

Buchkritiken

Hendrik van Hees
mailto:hees@physik.uni-bielefeld.de
Fakultät für Physik
Universität Bielefeld
Universitätsstraße 25
D-33615 Bielefeld

9. Mai 2004

Inhaltsverzeichnis

1 Grundlagenlehrbücher	1
1.1 Halliday, Resnick, Walker	1
2 Mathematische Grundlagen der Physik	3
2.1 Sexl, Urbandtke, Relativity, Groups, Particles	3
3 Quantenmechanik	3
3.1 Lehrbuchreihe von Nolting	4
3.2 Ballentine, Quantum Mechanics	5
3.3 Franz Schwabl, Quantenmechanik	7
3.4 Julian Schwinger, Quantum Mechanics	8
4 Quantenfeldtheorie, Elementarteilchen etc.	10
4.1 Kugo, Eichtheorie	10

Diese FAQ enthält meine gesammelten Buchkritiken.

1 Grundlagenlehrbücher

1.1 Halliday, Resnick, Walker

Schon auf den ersten Blick besticht das Buch durch eine sehr sorgfältige Ausstattung und eine übersichtliche Gliederung.

Zielgruppe des Buches sind Studienanfänger der Physik. Es scheint mir aber auch für Studienanfänger, die Physik als „Nebenfächler“ hören müssen, geeignet. Auch den lehrenden Professoren dürfte es eine Fundgrube didaktischer Anregungen sein.

Jedes Hauptkapitel beginnt mit einer mehr oder weniger dem Alltag entnommenen Fragestellung, die dann im Laufe des Kapitels vollständig beantwortet wird. Sodann schließen sich qualitative und quantitative Erklärungen des jeweiligen Themengebietes an. Der Leser wird immer wieder zum selbständigen Mitdenken angeregt, und zwar in Stufen: Jeder Abschnitt schließt mit Kontrollfragen, die man ohne größere Rechnungen beantworten kann, dann folgen vollständig durchgerechnete Übungsaufgaben, wobei die Lösungsstrategien ausführlich ausgearbeitet sind. Schließlich gibt es dann noch Übungsaufgaben, zu denen zum Teil im Anhang Lösungen angegeben sind, zum Teil aber auch nicht, und das ist gut so.

Die mathematische Behandlung entspricht in den Einstiegskapitel ziemlich genau dem, was man auch heute noch von Abiturienten erwarten können sollte. Sie steigert sich naturgemäß in späteren Kapiteln, wobei aber einfache heuristische Erklärungen der wichtigsten Begriffe enthalten sind. Freilich ersetzt dies nicht die Analysis-Grundvorlesung, ohne die man sicher auch dieses Buch nicht vollständig verstehen kann.

Ein weiterer großer Vorteil ist die unhistorische Vorgehensweise. Vielmehr werden die klassischen Themen wie Mechanik, Thermodynamik und Elektrodynamik stets mit deutlichem Seitenblick auf die Quantentheorie dargestellt.

Gerade bei letzterer hat mich die durchweg moderne Auffassung, wie sie in Werken dieser Art nicht oft anzutreffen ist, sehr für das Buch eingenommen. Ausgehend vom Photoeffekt, der durchaus in nunmehr klassischer Weise eingeführt und erklärt wird, wird die Quantentheorie in der Ortsdarstellung (Wellenmechanik) entwickelt. Die einfachsten Potentialmodelle werden durchgerechnet und auch auf heutzutage zugängliche tatsächliche Experimente (Quantentröge etc.) bezogen. Die Bohrschen Bahnen werden kurz als das gewürdigt, was sie tatsächlich sind, nämlich ein historisch wichtiger Zwischenschritt auf dem Wege zur „neuen Quantenmechanik“.

Auch das Wasserstoffatom wird ordentlich besprochen, und die stationären Zustände vollständig angegeben, wobei die Herleitung nur skizziert ist, aber das erwartet man ja auch in einem Experimentalphysikbuch nicht anders.

Es schließen sich Festkörperphysik-, Kernphysik-, Kerntechnik- und ein abschließendes TeilchenastrophysikKapitel an. Die letzteren SSpezialkapitel sind zum Teil arg knapp geraten, und es wird nur ein grober Überblick über bestimmte Aspekte gegeben, was den Fachwissenschaftler vielleicht ein wenig schmerzen mag, der sein Lieblingsgebiet etwas knapp behandelt empfinden wird, aber ich denke, das läßt sich angesichts des doch schon sehr großen Umfangs des Buches nicht ändern.

