

13. Mögliche Klärungsversuche

Im folgenden Kapitel sollen Möglichkeiten für Versuche beschrieben werden, die sich aufgrund der hier zusammengestellten Darstellungen ergeben. Dazu werden zunächst denkbare Experimente skizziert und anschließend wird versucht, auf Basis realistischer Daten eine Abschätzung zur Größe der generierbaren Messergebnisse vorzunehmen. Die Vorschläge für diese Versuche basieren auf den Überlegungen in Kap. 10 in dem für die Spezielle Relativitätstheorie wichtige Themen behandelt wurden.

Ein Ansatz ergibt sich, wenn für das bekannte Auftreten von Überlichtgeschwindigkeiten beim Tunneleffekt unterstellt wird, dass dabei auch Informationen – hier in Form eines einfachen Impulses – schneller als das Licht übertragen werden können. Dies wäre nur dann erklärbar, wenn im Gegensatz zu den Prämissen der Speziellen Relativitätstheorie ein absolut ruhendes System unterstellt wird. Des Weiteren wird ein Versuch vorgeschlagen mit dem sich klären lässt, ob Synchronisationsunterschiede nach Geschwindigkeitsänderungen tatsächlich vorhanden sind. Hiermit können eindeutige Aussagen zur Relativität der Gleichzeitigkeit gewonnen werden, die, wie bereits in Kap. 11.1 diskutiert, von einigen alternativen Theorien ausgeschlossen werden. Außerdem wird ein Versuch beschrieben, mit dem auf indirektem Wege die relativistische Massenerhöhung nach einem nicht elastischen Stoß nachgewiesen werden kann.

13.1 Messung des Tunneleffekts in verschiedenen Raumrichtungen

Wie bereits in Kapitel 10.1 ausgeführt wurde, sind das Auftreten von Überlichtgeschwindigkeiten und die Spezielle Relativitätstheorie nicht miteinander vereinbar. Sollten Überlichtgeschwindigkeiten tatsächlich auftreten, so ließe sich der auftretende Widerspruch lösen, wenn für den Kosmos ein System absoluter Ruhe angenommen wird. Im Folgenden wird ein Versuch beschrieben, bei dem mittels des Tunneleffekts und damit verbundener Überlichtgeschwindigkeit eine Relativbewegung bezogen auf diesen Ruhezustand nachgewiesen werden könnte.

Zunächst soll der Stand der Diskussionen bezüglich des Messverfahrens dargestellt werden. Für die Messungen wird wie in Kap. 10.1 dargestellt ein Impuls in ein Doppelprisma eingestrahlt und anschließend werden der reflektierte und der getunnelte Impuls miteinander verglichen. Der im Prisma reflektierte Strahl mit nahezu unveränderter Intensität muss dabei mit dem getunnelten Strahl, der eine erheblich geringere Intensität hat,

13. Mögliche Klärungsversuche

bezüglich der Laufzeit verglichen werden. Um dies durchführen zu können ist es erforderlich, den Messeffekt des getunnelten Strahls um ein Vielfaches zu verstärken.

Die gemessenen Werte werden daher zunächst auf gleiche Größe verstärkt (Normalisiert). Eines der großen Probleme bei der Analyse der normalisierten Werte der reflektierten und getunnelten Impulse dieses Experimentes liegt darin, dass es sich bei den Ergebnissen nicht um scharf abgegrenzte Einzelwerte handelt, sondern diese in Form einer Gauß'schen Glockenkurve auftreten und entsprechend interpretiert werden müssen. Als Beispiel für diesen Effekt sind in Abb. 13.1 Literaturwerte eines Experiments mit normalisierten Messergebnissen für reflektierten und getunnelten Impuls dargestellt [64]. Um die Problematik darzustellen wurde – bereits sehr stark überhöht – der „Originalwert“ des Tunnelimpulses hinzugefügt.

