

Vorwort

zur Theoretischen Physik

Mit diesem mehrbändigen Werk lege ich ein Lehrbuch der Theoretischen Physik vor, das dem an vielen deutschsprachigen Universitäten eingeführten Aufbau der Vorlesungen folgt: die Mechanik und die nicht-relativistische Quantenmechanik, die in Geist, Zielsetzung und Methodik nahe verwandt sind, stehen nebeneinander und stellen die Grundlagen für das Hauptstudium bereit, die eine für die klassischen Gebiete, die andere für Wahlfach- und Spezialvorlesungen. Die klassische Elektrodynamik und Feldtheorie und die relativistische Quantenmechanik leiten zu Systemen mit unendlich vielen Freiheitsgraden über und legen das Fundament für die Theorie der Vielteilchensysteme, die Quantenfeldtheorie und die Eichtheorien. Dazwischen steht die Theorie der Wärme und die wegen ihrer Allgemeinheit in einem gewissen Sinn alles übergreifende Statistische Mechanik.

Als Studentin, als Student lernt man in einem Zeitraum von drei Jahren fünf große und wunderschöne Gebiete, deren Entwicklung im modernen Sinne vor bald 400 Jahren begann und deren vielleicht dichteste Periode die Zeit von etwas mehr als einem Jahrhundert von 1830, dem Beginn der Elektrodynamik, bis ca. 1950, der vorläufigen Vervollendung der Quantenfeldtheorie, umfasst. Man sei nicht enttäuscht, wenn der Fortgang in den sich anschließenden Gebieten der modernen Forschung sehr viel langsamer ist, diese oft auch sehr technisch geworden sind, und genieße den ersten Rundgang durch ein großartiges Gebäude menschlichen Wissens, das für fast alle Bereiche der Naturwissenschaften grundlegend ist.

Die Lehrbuchliteratur in Theoretischer Physik hinkt in der Regel der aktuellen Fachliteratur und der Entwicklung der Mathematik um einiges nach. Abgesehen vom historischen Interesse gibt es keinen stichhaltigen Grund, den Umwegen in der ursprünglichen Entwicklung einer Theorie zu folgen, wenn es aus heutigem Verständnis direkte Zugänge gibt. Es sollte doch vielmehr so sein, dass die großen Entdeckungen in der Physik der zweiten Hälfte des zwanzigsten Jahrhunderts sich auch in der Darstellung der Grundlagen widerspiegeln und dazu führen, dass wir die Akzente anders setzen und die Landmarken anders definieren als beispielsweise die Generation meiner akademischen Lehrer um 1960. Auch sollten neue und wichtige mathematische Methoden und Erkenntnisse mindestens dort eingesetzt und verwendet werden, wo sie dazu beitragen, tiefere Zusammenhänge klarer hervortreten zu lassen und gemeinsame Züge scheinbar verschiedener Theorien erkennbar zu machen. Ich verwende in diesem Lehrbuch in einem ausgewogenen Maß moderne mathematische Techniken und traditionelle, physikalisch-

intuitive Methoden, die ersteren vor allem dort, wo sie die Theorie präzise fassen, sie effizienter formulierbar und letzten Endes einfacher und transparenter machen – ohne, wie ich hoffe, in die trockene Axiomatisierung und Algebraisierung zu verfallen, die manche neueren Monographien der Mathematik so schwer leserlich machen; außerdem möchte ich dem Leser, der Leserin helfen, die Brücke zur aktuellen physikalischen Fachliteratur und zur Mathematischen Physik zu schlagen. Die traditionellen, manchmal etwas vage formulierten physikalischen Zugänge andererseits sind für das veranschaulichende Verständnis der Phänomene unverzichtbar, außerdem spiegeln sie noch immer etwas von der Ideen- und Vorstellungswelt der großen Pioniere unserer Wissenschaft wider und tragen auch auf diese Weise zum Verständnis der Entwicklung der Physik und deren innerer Logik bei. Diese Bemerkung wird spätestens dann klar werden, wenn man zum ersten Mal vor einer Gleichung verharret, die mit raffinierten Argumenten und eleganter Mathematik aufgestellt ist, die aber nicht zu einem *spricht* und verrät, wie sie zu interpretieren sei. Dieser Aspekt der *Interpretation* – und das sei auch den Mathematikern und Mathematikerinnen klar gesagt – ist vielleicht der schwierigste bei der Aufstellung einer physikalischen Theorie.