Etwas ärgerlich sind nur Kleinigkeiten, wie die immer wieder verbreitete Meinung, in der Quantenfeldtheorie werde der Energiesatz kurzzeitig verletzt. Ansonsten ist das Buch arm an Druckfehlern, was für eine Einführungsaufgabe doch nicht hoch genug bewertet werden kann. Sehr störend habe ich die Anwendung der neuen Rechtschreibregeln empfunden, aber das mag von meiner persönlichen Präferenz für die althergebrachte Orthographie verschuldet sein. Als größten sachlichen Mangel empfinde ich das Fehlen eines Literaturverzeichnisses und damit auch Verweise auf ausführlichere Spezialwerke (auch für die Theorie), auf deren Studium das Buch eigentlich sehr neugierig macht.

Kurz und gut, das Werk erfüllt vor allem den wichtigsten Auftrag eines solchen Lehrbuches: Es führt kompetent und spannend in das reiche Gebiet der Grundlagenphysik ein, lehrt die physikalische Denkweise und macht Lust zum Weiterstudieren. Jedenfalls hat mir die Begeisterung des Buches schon einige schlaflose Nächte bereitet.

Man wünscht sich eigentlich nur noch ein ähnlich gutes deutschsprachiges Buch zur theoretischen Physik, das allerdings erst noch geschrieben werden müßte!

2 Mathematische Grundlagen der Physik

2.1 Sexl, Urbandtke, Relativity, Groups, Particles

Verfaßt für <http://www.amazon.de>

Roman Sexl, Helmuth Urbandtke
Relativity, Groups, Particles
Springer Wien, New York

Dieses Buch ist eine sehr gelungene Einführung in die Mathematik und Physik der speziell relativistischen Raumzeit. Die Autoren verstehen es, die benötigte Mathematik, insbesondere die Theorie der Gruppen und ihrer Darstellungen, die zur Beschreibung der auftretenden Symmetrien in der Physik benötigt werden, in einer für Physiker leicht faßbaren Weise zu vermitteln, ohne es an mathematischer Strenge missen zu lassen.

Das Buch beschränkt sich dabei weitgehend auf die klassische Theorie der Punktteilchen und Felder, geht aber im Rahmen der Darstellungstheorie der Poincaregruppe auch auf die so wichtigen fundamentalen Spinor- und Bispinordarstellungen ein. Der mathematische Teil, der die physikalischen Fragestellungen nie aus den Augen verliert, gipfelt in einer kompletten Beschreibung der unitären Darstellungen der vollen Poincaregruppe, wie sie für die Quantenfeldtheorie benötigt werden. Dabei werden auch die diskreten Symmetrien der Bewegungsumkehr und der Raumspiegelungen eingehend berücksichtigt.

Es werden auch einige physikalische Feinheiten geklärt, die in manch anderem Lehrbuch fehlen oder gar falsch dargestellt werden. So wird gleich im Anfangskapitel gezeigt, daß bei Auszeichnung geradlinig gleichförmiger Bewegungen (Inertialsystemen) genau zwei Raumzeit-Strukturen möglich sind, nämlich die Galilei-Newtonsche (keine Grenzgesewindigkeit der Signalausbreitung) und die Einstein-Minkowskische (Existenz einer Grenzgesewindigkeit).

Ein anderes in den wenigsten Büchern gegebenes Resultat ist der Gyrofaktor 2 für das elementare Spin-1/2-Teilchen im Rahmen einer nichtrelativistischen Behandlung (Pauli-Gleichung). Es wird gezeigt, daß dieser Faktor nicht ein Spezifikum der relativistischen Dirac-Gleichungen ist, also die Ursache nicht in der Thomas-Präzession liegt (wie historisch hergeleitet), sondern im Prinzip der minimalen Kopplung des abelschen Eichfeldes (elektromagnetischen Potentials) an den erhaltenen Noetherstrom der Phaseninvarianz der freien Spinorfeldgleichungen, also nichtrelativistisch der Pauligleichung und relativistisch der Dirac-Gleichung.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß das Buch gleichermaßen als Einführung für Studenten, etwa ab dem vierten Semester, in dem gewöhnlich die klassische Elektrodynamik im Curriculum steht, wie als Nachschlagewerk für Experten geeignet erscheint.

3 Quantenmechanik

In diesem Abschnitt sollen Quantenmechaniklehrbücher besprochen werden.

3.1 Lehrbuchreihe von Nolting

Der Besprechung liegen die folgenden Ausgaben zugrunde

W. Nolting, Grundkurs Theoretische Physik 5 Quantenmechanik
Teil 1 Grundlagen
4. Auflage (Vieweg Verlag)

op. cit. Teil 2: Methoden und Anwendungen 2. Auflage (Verlag Zimmermann-Neufang)

Inhalt 1. Band:

1. Induktive Begründung der Wellenmechanik
 2. Schrödinger-Gleichung
 3. Grundlagen der Quantenmechanik (Dirac-Formalismus)
 4. Einfache Modellsysteme
- Anhang: Lösungen der Übungsaufgaben

Inhalt 2. Band:

