

Rezension zu Jürgen Freund, Spezielle Relativitätstheorie für Studienanfänger

von Mike Bernhardt, mikebernhardt@web.de

November 2004

Das 240-seitige¹, in 36 recht kurzen Kapiteln (im Schnitt 6 bis 7 Seiten pro Kapitel) verfasste Buch ist in vier Teile gegliedert: I. Einführung, II. Kinematik, III. Dynamik, IV. Vierervektoren und Elektromagnetismus. Der Autor verzichtet bewusst auf eine Darstellung der historischen Entwicklungen, die zur Speziellen Relativitätstheorie führten. Ihm geht es um das Verständnis der Theorie, von ihren Grundlagen bis hin zu ihren Anwendungen in klassischer Mechanik und Elektrodynamik. So werden in Teil I ohne große Umschweife die grundlegenden Postulate der Speziellen Relativitätstheorie und Konzepte wie Zeitdilatation, Längenkontraktion, Lorentz-Transformation und Minkowski-Diagramme eingeführt. Dem Autor gelingt es, in diesem Teil des Buches einen sehr anschaulichen Zugang zur Speziellen Relativitätstheorie zu schaffen, der fast ausschließlich auf dem Niveau der Schulmathematik bleibt (allerdings wird Kenntnis der Taylor-Entwicklung vorausgesetzt, welche in den Schulen evtl. noch nicht behandelt wird).

In Teil II behandelt der Autor neben Standardthemen wie der Transformation von Geschwindigkeiten, der Aberration des Lichtes, dem Doppler-Effekt und dem Zwillingsparadoxon auch ein Thema, welches in den meisten anderen gängigen Lehrbüchern zur Speziellen Relativitätstheorie nur am Rande Erwähnung findet, weil es eher zum Hoheitsgebiet der Allgemeinen Relativitätstheorie gezählt wird, und zwar das Thema der relativistischen Beschleunigung. Der Autor sagt dazu: "[Es] könnte der Einwand erhoben werden, dass die gerade gemachte Beschreibung beschleunigter Bewegung den Rahmen der Speziellen Relativitätstheorie sprengt, da sie eine Theorie der Inertialsysteme ist. Dieser Einwand ist falsch! Voraussetzung für die Spezielle Relativitätstheorie ist lediglich, dass die Bezugssysteme, in denen die Rechnungen gemacht werden, Inertialsysteme sind." (S.71) Derlei lehrreiche Kommentare macht der Autor an mehreren Stellen des Buches, und geht damit bewusst auf Verständnisprobleme ein, mit denen sich nicht nur Anfänger auf diesem Gebiet der Physik möglicherweise konfrontiert sehen.

Die sehr interessante (und wie oben erwähnt: seltene) Darstellung der relativistischen Beschleunigung, findet eine ebenso interessante Anwendung, nämlich in einer detaillierten Berechnung des Rakete-Seil-Problems oder Bell'schen Problems: Zwei Raketen starten gleichzeitig mit gleicher, konstanter Beschleunigung, haben also – im Laborsystem – einen konstanten Abstand, der mit einem Seil überbrückt sein soll. Das Seil wiederum erfährt vom Laborsystem aus gesehen eine Längenkontraktion. Reißt es? Der Physiker Bell (durch seine Bell'sche Ungleichung in der Quantenmechanik berühmt geworden) hat seinerzeit spaßeshalber Umfragen unter seinen Kollegen im CERN durchgeführt, ob das Seil reißt oder nicht. Das Resultat war keineswegs einstimmig... Ein eigenes Kapitel ist der Berechnung dieses Problems gewidmet, worin Bells Überzeugung, dass das Seil reißt, untermauert wird. Zur Krönung berechnet der Autor im gleichen Kapitel auch noch die Zeitdilatation bei beschleunigter Bewegung und schlägt damit eine Brücke zur Allgemeinen Relativitätstheorie.

Neben der üblichen Behandlung der Lorentz-Transformation für Relativbewegungen in einer Raumdimension, behandelt der Autor in diesem Teil des Buches auch den allgemeinen Fall für Relativbewegungen in beliebiger Richtung und füllt das formelle Ergebnis mit Leben, indem er eines der bekannten Paradoxa, das Stab-Loch-Problem, mit Hilfe der allgemeinen Lorentz-Transformation vorrechnet. Auch diese Rechnung ist wieder in der gewohnten Ausführlichkeit und gut nachvollziehbar durchgeführt. Die mathematischen Anforderungen an den Leser sind in diesem Teil des Buches bereits etwas höher. Es tritt die sinushyperbolicus-Funktion auf, und die Lorentz-Transformation wird in ihrer Matrixschreibweise eingeführt (und mit Drehmatrizen verglichen).

