

Irritierende Formulierungen

Zu: „Die Spezielle Relativitätstheorie auf dem Prüfstand“ von Claus Lämmerzahl, März 2005, S. 77

Da ich einigermaßen häufig mit „Widerlegern“ der Speziellen Relativitätstheorie (SRT) zu tun habe, finde ich Herrn Lämmerzahls Artikel sehr nützlich, der Zitate auch von neueren Experimenten angibt, die die Aussagen der Theorie mit hoher Genauigkeit stützen.

Allerdings haben mich bei der Lektüre einige Formulierungen doch irritiert.

So schreibt Herr Lämmerzahl etwa, dass die Newtonsche Gravitationstheorie nicht mit der SRT verträglich sei, weil die instantane Ausbreitung der gravitativen Wirkung ein Bezugssystem auszeichne und damit dem Relativitätsprinzip widerspreche. Nun genügt aber die Newtonsche Theorie auch einem Relativitätsprinzip, nur ist es dort mit den Galilei- und nicht mit den Lorentz-Transformationen verknüpft. Sieht man sich den genauen Wortlaut des Postulats an, das Einstein an den Anfang seiner Theorie stellt, so ist man genötigt festzustellen, dass dieselbe Formulierung auch in der Newtonschen Mechanik richtig ist, dass es sich also im Grunde in beiden Theorien um *dasselbe* Prinzip handelt. Die Entscheidung zugunsten der Lorentz-Transformationen fällt

aufgrund des zweiten Postulats, der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit. Die Newtonsche Gravitationstheorie widerspricht also nicht dem Relativitätsprinzip, sondern erst der Kombination der beiden Einsteinschen Postulate. Sonst könnte übrigens ein Verfechter der Newtonschen Mechanik mit dem gleichen Recht behaupten, dass die SRT nicht deren Relativitätsprinzip genüge und damit ein Bezugssystem auszeichne.

Nicht ganz passend finde ich die Erwähnung der Experimente von Herrn Nimtz als eines Beispiels für die „Propagation von Signalen mit Überlichtgeschwindigkeit“, die die SRT nicht verletze. In diesen Experimenten bewegen sich weder Signale noch Energie mit Überlichtgeschwindigkeit. Ein viel schöneres Beispiel für eine Art überlichtschneller Kommunikation stellen Experimente vom Typ Einstein-Podolsky-Rosen dar. Hier gibt es mit den Bellschen Ungleichungen einen Beweis, dass die auftretenden Quantenkorrelationen nicht mit lokalen realistischen Theorien verträglich sind. Daraus könnte man bei der zu erwartenden endgültigen Bestätigung dieser Korrelationen (durch Schließen des sog. *detector loophole*) folgern, dass in solchen Experimenten Information (nicht im Shannonschen Sinn) überlichtschnell übertragen wird. Die SRT könnte damit unter Voraussetzung

eines abgeschwächten Kausalitätsprinzips leben, das im Wesentlichen im Verbot kausaler Schleifen bestünde. Die sind ja wegen der prinzipiellen Unkontrollierbarkeit des Ergebnisses der quantenmechanischen Einzelmessung mithilfe dieser Experimente nicht konstruierbar.

Schließlich habe ich mich gewundert, wie bereitwillig Herr Lämmerzahl andere Synchronisierungen als gleichberechtigt neben die Einsteinsche stellt. Natürlich ist es wahr, dass die SRT die Einsteinsche Synchronisierung nicht *erzwingt*, aber sie legt sie doch in einer Weise nahe, die eine klare Bevorzugung bedeutet. Fasst man das zweite Postulat so auf, wie es Einstein gemeint hat, also als eine Aussage über die Lichtgeschwindigkeit *per se* und nicht über ein Konstrukt wie die Zwei-Wege-Lichtgeschwindigkeit¹⁾, so braucht man zur eindeutigen Synchronisierung aller in einem festen Inertialsystem ruhenden Uhren nur eine Annahme über die Messbarkeit von Längen zu machen. Die Zeit, die eine von einer festen Uhr in einer gegebenen Entfernung stehende anzeigen muss, um mit ihr synchron zu sein, ist dann durch das zweite Postulat festgelegt. Was in *einem* Inertialsystem geht, muss nach dem ersten Postulat, dem Relativitätsprinzip, in *allen* gehen.