5. QT des Drehimpulses
 6. Zentralpotential
 7. Näherungsmethoden
 8. Mehr-Teilchen-Systeme
 9. Streutheorie
- Anhang: Lösungen der Übungsaufgaben

Kritik

Aus der Newsgroup wissen ja die meisten Leser, daß ich spezielle Vorstellungen zur Quantentheorie habe, und natürlich ist die Buchkritik daher subjektiv. Das obige Werk habe ich nur überflogen, und es mag ein wenig ungerecht sein, es so oberflächlich zu kritisieren. Gleichwohl, ihr habt's ja nicht anders gewollt, also auf ans Rumkritteln ;-)):

Ich habe das Buch mit gemischten Gefühlen angesehen. Auf der einen Seite ist es eine solide Einführung sowohl in die mathematischen Methoden als auch den physikalischen Gehalt. Besonders löblich ist die ungewöhnlich reichhaltige Auswahl an Übungsaufgaben, die jeweils zum Abschluß der einzelnen Kapitel angeboten werden. Das einzig Ärgerliche ist die Tatsache, daß die Aufgaben in aller Ausführlichkeit im Anhang auch gelöst werden. Das verleitet (eigener Erfahrung zufolge) zum allzu frühen Spicken und erschwert es den Assistenten an den Unis, noch ungelöste Übungsaufgaben für die Gruppenübungen zu finden.

Betrachten wir jedoch nun die leider zahlreichen Mängel des Werkes. Zum einen sind die ersten beiden Kapitel, wie Ihr ja wißt, für mich ein Ärgernis, es entspricht aber den ausgetretenen Pfaden der klassischen Lehrbuchliteratur der Quantentheorie.

Dafür versöhnt mich Kapitel 3 wieder ein wenig, wo sogar die allgemeine Bildwahl behandelt wird. Die Interpretation ist ein wenig ungenau ausgefallen, weil Messungen einseitig mit „Filtern“ gleichgesetzt werden. In den meisten praktischen Fällen ist dies aber nur für die Präparation des Ensembles von gleichen Quantensystemen auch tatsächlich der Fall. Die meisten Messungen zerstören sogar das Quantensystem, und man hat hinterher daher keinesfalls das System im Eigenzustand des vollständig gemessenen Satzes von Observablen vorliegen. Auf der anderen Seite vereinfacht die Beschränkungen auf „Filtermessungen“ die ohnedies für den Anfänger schwierigen

Grundlagen. Leider fehlen neuere Betrachtungen zum Interpretationsproblem wie die „entangled states“ (EPR), die Bellschen Ungleichungen und deren experimenteller Status.

Könnte man den ersten Band aber, wenn auch mit nicht ganz reinem Gewissen, dem Anfänger durchaus als Begleitbuch zur Vorlesung oder, insbesondere wegen der gelösten Übungsaufgaben auch als Einstiegsbuch zum Selbststudium, bedingt empfehlen, mehrten sich aber im 2. Band die ärgerlichen Fehler, die leider eine gar lange Tradition haben.

Das beginnt im Kapitel 5.3. Dort wird behauptet, die relativistische Theorie des Elektrons, die zudem noch fälschlicherweise als Einteilchentheorie präsentiert wird, allein sei imstande, die korrekte Pauligleichung (also das nichtrelativistische Spin-1/2 Teilchen mit dem korrekten Gyrofaktor 2) herzuleiten. Die Diracgleichung wird nach alter Väter Sitte also als Einteilchenwellenfunktionsgleichung durch Linearisierung der rel. E-P-Beziehung hergeleitet. Daß das gleiche Vorgehen auch für die Pauligleichung direkt funktioniert scheint dem Autor entgangen zu sein (das findet sich gar in dem ansonsten gar nicht empfehlenswerten Lehrbuch von Greiner). Außerdem läßt es sich auch aus dem allgemeinen Eichprinzip herleiten. Das kann freilich bei dem gänzlich die so wichtigen Symmetrieprinzipien aussparenden Werk nicht auffallen!

Die übrigen Kapitel sind wenig heikle Anwendungsthemen und werden auf solide, wenig spektakuläre Weise behandelt. Positiv fällt die sorgfältige und ausführliche Behandlung der klassischen Umkehrpunkte beim WKB-Verfahren (Sommerfeld, der die historische Priorität beanspruchen darf, wird leider wieder einmal unterschlagen) auf.

Das Buch ist also durchaus dem Anfänger auf seiner Reise zur modernen Physik als Wegbegleiter zu empfehlen, aber wie es sich mit Reiseführern so verhält, ist es keineswegs geeignet, eine Region vollständig zu erfassen, und es muß unbedingt geraten werden, auf modernere Lehrbücher (Sakurai, Ballentine, Schwinger) zurückzugreifen, sobald einmal die Grundlagen verstanden und die Problematik der Quantentheorie, auch in ihren experimentellen und meßtheoretischen Aspekten, durchdrungen werden will. Ich denke aber doch, daß gerade dazu die ausführliche Darstellung auch der Rechenmethoden dem Leser des Nolting ein solides Fundament verschafft.

