachtung zu vermeiden.

Die neue Auflag erscheint erstmals in der Edition Harri Deutsch des Verlags Europa-Lehrmittel.

Mai 2014
Frankfurt am Main — Walter Greiner

Die Mitarbeiter

An den bisherigen Auflage haben im Laufe der Jahre viele ehemalige Studierende, Doktoranden und Assistenten mitgearbeitet:

Verbesserter Nachdruck der 2. englischen Aufl ge (1994)

Wir danken allen Kollegen und Studenten für ihre hilfreichen Kommentare, vor allem Prof. Dr. P. O. Hess (Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM, Mexico City) und Dr. U. Eichmann, der bei der Verbesserung mehrerer Übungen und Beispiele mitgeholfen und den Nachdruck vorbereitet hat.

2. englische Aufl ge (1994)

Zahlreichen Kollegen und Lesern schulden wir Dank für ihre hilfreichen Kommentare, allen voran Herrn Prof. L. Wilets (Seattle), der uns eine ausführliche Liste von inhaltlichen Unzulänglichkeiten und Druckfehlern zur Verfügung gestellt hat. Zu großem Dank verpflichte sind wir auch gegenüber Prof. P. O. Hess (Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM, Mexico City) für seine Korrekturen und wertvolles, ergänzendes Material zu Kapitel 12. Wir danken schließlich Herrn Dr. R. Mattiello, der die Vorbereitung der zweiten englischen Auflag überwacht hat.

1. englische Aufl ge (1989)

Für die erste englische Auflag bedanken wir uns bei M. Berenguer, S. Butorac, C. Derreth, Dr. K. Geiger[2], Dr. M. Grabiak, C. Greiner, C. Hartnack, Dr. R. Herrmann, R. Mattiello, D. Neubauer, J. Rau, W. Renner, D. Rischke, T. Schönfeld und Dr. S. Schramm für ihre Mitarbeit. Frau A. Steidl besorgte die Abbildungen. Allen sind wir zu aufrichtigem Dank verpflich et. Wir danken ferner Herrn Dr. K. Langanke und Herrn R. Könning vom Fachbereich Physik der Universität Münster für ihre wertvollen Kommentare zur deutschen Auflage Wir möchten insbesondere Herrn Dipl.-Phys. B. Waldhauser für seine vielfältige Hilfe danken. Seine organisatorischen Talente und seine Ratschläge in technischen Fragen haben wir sehr geschätzt.

4. Aufl ge (2004)

Besonderen Dank schulden wir Frau Astrid Steidl für die Erfassung der Abbildungen in elektronischer Form sowie den Herren Dr. Rainer Kissener und Dr. Stefan Scherer für ihre sorgfältige Unterstützung bei der Erstellung der deutschen Neuauflage, der Aktualisierung des Textes und der Überwachung der Drucklegung.

3. Aufl ge (1989)

Diesmal bedanken wir uns besonders bei Frau A. Steidl für die Gestaltung der Zeichnungen, bei Herrn Dipl.-Phys. T. Schönfeld für die Edition und bei den Herren Dr. R. Herrmann, Dr. V. Schneider, Dr. S. Schramm, den Herren Dipl.-Phys. K. Geiger[2] , C. Greiner, R. Heuer, L. Neise und bei den Herren K. Griepenkerl, M. Hafner, U. Katscher und K. Lutz für ihre Hilfe bei der Drucklegung sowie bei den Herren Dipl.-Phys. D. Rischke und T. Schönfeld für die Ausarbeitung einiger Übungsaufgaben. Unser besonderer Dank gilt Herrn Dipl.-Phys. R. Maaß für die Ausarbeitung des Kapitels über Lie-Algebren nichtkompakter Lie-Gruppen.

2. Aufl ge (1985)

Unser besonderer Dank gilt auch diesmal Frau B. Utschig, vor allem für das Anfertigen der zahlreichen Illustrationen. Weiterhin möchten wir uns bei den Studenten J. Fink, S. Graf, C. Greiner, C. Ionescu, L. Neise, A. Rosenhauer, C. Scheich, S. Schramm, C. Schweitzer und B. Waldhauser sowie bei Frau Ellen Pfiste für ihre unermüdliche Hilfe bei der Erstellung des Manuskripts bedanken. Unser Dank gilt ferner Herrn Dr. P. O. Hess für die Ausarbeitung des Kapitels über Gruppencharaktere, sowie Herrn Dr. U. Müller für die Betreuung der Drucklegung.

1. Aufl ge (1979)

Wir bedanken uns bei Frau R. Lasarzig und Frau B. Utschig für ihre große Hilfe bei der Anfertigung des Manuskripts. Vor allem sei aber unseren Mitarbeitern Dr. H. Stock, Dr. J. Hofmann und Dr. P. O. Hess für ihre tatkräftige Unterstützung bei der Ausarbeitung der Vorlesung gedankt. Sie haben durch ihre Anregungen wesentlich zum Gelingen beigetragen.

---

[2] Wir gedenken besonders Herrn Dr. Klaus Kinder-Geiger, der am 2. September 1998 beim Absturz von Flug Swiss Air 111 vor Long Island ums Leben gekommen ist.

Inhaltsverzeichnis

Aufgaben und Beispiele

Historische Notizen