Gegeneinander bewegte Uhren sind so nicht ohne weiteres synchronisierbar, müssen aber auch gar nicht synchronisiert werden. Verlangt man dies zusätzlich, so

1) Natürlich gibt es auch Evidenz für die Konstanz der Einweg-Lichtgeschwindigkeit, etwa die von Herrn Lämmerzahl erwähnte Abwesenheit von chronologischen Anomalien in der Bahnbeobachtung von Doppelsternen. Die erste Messung der Lichtgeschwindigkeit durch Olaf Römer war eine Einwegmessung.

Prof. Dr. Klaus Kassner, Institut für Theoretische Physik, Universität Magdeburg

Die Redaktion behält sich vor, Leserbriefe zu kürzen.

kommt man zu alternativen Synchronisierungen wie der Lorentz-schen, die im Grunde darin besteht, die Uhren eines Inertialsystems als für alle verbindlich zu erklären, um den Preis einer Aufgabe des gleichen physikalischen Verfahrens der Längenmessung in allen Inertialsystemen. Eine solche Einführung einer absoluten Zeit widerspricht, wenn nicht dem Buchstaben, so doch dem Geist des Relativitätsprinzips. Meiner Ansicht nach sollte man die SRT als eine Theorie der Struktur der Raumzeit in Abwesenheit von Gravitationsfeldern sehen. Dann ist die Einsteinsche Synchronisierung praktisch zwingend und zwar nicht als Methode, sondern im Ergebnis: viele denkbare Synchronisationsmethoden (durch symmetrische Bewegung von Uhren, durch Verwendung von Schall statt Licht) führen zu identischen Gleichzeitigkeitsbeziehungen. Dass eine solche Synchronisierung in der *Allgemeinen* Relativitätstheorie nicht mehr eindeutig möglich ist und Symmetrien des Problems gelegentlich andere Synchronisationsverfahren nahelegen (z. B. auf einer rotierenden Scheibe), steht auf einem anderen Blatt – solche Synchronisierungen führen auch in der Regel zu nichtkonstanter Lichtgeschwindigkeit in nicht frei fallenden Systemen.

KLAUS KASSNER

Erwiderung von Claus Lämmerzahl:

Wie Herr Kassner korrekt sagt, gibt es auch in der nichtrelativistischen Physik ein Relativitätsprinzip. Allerdings kann man m. E. aus dem Zusammenhang ersehen, dass in dem Artikel nur das speziell relativistische Relativitätsprinzip gemeint sein kann, da es ja ausgehend von der SRT um die Konsequenzen für z. B. die Theorie der Gravitation ging.

In Bezug auf die Synchronisierung bin ich weitgehend anderer Meinung als Herr Kassner. Wenn man die Arbeiten zur Synchronisierung von Reichenbach über Grünbaum und Winnie bis hin zu Mansouri und Sexl beachtet, ist klar, dass die Synchronisierung eine reine Konvention ist. Alle Experimente zum Test der SRT *müssen* unabhängig von der Synchronisation sein und dürfen insbesondere nur das „Konstrukt“ der synchronisierungsunabhängigen Zwei-Wege-Lichtgeschwindigkeit beinhalten. Das sieht man

besonders klar am Beispiel der berühmten Michelson-Morley- und Kennedy-Thorndike-Experimente, die ja die Isotropie und Konstanz der Zwei-Wege-Lichtgeschwindigkeit, und nur dieser, testen. Über die Einweg-Lichtgeschwindigkeit machen diese Experimente überhaupt keine Aussage. Auch bei Zeitdilatationsexperimenten oder Experimenten zum Doppler-Effekt geht, wie man bei Diskussion des GP-A-Uhrenexperiments oder der Photonenabsorptionsexperimente ganz klar sieht, nur die Zwei-Wege-Lichtgeschwindigkeit ein. Dem Photon ist es bei der Absorption durch ein Atom vollkommen egal, wie der Experimentator seine Uhren stellt.