3.2 Ballentine, Quantum Mechanics

Leslie, E. Ballentine
Quantum Mechanics, A Modern Development
World Scientific
2nd edition, 1998

Inhalt

Das Buch beginnt mit einem Überblick über die mathematischen Grundlagen der Hilbertraum- und Wahrscheinlichkeitstheorie. Ein besonderes Schmankerl des Autors ist eine Erweiterung des Hilbertraums zum „Rigged Hilbert Space“. Dazu unten mehr.

Es folgt eine Behandlung der Formulierung der Quantentheorie sowie die Konstruktion der zur Galilei-Newtonschen Raumzeit gehörigen Observablenalgebra aus den Symmetrieprinzipien (Chpts 2+3). Sodann wird die Ortsdarstellung behandelt, die Schrödingergleichung für einfache Beispiele gelöst und last but not least das Pfadintegral eingeführt. Dann betrachtet er die Impulsdarstellung, den harmonischen Oszillator und den Drehimpuls (Chpts 4-7).

Sodann kehrt der Autor zu grundlegenden Fragen zurück. Es werden Zustandspräparation und -festlegung behandelt. Sodann wird das Meßproblem analysiert, wobei sich der Autor klar für

eine probabilistische Interpretation entscheidet. Es gibt keine „reduction of wave packets“. (Cpts. 8-9).

In den nächsten Kapiteln werden gebundene Zustände, die zeitunabhängige Störungstheorie und Variationsverfahren behandelt (Chpt. 10). Dann ist ein Kapitel geladenen Teilchen im Magnetfeld einschließlich einer Betrachtung des Aharonov-Bohm-Effekts gewidmet (Chpt. 11). Es kommen dann zeitabhängige Probleme, diskrete Symmetrien, der klassische Limes, Phasenraumverteilungen (Wigner-Darstellung), Streutheorie, identische Teilchen zur Sprache (Chpts. 12-18).

Das Buch schließt mit einer Einführung in die Quantisierung des elektromagnetischen Feldes und einer Besprechung von EPR, Bell-Theorem etc. Es folgen noch einige Anhänge, die mit Schurs Lemma, der Irreduzibilität der Heisenbergalgebra, dem Beweis des Wick-Theorems und Lösungen zu ausgesuchten Problemen, das Buch abrunden.

Kritik

Um meinen (zugegebenermaßen noch oberflächlichen Eindruck) zusammenzufassen: Ich bin begeistert! Hier hat sich (endlich nach 75 Jahren) einmal jemand Gedanken gemacht, wie man Quantentheorie modern vermittelt! Es fehlen all die ärgerlichen historischen Kardinalsünden: Man findet in der Fundierung weder das Bohrsche Atommodell noch „Wellenmechanik“, ja noch nicht einmal die leidige kanonische Quantisierung. Es wird vielmehr, wie es sich für ein modernes Lehrbuch gehört, über Symmetrieprinzipien quantisiert. Besonders hübsch fand ich, daß auch die Möglichkeit eines Vektorpotentials allein aus Symmetrieüberlegungen hergeleitet werden kann (ich muß mein eigenes Skript nochmal angucken, ich habe da wohl etwas übersehen!).

Das Buch liefert auch noch mehr Schmankerl, wie „some unusual bound states“, wo Potentiale mit echten Energieeigenzuständen mit Eigenwerten im Kontinuum betrachtet werden und dgl. mehr.

Über die Interpretation der QT läßt sich ja immer noch trefflich streiten, und ich bin von meinem ersten Überblick her noch nicht überzeugt, ob mich die probabilistische Interpretation und die Behandlung des Meßprozesses wirklich begeistert. Offenbar fehlt eine Betrachtung offener Quantensysteme und Decoherence vollständig (schade, aber das Buch ist andererseits ausführlich und dick genug). Er ist aber durchaus fair (für meinen Geschmack ein bißchen zu fair ;-)) gegenüber Alternativinterpretationen wie der Bohmschen Mechanik.

Besonders hervorgehoben sei auch noch die sehr konzise Behandlung des „klassischen Grenzfalles“. Die Quantentheorie geht nach einem geeigneten „coarse graining through measurement“-Prozeß in die klassische Theorie über.

Der einzige Wermutstropfen ist die Behandlung des elektromagnetischen Feldes, die nichtkovariant erfolgt. Das wird jedoch vom Autor in der Einleitung zu Chpt. 19 auch begründet. Allein seine Ignoranz der Wilson(-Kadanoffschen) Interpretation der Renormierungstheorie (die im wesentlichen in einem Zitat Diracs kulminiert), ist höchst ärgerlich, muß aber wohl auf die offenbar irgendwo im quantenoptischen Gebiet gelegenen Arbeitsgebiete (weiß jemand, woran Ballentine konkret forscht?) des Autors zurückgeführt werden, so daß dieser Lapsus verzeihlich ist.