Jeder der vorliegenden Bände enthält wesentlich mehr Material als man in einer z.B. vierstündigen Vorlesung in einem Semester vortragen kann. Das bietet den Dozenten die Möglichkeit zur Auswahl dessen, was sie oder er in ihrer/seiner Vorlesung ausarbeiten möchte und, bei Wiederholungen, den Aufbau der Vorlesung zu variieren. Für die Studierenden, die ja ohnehin lernen müssen, mit Büchern und Originalliteratur zu arbeiten, bietet sich die Möglichkeit, Themen oder ganze Bereiche je nach Neigung und Interesse zu vertiefen. Ich habe den Aufbau fast ohne Ausnahme „selbsttragend“ konzipiert, so dass man alle Entwicklungen bis ins Detail nachvollziehen und nachrechnen kann. Die Bücher sind daher auch für das Selbststudium geeignet und „verführen“ Sie, wie ich hoffe, auch als gestandene Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen dazu, dies und jenes noch einmal nachzulesen oder neu zu lernen.

Bücher gehen heute nicht mehr durch die klassischen Stadien: handschriftliche Version, erste Abschrift, Korrektur derselben, Erfassung im Verlag, erneute Korrektur etc., die zwar mehrere Iterationen des Korrekturlesens zuließen, aber stets auch die Gefahr bargen, neue Druckfehler einzuschmuggeln. Der Verlag hat ab Band 2 die von mir in \LaTeX geschriebenen Dateien (Text und Formeln) direkt übernommen und bearbeitet. So hoffe ich, dass wir dem Druckfehlerteufel wenig Gelegenheit zu Schabernack geboten haben. Über die verbliebenen, nachträglich entdeckten Druckfehler werde ich, soweit sie mir bekannt werden, auf einer Webseite berichten, die über den Hinweis *Buchveröffentlichungen/book publications* auf meiner homepage zugänglich ist. Die letztere erreicht man über

<http://wwwthep.physik.uni-mainz.de>

Den Anfang hatte die zuerst 1988 erschienene, seither kontinuierlich weiterentwickelte *Mechanik* gemacht. Ich freue mich zu sehen, dass auch die anderen Bände sich rasch etabliert haben und ähnlich starke Resonanz gefunden haben wie der erste Band. Dass die ganze Reihe überhaupt zustande kam, daran hat auch Herr Dr. Hans J. Kölsch vom Springer-Verlag durch seinen Rat und seine Ermutigung seinen Anteil, wofür ich ihm an dieser Stelle herzlich danke.

Mainz, im Dezember 2012

Florian Scheck

Vorwort zu Band 2, 3. Auflage

Die Quantenmechanik bildet die begriffliche und handwerkliche Grundlage für fast alle Zweige der modernen Physik, von der Atom- und Molekülphysik, über die Physik der Kondensierten Materie, die Kernphysik bis zur Elementarteilchenphysik. Für sich allein genommen, ist sie ein überaus reizvolles Teilgebiet der Theoretischen Physik und hat seit ihrer Entstehung in den Zwanzigerjahren des vorigen Jahrhunderts nichts von ihrer Faszination verloren. Ihre physikalische Interpretation gibt auch heute noch zu tiefsinnigen Überlegungen und Kontroversen Anlass [Selleri (1990a)], [Selleri (1990b)], [d’Espagnat (1989)], [Omnès (1994)], ihr mathematischer Rahmen ist anspruchsvoll und vielleicht nicht abschließend geklärt. Wie ich schon im Vorwort zu Band 1 ausgeführt habe, ist eine gründliche Kenntnis der kanonischen Mechanik im Blick auf ihre Interpretation zwar nicht unerlässlich, aber sehr hilfreich. Die mathematischen Grundlagen, die streng genommen von der Gruppentheorie über die Theorie der Differentialgleichungen bis zur Funktionalanalysis reichen, kann man sich heuristisch durch Analogien einerseits zur Linearen Algebra, andererseits zur Hamilton-Jacobischen Mechanik weitgehend erschließen.

Dieser Band, der die „praktische“ Quantenmechanik ebenso behandelt wie die allgemeinen Prinzipien der Quantentheorie, ist so aufgebaut, dass er als begleitendes Buch zu einer Vorlesung *Quantenmechanik, Teil I* ebenso wie zum Selbststudium dienen kann. Beginnend mit einer ausführlichen Behandlung der nichtrelativistischen Quantenmechanik eines Punktteilchens und einer ersten Einführung in die Theorie der Potentialstreuung führt er schrittweise an die allgemeinen Prinzipien der Quantentheorie heran, die physikalisch motiviert und begründet werden. Er behandelt kontinuierliche und diskrete Raum-Zeit-Symmetrien und deren besondere Rolle in der Quantentheorie ebenso wie die wichtigsten Rechenmethoden der Quantenmechanik. Eine Einführung in die Grundlagen der Vielteilchensysteme, speziell der Viel-Fermionensysteme, bildet den Abschluss. Allerdings ist die Stoffmenge umfangreicher als das, was man erfahrungsgemäß in einer einsemestrigen, vierstündigen Vorlesung behandeln kann. Die Dozentin, der Dozent wird also eine gewisse Auswahl treffen müssen und die übrigen Abschnitte als ergänzende Lektüre empfehlen.