Beim Test der Unabhängigkeit der Lichtgeschwindigkeit von der Geschwindigkeit der Quelle, wie es mittels Doppelsternen durchgeführt worden ist, ist das Ergebnis durchaus synchronisierungsabhängig. Trotzdem kann man, wenn man alles mit *demselben* Messgerät ausmisst, die Unabhängigkeit der Lichtgeschwindigkeit von der Geschwindigkeit der Quelle nachweisen.

Herr Kassner behauptet, dass das Relativitätsprinzip etwas mit der Synchronisierung zu tun hat. Dem ist nicht so. Wie in dem Artikel ausgeführt, macht das Relativitätsprinzip Aussagen über Effekte, über das Ergebnis von Experimenten. Hier kann man als Beispiel wieder die Absorption von Photonen anführen, ein Effekt, der bei gleicher Wahl von Anfangs- und Randbedingungen in allen Inertialsystemen gleich ablaufen sollte, wobei aber die Photonen und Atome sich wie gesagt nicht darum scheeren, wie die Uhren im Labor gestellt sind. Wenn Herr Kassner von Längen spricht, die er messen will, muss er angeben, welchen Ruhraum er wählt, und das ist wieder äquivalent zu einer Wahl einer Synchronisation, die nicht unbedingt die Einsteinsche zu sein braucht. Seiner Bemerkung „Meiner Ansicht nach sollte man die SRT als eine Theorie der Struktur der Raumzeit in Abwesenheit von Gravitationsfeldern sehen“ kann ich nur zustimmen. Das ist selbstverständlich und wurde in meinem Artikel (und zwar auf Seite 78) gesagt.

Planck und die Quantenhypothese

Zu: „Sehr revolutionär, wie Sie sehen werden“ von David Cassidy, März 2005, S. 39

Der Artikel „Sehr revolutionär...“ hat mir gefallen; vielen Dank. Aber: zu Anfang des Artikels stimmt das Entscheidende nicht! David Cassidy zitiert Max Plancks wichtige Arbeiten von 1900 und 1901, gibt aber leider eine unrichtige Zusammenfassung! Max Planck hat keineswegs zunächst die Quantenhypothese zur Deutung angenommen. So stellen wir die Situation zwar heute in den Vorlesungen dar, denn mit den „diskreten Energieelementen“ als (Einsteins) Ansatz lässt sich Plancks Formel leicht ableiten. Max Planck hatte eine weitaus schwierigere Aufgabe.

Plancks Ableitung (1900) war eine sehr raffinierte, rein thermodynamisch-elektromagnetische Betrachtung. Er „definierte“ die Entropie *S* eines Resonators mit der Schwingungszahl *ν* und der Energie *U*. Darin tauchen zwei positive Konstanten *a* und *b* auf. (Plancks Gl. 41) Er nutzt den zweiten Hauptsatz und die Vermehrung der Entropie. Zum Schluss vergleicht Planck seine Theorie mit den Messungen von Paschen für den Exponenten der Wienschen Formel und erhält so $b = 6,885 \times 10^{-27}$ erg sec. Später wird *b* in *h* umgetauft.

Man weiß, dass sich Max Planck erheblich gegen jegliche Quanten-Interpretation wehrte. Er war vermutlich besorgt, dass so eine diskrete Mathematik entstünde, welche die Stetigkeit der mathematischen Funktionen gefährdet und damit den schönen Differentialgleichungen und so überhaupt der klassischen Physik den Garaus gemacht hätte.

Ich weiß, keiner liest heute mehr die beiden ersten Arbeiten von Max Planck. Wir Physiker verdrängen immer unsere Originalquellen, weil wir Neues stets in ein konsistentes, möglichst einfaches und widerspruchsfreies System einarbeiten. Ein Studium lohnt sich aber, obwohl diese peniblen und genialen Arbeiten nicht einfach zu verstehen sind. Beeindruckend, wie allein klassische Thermodynamik und saubere Messdaten zwangsläufig zur Quantentheorie führten!

HANS-JOACHIM QUEISSER

Prof. Dr. Hans-Joachim Queisser
Max-Planck-Institut für Festkörperforschung, Stuttgart

Dr. Otwin Breitenstein, Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik, Halle