Alles in allem stellt das Buch eine in sich logisch geschlossene Darstellung der Quantentheorie mit einer für die Einführungsvorlesung an einer deutschen Universität hinreichenden Anzahl konkreter Beispiele und Übungsaufgaben (auch gelöster!) dar und kann uneingeschränkt für Studenten (und den die Vorlesung vorbereitenden Dozenten :-)) empfohlen werden.

Es ist sicherlich verglichen dem unten rezensierten Buch von Schwabl ein Steilkurs, aber man muß ja nicht immer den Trivialisierungsversuchen der deutschen Bildungspolitik Vorschub leisten!

3.3 Franz Schwabl, Quantenmechanik

Natürlich habe ich meine Vorurteile betreffs dessen, was ich gerne in einem einführenden Lehrbuch zur Quantenmechanik lesen möchte (vor allem auch, was ich eben **nicht** lesen möchte), und diese Vorurteile sind in der NG ja auch hinreichend bekannt, will sagen, natürlich gibt das folgende nur meine persönliche Meinung wider und sollte nicht der Beleidigung der großen Fangemeinde des og. Lehrbuchs dienen. Ich versuche die Sache in zwei Teile zu trennen, einmal eine neutrale Inhaltsangabe und dann eine meinungsabhängige Kritik.

Inhalt

Das og. Lehrbuch stellt eine Einführung in die Quantenmechanik dar und soll laut Vorwort des Autors „Studenten der Physik und verwandter Fachgebiete ab dem 4. oder 5. Semester“ dienen.

Das Buch gliedert sich in eine kurze Einleitung zu den historischen und experimentellen Grundlagen und führt dann sogleich in die Welt der Wellenfunktion und die Schrödingersche Formulierung der Quantenmechanik ein. Daran schließt sich die Behandlung einfacher eindimensionaler Probleme (harmonischer Oszi, Potentialstufen, Tunneleffekt, Potentialtopf, Resonanzen) an.

Sodann ist ein kurzes Kapitel der Unschärferelation gewidmet. Anschließend werden der Drehimpuls und Zentralpotentiale (mit ausführlicher Behandlung des Wasserstoffproblems), sowie die Bewegung im elektromagnetischen Feld behandelt.

Dann folgt je ein Kapitel über „Operatoren, Matrizen, Zustandsvektoren“, „Spin“, „Addition von Drehimpulsen“, „Näherungsmethoden für stationäre Zustände“, „Relativistische Korrekturen“, „Atome mit mehreren Elektronen“, „Zemans-Effekt und Stark-Effekt“, „Moleküle“, „Zeitabhängige Phänomene“, „Zentralpotential II“, „Streutheorie“, „Supersymmetrische Quantentheorie“, „Zustand und Meßprozeß in der Quantenmechanik“.

Das Werk schließt mit einem Anhang über mathematische Hilfsmittel, „Kanonischer und kinetischer Impuls“, Algebraische Bestimmung der Drehimpulseigenfunktionen, Tabellen und Periodensystem.

Kritik

Man muß Lehrbücher über Quantenmechanik in mindestens zweierlei Hinsicht betrachten. Zum einen ist zu klären, inwieweit die physikalische Begründung des Formalismus in sich geschlossen erscheint, zum anderen ob die methodischen Grundlagen für die praktische Anwendung stringent vermittelt werden.

Zu letzterem bleiben bei dem og. Lehrbuch kaum Wünsche offen, was die Wellenfunktionsdarstellung betrifft. Die Rechnungen sind hinreichend ausführlich, um dem Anfängerstudenten genügend Rückhalt beim Nachvollziehen zu geben. Die mathematische Argumentation dabei ist relativ klar.

Ein anderer Punkt ist die physikalische Begründung und die mathematische Durchführung der Theorie, und da läßt das Werk doch einiges zu wünschen übrig. Zum einen folgt es den ausgetretenen Pfaden der herkömmlichen Lehrbuchliteratur, und man fragt sich daher, warum das Buch überhaupt geschrieben wurde. Man kann die gleiche Behandlung, freilich mathematisch viel besser begründet schon in Sommerfelds Klassiker „Atombau und Spektrallinien“ oder gar in Schrödingers Originalarbeiten finden. Die letzteren haben wenigstens den Vorteil, daß nicht in haarsträubender Weise mit Distributionen verfahren wird, wie es hier einmal mehr geschieht, sondern auf der Basis des Lehrbuchs von Courant und Hilbert über die mathematischen Methoden der Physik argumentiert wird.

