

Vorwort

An der Universität Hamburg wird seit dem Jahr 2002 eine eigenständige zweisemestrige Vorlesung *Theoretische Physik für Studierende des Lehramts* angeboten mit dem Ziel, zukünftigen Physiklehrern/innen die Grundlagen der theoretischen Physik zu vermitteln und dabei besonders die Gebiete zu betonen, die für den Unterricht in der Oberstufe des Gymnasiums und in den Physikleistungskursen von besonderem Wert sind. Das vorliegende zweibändige Lehrbuch ist aus den Vorlesungen und Übungen hervorgegangen, die ich – in enger Absprache mit anderen Professoren des Departments Physik, dem Institut für Lehrerbildung in Hamburg, dem Lehrerprüfungsamt, Physiklehrern und Studierenden – speziell für die Lehramtsstudierenden konzipiert und mehrfach gehalten habe. Da die *moderne Physik* im Curriculum der Oberstufe eine herausragende Rolle spielt, bestand Einigkeit darin, dass die Quantenmechanik und die Relativitätstheorie einen zentralen Platz einnehmen sollten. Dazu kommt die Elektrodynamik, die die theoretische Grundlage elektrischer Maschinen sowie der Radiotechnik und Optik ist. Die Vorlesungen bauen auf dem Physik-Kurs des Grundstudiums auf. In Hamburg werden in der Physik I und II die Mechanik, Wärmelehre, Elektrizität, Magnetismus und Optik behandelt. Die Physik III ist eine Einführung in die Quanten- und Atomphysik.

Im zweiten Band der Theoretischen Physik für Studierende des Lehramts werden die Elektrodynamik und die Spezielle Relativitätstheorie behandelt. Die Elektrodynamik, die ihren Höhepunkt in den vier Maxwell'schen Gleichungen fand, ist eine der erstaunlichsten Theorien des 19. Jahrhunderts. Im Unterschied zur Newton'schen Mechanik ist sie voll relativistisch und brauchte daher nach der Entdeckung der Speziellen Relativitätstheorie nicht modifiziert zu werden. Die Maxwell-Gleichungen sind auch heute noch uneingeschränkt gültig, solange man Quanteneffekte außer Acht lassen kann.

Wie auch schon Band 1 (Quantenmechanik) ist das Lehrbuch folgendermaßen aufgebaut: in den Hauptkapiteln wird der für das Examen relevante Stoff in möglichst einfacher und klarer Form dargestellt. Die didaktischen Anmerkungen am Ende der Kapitel haben das Ziel, den zukünftigen Lehrern/innen Verständnis-hilfen zu geben und auch Hinweise, wie sie die physikalischen Konzepte in der Schule vermitteln könnten. Zu diesem Zweck gibt es auch eine Vielzahl von Abbil-

dungen. Mathematische Ergänzungen und kompliziertere theoretische Herleitungen sind in den Anhängen zu finden. Diese Anhänge sollen interessierten Studierenden helfen, die Theorie besser zu verstehen und Rechnungen selbst durchführen zu können. Das dort präsentierte Material gehört aber in Hamburg nicht zum Examensstoff.

Im einleitenden Kapitel 1 werden die Grundbegriffe von Elektrizität und Magnetismus wiederholt, um eine Basis für die theoretische Formulierung der Elektrodynamik zu schaffen. Kapitel 2 und 3 befassen sich mit statischen und zeitabhängigen elektrischen und magnetischen Feldern. Das Konzept des Feldes wird erklärt, und es wird gezeigt, dass statische elektrische Felder wirbelfrei sind und als (negativer) Gradient eines Potentials geschrieben werden können. Der Gauß'sche Satz wird in integraler Form für elektrische und magnetische Felder diskutiert und auf diverse Probleme angewandt, die Divergenz eines Vektorfeldes wird erklärt. Weitere Themen sind der Satz von Stokes und die Rotation eines Vektorfeldes. Es folgen Biot-Savart-Gesetz, Randbedingungen an Grenzflächen, Induktionsgesetz und Lenz'sche Regel. Die Kontinuitätsgleichung wird aus dem Gesetz von der Erhaltung der elektrischen Ladung hergeleitet, und das Konzept des Verschiebungsstroms wird erklärt. Die Maxwell'schen Gleichungen in Materie und im Vakuum werden in integraler und differentieller Form vorgestellt. Es folgt die Darstellung der Felder durch das skalare und das Vektor-Potential. Wichtige Querverbindungen zur Quantentheorie sind die Eichinvarianz und der Aharonov-Bohm-Effekt.

In den Kapiteln 4 und 5 wird die Wellengleichung aus den Maxwell-Gleichungen hergeleitet und für Spezialfälle (ebene Wellen und Kugelwellen) gelöst. Die charakteristischen Eigenschaften elektromagnetischer Wellen werden hergeleitet. Die Abstrahlung eines Hertz'schen Dipols wird besprochen und in Anhang B explizit berechnet. Wellen in dielektrischen Medien, Reflexion und Brechung, Beugung und Interferenz werden in knapper Form behandelt. Weitere Themen sind Wellen in Hohlleitern und Koaxialkabeln.