Das Buch enthält eine Reihe von Aufgaben, von denen einige mit Hinweisen, andere mit ausführlichen Lösungen versehen sind. Viele nichttriviale, physikalisch wichtige Beispiele sind vollständig ausgearbeitet und in den Text integriert. Anders als in Band 1 habe ich auf PC-gestützte praktische Aufgaben verzichtet (Aufgabe 2.5 bildet

allerdings eine Ausnahme), weil es bereits spezialisierte Bücher zur Quantenmechanik mit den algebraischen Programmpaketen *Mathematica* bzw. *Maple* gibt, so z. B. [Feagin (1995)] und [Horbatsch (1995)]. Wer seine Kenntnisse und Erfahrungen in der Quantenmechanik durch die Bearbeitung von nichttrivialen und nicht exakt lösbaren Beispielen vertiefen und erweitern möchte, sei auf diese hierfür gut geeigneten Bücher hingewiesen.

Die Lehrbuchliteratur zur Quantenmechanik ist sehr umfangreich, zu umfangreich, um sie auch nur einigermaßen vollständig zitieren zu können. Ich möchte sie in einer etwas summarischen Weise in drei Gruppen einteilen: Die Reihe der „Klassiker“, die Gruppe der eigentlichen, relativ kompakten Lehrbücher und einige besonders umfangreiche Werke mit Handbuchcharakter. Zu den Klassikern gehören unter anderen [Dirac (1996)], [Pauli (1980)], [Heisenberg (1958)], die auch heute noch mit großem Gewinn zu lesen sind und die ich der Leserin, dem Leser mit Nachdruck empfehle. Zur dritten Gruppe gehören [Messiah (1991)], [Cohen-Tannoudji et al. (1977)], [Galindo und Pascual (1990)], die vielleicht für einen ersten Zugang und zum Lernen zu umfangreich sind, die aber als Handbücher für spezielle Fragestellungen und als Zugang zur Originalliteratur sehr gut geeignet sind. Die Literaturliste gibt eine Auswahl von Lehrbüchern in deutscher und englischer Sprache, außerdem einige spezialisierte Monographien zu Teilgebieten der Quantenmechanik (Streutheorie, Relativistische Quantenmechanik, Drehgruppe in der Quantentheorie u. a.) und einige mathematische Texte, anhand derer man die in der Quantentheorie angesprochene Mathematik vertiefen kann.

Einige historische Anmerkungen zur Quantenmechanik und zur Quantenfeldtheorie findet man im Anhang zu Band 4, der die quantisierten Felder von den Symmetrien bis zur Quantenelektrodynamik behandelt. Diese dritte Auflage ist in vielen Einzelheiten überarbeitet. Neu ist ein Abschnitt über korrelierte Zustände und Elemente der Quanteninformation.

Auch der in diesem Band behandelte Stoff ist durch die „Feuerprobe“ meiner Vorlesungen im Rahmen des Mainzer Theoriekurses gegangen und sein Aufbau ist dabei mehrfach geändert und – so hoffe ich – ständig verbessert worden. Dies gibt mir Gelegenheit, den Studierenden, meinen Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen sowie meinen Kollegen zu danken, die durch Fragen, Kritik oder Diskussionen viel zu seiner Ausgestaltung beigetragen haben. Besonders erwähnen möchte ich Wolfgang Bulla, der mir sehr nützliche Kommentare geschrieben und einige Verbesserungsvorschläge gemacht hat, die ich gerne aufgenommen habe. Auch Rainer Häußling danke ich herzlich für Hinweise auf Ungenauigkeiten und Druckfehler. Die Zusammenarbeit mit den Teams des Springer-Verlags war wie gewohnt ausgezeichnet, wofür ich stellvertretend Herrn Dr. Th. Schneider in Heidelberg und dem Team der le-tex publishing services GmbH in Leipzig herzlich danken möchte.

Theoretische Physik 2

Nichtrelativistische Quantentheorie Vom
Wasserstoffatom zu den Vielteilchensystemen

Scheck, F.

2013, XIII, 368 S. 50 Abb., Softcover

ISBN: 978-3-642-37715-0