Einmal mehr wird auch der Darstellung der Theorie durch Wellenfunktionen allzu deutlich Rech-

nung getragen. Die darstellungsfreie Behandlung, die allgemeiner ist und die Strukturen deutlicher hervortreten läßt, kommt viel zu kurz. Eine vollständige Behandlung der Bildtransformationen darf man dann natürlich gar nicht mehr erwarten (imho wird dieser Punkt nur in Fick, Einführung in die Grundlagen der Quantentheorie, vollständig und korrekt behandelt).

Was die an sich interessanten Grundlagenfragen, z.B. zum Meßprozeß, betrifft, ist das Buch vollkommen unbrauchbar. Es fehlen auch vollständig jegliche Hinweise auf die in der modernen Physik so wichtigen Symmetrieprinzipien. Noch nicht einmal auf die Rolle der Eichinvarianz für die elektromagnetische Wechselwirkung wird eingegangen, was eigentlich heutzutage nicht mehr hinnehmbar ist. Gleiches gilt für die Verwendung der sog. „kanonischen Quantisierung“.

Als Resumee kann man dem Werk allenfalls bescheinigen, daß es das, was es bringt, relativ ordentlich behandelt. Es ist aber für eine moderne Vorlesung über die Quantenmechanik nur bedingt zu empfehlen, weil es weder die Symmetrieprinzipien noch den Hilbertraumformalismus in ausreichender Form vermittelt. Positiv zu vermerken ist allerdings der Verweis auf Originalliteratur.

Einmal mehr fragt man sich, warum gerade dieses Lehrbuch sich einer solch großen Beliebtheit unter der Studentenschaft erfreut, obwohl es die moderneren Aspekte, wie oben beschrieben, vollständig vernachlässigt.

Verglichen mit dem Sakurai (Modern Quantum mechanics) muß man gar von der Verwendung dieses Lehrbuchs für die Einführung in die Quantenmechanik gänzlich abraten, denn wenn es besseres gibt, warum soll man dann ungenügendes empfehlen?

3.4 Julian Schwinger, Quantum Mechanics

Buchbesprechung, verfaßt für <http://www.quanten.de>

"Der Autor ist bekannt: Es handelt sich um einen der Mitbegründer der moderneren Quantenelektrodynamik (1948-1950). Er lebte von 1918-1994, ist in NY geboren und war in gewisser Weise in seinem physikalischen Denken und Werk ein Antipode von Richard Feynman.

Er war sehr formal und hat nie Feynmandiagramme benutzt. Allerdings war er auch praktisch relevanten Rechnungen durchaus zugetan und hat als erster die Strahlungskorrektur zum magnetischen Moment des Spin-1/2-Teilchens (Elektrons), also den Einschleifendreiervertex in der minimalen QED berechnet. Er war an der Entwicklung der allgemeinen Renormierungstheorie beteiligt und hat unabhängig von Tomonaga das Konzept des „time-slicing“, also die Einführung eines skalaren Zeitparameters, in die Relativitätstheorie entwickelt. Er hat zusammen mit Tomonaga und Feynman den Nobelpreis für die Begründung der modernen relativistischen Quantenfeldtheorie erhalten (wenn ich mich im Datum nicht irre, war das der Nobelpreis 1965).

Das vorliegende Buch ist vom Herausgeber sehr sorgfältig ediert und stellt die Zusammenfassung mehrerer von Schwinger selbst verfaßter Skripten zur Einführung in die Quantentheorie dar. Es ist also für die Grundvorlesung im Theoriekurs (an den meisten deutschen Unis dürfte das im 5. Semester sein, in Darmstadt, wo ich studiert habe, gab es vorher schon einen Einführungskurs im 4. Semester).

Der formale Inhalt selbst folgt weitgehend dem klassischen Schema eines solchen Kurses, allerdings mit einigen Unterschieden in der Darstellung und in der physikalischen Auffassung des Formalismus' der Quantentheorie. Soweit mein mangelndes Englisch dies zuläßt, kann ich sagen, daß es zunächst einmal eine sehr sorgfältig durchdachte Sprache ist, der man anmerkt, daß jeder

Satz wohlformuliert ist, ohne daß dies auch nur im entferntesten schwerfällig wirkt.

Gehen wir den Inhalt kurz durch, soweit ich das beim ersten Lesen erfassen konnte:

Das Buch wird durch einen längeren Prologue eingeleitet, der keine einzige Formel enthält. Normalerweise lese ich so etwas nicht, allerdings ist dieses Vorwort eine Ausnahme. Es handelt sich um die konzise Zusammenfassung der Auffassung Schwingers zur „Interpretation“ des quantentheoretischen Formalismus, der schon im Untertitel des Buches „Symbolism of Atomic Measurements“ zusammengefaßt ist.

Er führt genau aus, was eine Messung in einem atomistischen Weltbild der Physik bedeutet, nämlich die Unvermeidbarkeit von Störungen des Systems durch die Messung, was bekanntlich zu der berühmten Folgerung führt, daß nicht alle möglichen Observablen eines Quantensystems simultan scharfe Meßwerte zugeordnet werden können. Mißt man eine Observable sehr genau, werden die Werte anderer Observablen umso weniger bestimmt, und der Experimentaufbau entscheidet wesentlich, welchen Aspekt des Systems man gerade erfaßt.