In Teil III geht es dann um die relativistische Behandlung von Masse, Impuls, Kraft und Energie.

¹Diese Rezension bezieht sich auf die Erstausgabe von 2004, erschienen im vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, Preis: 29,80 €. Mittlerweile hat der Verlag eine zweite, korrigierte Auflage herausgebracht.

Einsteins berühmte Formel $E = mc^2$ wird hergeleitet, und das lorentzinvariante Raumzeit-Intervall eingeführt, worauf der gesamte letzte Teil des Buches aufbaut.

In Teil IV wird schließlich der Vierervektor-Formalismus eingeführt, mit dessen Hilfe dann zehn wichtige Beispiele zum Rechnen mit dem Energie-Impulsvektor vorgeführt werden, darunter der Compton-Effekt (Streuung eines Photons an einem Elektron), Paarerzeugung (ein Photon zerfällt zu einem Elektron-Positron-Paar) und Bremsstrahlung (inelastischer Stoß eines Elektrons mit einem Atomkern). Durch diese ausführlichen Beispielrechnungen kann der Leser nicht nur viel über relativistische Dynamik (Hochenergiephysik) lernen, sondern bekommt auch ein Gefühl dafür, wie relativistische Rechnungen anzupacken sind.

Zum Schluss begibt sich der Autor auf das Gebiet der Elektrodynamik. Obwohl dies eine klassische Theorie ist, die bereits lange vor Einsteins Geburt vollendet war, erfüllt die Elektrodynamik alle Anforderungen einer relativistischen Theorie. Ihr relativistischer Charakter manifestiert sich in der Forminvarianz der Maxwell'schen Gleichungen bezüglich Lorentz-Transformationen. Diese wichtige Tatsache kann man in allen Büchern zur Elektrodynamik nachlesen, aber meistens wird sie im Rahmen des Tensor-Formalismus (Stichwort: kovariante Darstellung der Maxwell'schen Gleichungen) behandelt. Im letzten Kapitel dieses Buches wird die Forminvarianz auf einfachem Weg, nämlich direkt aus dem Transformationsverhalten des elektrischen und magnetischen Feldes gezeigt.

Da sich das Buch an Studienanfänger richtet (d.h. vor allem Studierende der Physik ab dem 2. Semester), wurde auf den Tensor-Formalismus, der unerlässlich für die Allgemeine Relativitätstheorie ist, gänzlich verzichtet. Der Autor sagt dazu: „Ein zu frühes Einführen der Tensorrechnung wirkt in jedem Falle abschreckend und ist ganz bestimmt einer der Hauptgründe, warum die Relativitätstheorie unnötigerweise einen so elitären Beigeschmack hat.“ (S. ix) Dieses Zitat vermittelt einen Eindruck von der Absicht des Autors, die Spezielle Relativitätstheorie seinen Lesern durch eine einfache und anschauliche Darstellung verständlich zu machen, sie sozusagen zu entzaubern. Für einen ersten Zugang verzichtbaren mathematischen Ballast wirft er frühzeitig von Bord und legt stattdessen Wert darauf, die vielen Beispielrechnungen in großer Ausführlichkeit, d.h. auch mit (fast) allen Zwischenschritten, vorzuführen. Dazu sagt er: „Das Lernen von Physik ist nämlich im weitesten Sinne mit dem Erlernen einer Fremdsprache zu vergleichen. Kein Sprachbuch erschöpft sich aber in der Darlegung der Grammatik und des Wortschatzes und überlässt die Bildung der ersten Sätze den Lernenden selbst.“ (S. viii)

Der Text ist reichhaltig mit Abbildungen durchzogen – insgesamt 99, davon die Hälfte Diagramme, in denen Formeln und Rechenergebnisse graphisch dargestellt werden. Das Layout ist eher schlicht gehalten – Text und Abbildungen sind durchgehend schwarzweiß, keine aufwendigen Bilder oder Fotos. Positiv fällt auf, dass alle wichtigen Formeln und Ergebnisse mit grauen Kästen unterlegt sind, wodurch schnelles Nachschlagen sehr erleichtert wird.

Fazit: Das Buch eignet sich hervorragend als Einstieg in die Spezielle Relativitätstheorie, wie sie an den Universitäten behandelt wird. Der Anfänger auf diesem Gebiet wird behutsam, aber durchaus rasant, mit den relativistischen Konzepten und deren physikalischen Konsequenzen vertraut gemacht und befindet sich schon sehr bald in den Tiefen der Relativistik – ohne den Boden unter den Füßen zu verlieren!