Die relativistische Mechanik wird in Kap. 6 besprochen. Die Themen sind Inertialsysteme, Lorentztransformation, Zeitdilatation und Längenkontraktion, Zwillingsparadoxon, Addition von Geschwindigkeiten, relativistische Masse und Energie, Doppler-Effekt, Vierervektoren und relativistische Invarianten, Anwendungen der relativistischen Kinematik in der Beschleuniger- und Elementarteilchenphysik. In Kap. 7 wird die enge Verknüpfung der elektromagnetischen Erscheinungen mit der Relativitätstheorie herausgearbeitet. Besonders wichtig ist die Erkenntnis, dass die Lorentzkraft als relativistische Ergänzung der Coulombkraft gedeutet werden kann. Auf die Transformationseigenschaften elektromagnetischer Felder und relativistische Strahlungsquellen wird kurz eingegangen.

Im abschließenden Kapitel 8 wird eine Synthese der in dem zweibändigem Lehrbuch behandelten Gebiete versucht: was lernt man Neues, wenn Quantentheorie, Relativitätstheorie und Elektrodynamik kombiniert werden? Es wird ein Ausblick gegeben auf die Dirac-Gleichung als relativistische Verallgemeinerung der Schrödinger-Gleichung für Elektronen. Die fundamentalen neuen Vorhersagen der Dirac-Gleichung werden diskutiert: Existenz der Antiteilchen, Spin $1/2$ und magnetisches Moment des Elektrons.

Anhang A enthält eine kurze Zusammenfassung der Vektoranalysis. Kompliziertere Rechnungen zur Elektrodynamik und Relativitätstheorie sind in den Anhängen B und C zu finden. Die Herleitung der Dirac-Gleichung wird in Anhang D skizziert. Wichtige Naturkonstanten und die im Buch benutzten Symbole sind tabellarisch in Anhang E aufgeführt. Kurzgefasste Lösungen ausgewählter Übungsaufgaben findet man in Anhang F.

In dem vorliegenden Lehrbuch wird konsequent das SI-System verwendet, in dem der elektrische Strom eine eigene Maßeinheit hat. Wir folgen damit dem großen theoretischen Physiker Arnold Sommerfeld, der in der Einleitung zu seiner „Elektrodynamik“ [1] schreibt:

Ausschlaggebend für die Fruchtbarkeit dieser Dimensionsbetrachtungen ist die Einführung einer von den mechanischen Einheiten unabhängigen vierten elektrischen Einheit. . . . Wir vermeiden also das „Prokrustesbett“ der cgs-Einheiten, in welchem den elektromagnetischen Größen die bekannten wider-natürlichen Dimensionen aufgezwungen werden.

Leider haben sich diese Einsichten nicht generell in den Lehrbüchern der theoretischen Physik durchgesetzt. Die Standard-Lehrbücher der Experimentalphysik und Elektrotechnik sowie Schulphysik-Bücher verwenden die SI-Einheiten, dies trifft auch auf die Feynman-Vorlesungen [2] und den „Grundkurs Theoretische Physik“ von Nolting [3] zu. Ein internationales Standardwerk der Elektrodynamik, *Classical Electrodynamics* von John David Jackson [4], wurde in der dritten amerikanischen Auflage auf SI-Einheiten umgestellt. Vergleichsweise einfach zu lesen und als weiterführende Lektüre zu empfehlen ist das Buch *Introduction to Electrodynamics* von David J. Griffiths [5], in dem man auch kritische und anregende Bemerkungen zu Problemen finden kann, die oft zu Missverständnissen führen oder geführt haben.

Das vorliegende Buch ist erfahrungsgemäß zu umfangreich für eine einsemestrigere Veranstaltung mit 4 SWS Vorlesung und 2 SWS Übung (dies trifft wohl auf alle Lehrbücher zu). Man wird daher eine Auswahl treffen und Schwerpunkte setzen müssen.

Die Ausarbeitung des Lehrbuchs erfolgte im Rahmen einer Seniorprofessur der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung für die Weiterentwicklung der Lehrerbildung im Fach Physik. Ich danke der WE Heraeus-Stiftung sehr herzlich für die großzügige Förderung. Prof. Siegfried Großmann und Prof. Erich Lohrmann haben frühere Versionen des Manuskripts sorgfältig gelesen und viele hilfreiche Anmerkungen und Verbesserungsvorschläge gemacht. Ihnen gebührt besonderer Dank. Eine vorläufige Version der *Elektrodynamik und Relativitätstheorie* ist von Prof. Joachim Bartels in seinen Vorlesungen für Lehramtskandidaten verwendet worden. Für viele anregende Gespräche und nützliche Hinweise möchte ich mich bei ihm bedanken. Frau Dr. Vera Spillner vom Springer-Verlag danke ich für wertvolle Anregungen und Hinweise. Eine ganz besondere Anerkennung gebührt Dr. Paul-Dieter Gall, der sehr engagiert an der Erstellung der Übungsaufgaben und der Lösungen mitgearbeitet hat und mit großer Sorgfalt die verschiedenen Versionen des Manuskripts gelesen und auf Fehler geprüft hat. Schließlich bedanke ich mich bei dem Grafik-Büro

Dirk Günther für die Anfertigung zahlreicher Abbildungen und bei DESY für die großzügige finanzielle Unterstützung bei der Erstellung dieser Abbildungen.

Hamburg, 20. Mai 2012

Peter Schmüser

Theoretische Physik für Studierende des Lehramts 2

Elektrodynamik und Spezielle Relativitätstheorie

Schmüser, P.

2013, XII, 258 S. 105 Abb., 100 Abb. in Farbe.,

Softcover

ISBN: 978-3-642-25394-2