Er betont sogleich, daß die Quantentheorie vollständig kausal ist, d.h. daß bei exakt gegebenem Anfangszustand des Systems und bei Kenntnis der einwirkenden Kräfte der Zustand desselben zu jedem Zeitpunkt exakt bekannt ist, wie auch in der klassischen Mechanik. Die Theorie ist allerdings nicht deterministisch, weil ja eben aufgrund der unvermeidlichen nicht zu vernachlässigenden aber auch in ihrer Wirkung auf manche Observablen unvorhersehbaren Einwirkung des Meßapparats auf das zu vermessende Objekt, nicht alle Observablen zugleich scharfe Werte haben können. Die Quantentheorie ist nun nach Schwingers Auffassung nichts anderes als die formal-idealisierte Beschreibung der Messungen an Quantensystemen: „This symbolization of atomic measurements is quantum mechanics, developed by Heisenberg, Born, Schrödinger and others, essentially in the years 1925 to 1927, still very distant from our present point of view.“

Der eigentliche Quantentheoriekurs beginnt mit einer mathematischen Analyse des vorgestellten Konzepts des Meßprozesses. Dieses Kapitel ist sozusagen „Präquantentheorie“, denn es wird keineswegs einfach der Hilbertraum postuliert und dann a posteriori der Nachweis geführt, daß der Hilbertraumformalismus tatsächlich genau die Phänomene beschreibt. Vielmehr wird von dem im Prolog ausführlich dargestellten Prinzip der Messung eines Quantensystems ausgehend der Bra-Ket- (und damit letztlich natürlich der Hilbertraumformalismus) entwickelt und anhand von Stern-Gerlach-Experimenten (SGE) illustriert. So entsteht in der Tat die Quantentheorie, wie wir sie alle kennen, als „Symbolism of Atomic Measurements“. Es ist für mich die Erfüllung des didaktischen Traums, die Quantentheorie ohne heuristische Hilfsmittel aus der sog. „Wellenmechanik“ oder irgendwelcher Korrespondenzprinzipien zur klassischen Physik, die bekanntlich zur „Kopenhagener Verwirrungsphilosophie“ (Einstein) führen, zu begründen.

Es wird zunächst sauber mit diskreten beschränkten Raumgittern mit periodischen Randbedingungen gearbeitet (so daß Ort und Impuls zunächst diskrete Variablen sind) und später der Kontinuumsimes in mathematisch sauberer Weise durchgeführt. Ohne unnötigen mathematischen Ballast wird so die nichtrelativistische Quantentheorie, auf die sich das Lehrbuch erklärtermaßen beschränkt, mathematisch sauber durchgeführt, insbesondere die Separabilität des Hilbertraums über Zustände stationärer Unschärfe (Eigenzustände des harmonischen Oszillators). Das erste „Quarter“, „Quantum Kinematics“ genannt, schließt mit einer detaillierten Analyse des Drehimpulses. Dank des berühmten Schwingerschen Oszillatormodells, das aus der bekannten Behandlung aus der Drehimpulsalgebra (Liealgebra der $SO(3)$) hergeleitet wird, gestalten sich auch die sonst schwierig aussehenden Rechnungen (z.B. zu Clebsch-Gordan-Koeffizienten) elegant und einfach. Den krönenden Abschluß bildet die vollständige Erläuterung der Galileiinvarianz und

der Begründung des „Hamilton Operator for a system of elementary particles“.

Das zweite Quarter (das Buch ist nach einer Vorlesung, die bei Schwinger offenbar 3 Quarters umfaßte, gegliedert) ist mit „Quantum Dynamics“ überschrieben und in einem „Quantum Action Principle“ benannten (natürlich ist es Schwingers Quantenwirkungsprinzip, nur war Schwinger so bescheiden, es nicht so zu nennen) formuliert. Es werden damit die verschiedenen „Bilder“ der Quantentheorie leicht verständlich.

Es schließen sich einige elementare Beispiele an, die, obwohl es die altbekannten Probleme sind (freies Teilchen, konstante Kraft, Harmonischer Oszillator, WKB-Verfahren, Rayleigh-Ritzsches Variationsprinzip), trotzdem spannend dargestellt werden.

Der Harmonische Oszillator wird auch noch ein ganzes Stück weiter behandelt, als man es sonst gewohnt ist, insbesondere werden explizit zeitabhängige, getriebene Oszillatoren betrachtet. Das Kapitel schließt mit einer atemberaubend schönen Behandlung des Wasserstoffproblems (Zurückführung auf den 2dim. isotropen Oszillator in Polarkoordinaten). Dann wird auch noch in parabolische Koordinaten umgerechnet und die klassische Störungstheorie des Starkeffekts und des Zeemaneffekts besprochen. Das Kapitel schließt mit einer exakten Behandlung der Rutherfordstreuung.

Das dritte Quarter behandelt „Interacting Particles“, also Vielteilchensysteme (natürlich angefangen mit dem Zweiteilchenproblem). Es werden identische Teilchen mit Hilfe von Erzeugungs- und Vernichtungsoperatoren eingeführt, Vielelektronenatome in den wichtigsten Näherungen behandelt (Hartree-Fock, Thomas-Fermi).

Das Werk schließt mit einer vollständigen Behandlung der sog. „nichtrelativistischen“ QED, also der Behandlung der Strahlung von Atomen, bei denen die Elektronen nichtrelativistisch behandelt werden dürfen, bis hin zur Lambshift.

Abgerundet wird das Buch durch eine umfassende Sammlung von 351 Übungsaufgaben. Allerdings fehlen, der amerikanischen Tradition folgend, jegliche Lösungshinweise.

Es ist zu hoffen, daß dieses Buch weiteste Verbreitung im universitären Unterricht findet. Es ist aber auch ohne weiteres zum Selbststudium geeignet, erfordert aber einige mathematische Vorkenntnisse. Wer jedoch Spaß an einer klaren, Irrwege vermeidenden modernen Einführung in die Quantentheorie hat, ist mit dem Buch bestens bedient. Man hätte sich eine Fortsetzung in einem zweiten Band, in dem dann auch die relativistische Quantenfeldtheorie in didaktischer Weise aufbereitet präsentiert wird. Aber dafür stehen ja schon die drei Bände von Steven Weinberg „Quantum Theory of Fields“ zur Verfügung.

4 Quantenfeldtheorie, Elementarteilchen etc.

4.1 Kugo, Eichtheorie

Verfaßt für <http://www.amazon.de>

Taichiro Kugo
Eichtheorie
Springer-Verlag Berlin Heidelberg
1997

Das Buch ist von einem der Mitentwickler der Formulierung von Eichtheorien im kovarianten Operatorformalismus geschrieben. Es stellt daher eine ideale Ergänzung anderer Lehrbücher über das gleiche Gebiet dar, weil diese meist den Zugang über das Pfadintegral wählen. Es ist außerdem in didaktischer Hinsicht vorbildlich geschrieben und bietet einen sehr tiefen Einblick in die mathematische Struktur der Eichtheorien, der das Verständnis ungemein fördert. Die richtige Zielgruppe dürften daher Studenten höherer Semester und Wissenschaftler vom Fach sein, die sich bereits mit der Quantenfeldtheorie der Elementarteilchen beschäftigt haben.

Der Text ist klar geschrieben und erklärt ausführlich die wesentlichen Ideen, die zum Verständnis des Standardmodells der Elementarteilchen notwendig sind, wobei die grundlegende Behandlung der Poincaregruppe ein wenig ausführlicher hätte ausfallen dürfen, was jedoch leicht aus Weinbergs „Quantum Theory of Fields“ ergänzt werden kann.

Auch die Renormierungstheorie wird sehr allgemein und systematisch nach der BPHZ-Methode behandelt, wobei an den formalen Stellen auf die Originalliteratur verwiesen wird, was für ein einführendes Lehrbuch gerechtfertigt erscheint, zumal diese Formalia in der Praxis nicht benötigt werden. Durch eine ausführliche Behandlung der massenunabhängigen Renormierungsschemata anhand des linearen Sigmamodells wird auf die Anwendung auf Eichtheorien vorbereitet.

Weitere Highlights stellen dann der vollständige moderne Beweis der Renormierbarkeit von Eichtheorien im Wigner-Weyl- sowie im Nambu-Goldstonemodell, der auf die Arbeiten von Becchi, Rouet, Stora und Tyutin zurückgeht und zuerst in dieser Form von Zinn-Justin geführt wurde, sowie die Behandlung der Anomalien dar.

Etwas zu kurz kommen für meinen Geschmack die Anwendungen der Theorie auf die Elementarteilchenphysik und die Wilsonsche Interpretation der Renormierungsgruppe.

Ein großer Mangel des Buches stellt das wirklich ungenügende Lektorat dar. Hier ist man vom Springer-Verlag eigentlich besseres gewohnt. Anfängen von trivialen Druckfehlern und ärgerlichen Mißverständnissen (der Autor (oder der Übersetzer) meint z. B., Jona-Lasinio seien zwei Personen, oder es ist von Renormalisation statt von Renormierung die Rede), reichen die zahlreichen Druckfehler leider auch bis in wichtige Formeln hinein, so daß dem Leser unbedingt empfohlen werden muß, alles, was er in eigenen Arbeiten verwenden will, sorgfältig nachzurechnen!