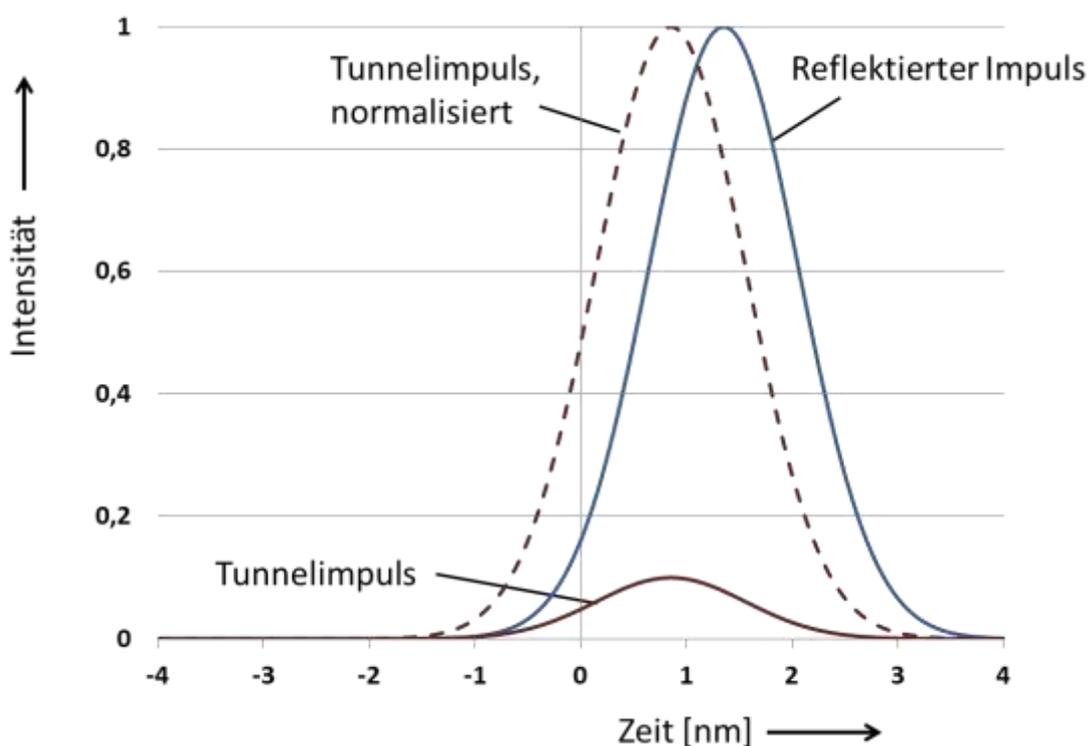


Abb. 13.1 Literaturwerte für normierte Messergebnisse beim Tunnelexperiment [64]
Darstellung von reflektiertem Impuls und Tunnelimpuls.
Originaltunnelimpuls (stark überhöht) wurde hinzugefügt

Bei Auswertung dieser Kurven ergaben sich gemäß G. Nimtz Werte für den reflektierten Impuls $v_R = 0,665c$ und für den Tunnelimpuls $v_T = 4,7c$ [64]. Obwohl auftretende Messeffekte dieser Art, die auch bei anderen Experimenten gefunden wurden, nicht generell angezweifelt werden, wird vielfach jedoch die Ansicht vertreten, dass bei solchen Versuchen zwar Überlichtgeschwindigkeiten auftreten hiermit jedoch keine Datenübertragung schneller als das Licht erfolgen kann. Die hiermit verbundenen Grundlagen wurden bereits in Kap. 10.1 umfassend dargestellt. Unabhängig von den Überlegungen bezüglich der Speziellen Relativitätstheorie sind die auftretenden Effekte demnach von allgemeinem Interesse und sollten geklärt werden.

13.1 Messung des Tunneleffekts in verschiedenen Raumrichtungen

Aufgrund der experimentellen Herausforderungen ist eine eindeutige Klärung sehr schwierig. Der Funktionsverlauf wird allgemein beschrieben durch

$$f(t) = \frac{\exp\left[-\left(\frac{t - \Delta t}{k}\right)^2\right]}{\sqrt{k \cdot \pi}} \quad (13.01)$$

wobei zur Normierung die Einzelwerte auf den Maximalwert der Funktion an der Stelle

$$f_{max} = f(t - \Delta t) \quad (13.02)$$

bezogen werden. Hierbei beschreibt die Konstante k die Breite der Glockenkurve (schmalere Ausbildung mit steigendem Wert für k) und Δt den Abstand des Maximums dieser Funktion zum Ausgangswert $t = 0$.

Es sind in der Vergangenheit bereits mehrfach Messungen mit Doppelprismen durchgeführt worden. Die größten dabei genutzten Abmessungen lagen bei einem Messabstand von 280 mm. Wie bereits diskutiert kann eine Informationsübertragung nur im Zusammenhang mit einem absolut ruhenden System erfolgen. Es ist bekannt, dass sich unser Sonnensystem mit einer Geschwindigkeit von etwa 369 km/s gegenüber der kosmischen Hintergrundstrahlung bewegt. Wird unterstellt, dass dies die Basis des Systems absoluter Ruhe ist, so könnte ein Effekt nachgewiesen werden, wenn Messungen in unterschiedlichen Raumrichtungen durchgeführt werden.

Die Effekte sind jedoch sehr gering. Um dies zu zeigen, wurde auf Basis der Überlegungen aus Kap. 10.1 eine Berechnung der zu erwartenden Effekte vorgenommen und in Tab. 13.1 zusammengestellt. Dabei wurden die Messeffekte für den Wert 280 mm berechnet und es wurde wie von [64] gemessen ein Wert von 4,6c für die Signalgeschwindigkeit angenommen. Daraus ergeben sich dann gemäß Gl. (10.07) die in Tab. 13.1 dargestellten Werte für eine Ausrichtung in Bewegungsrichtung ($t_1 + t_2$) sowie entgegengesetzt dazu ($t_3 + t_4$). Es wird klar, dass die daraus berechneten Zeitdifferenzen noch einmal um 2-3 Größenordnungen kleiner sind als die ohnehin geringfügigen Unterschiede des Standardexperiments.

$t_1 = \frac{a}{\gamma(v_E + v_S)} = \frac{0,28m}{\gamma(4,6 + 0,00123)c}$	$2,02844 \cdot 10^{-10} \text{ s}$
$t_2 = \frac{a}{\gamma(c - v_S)} = \frac{0,28m}{\gamma(1 + 0,00123)c}$	$9,34482 \cdot 10^{-10} \text{ s}$
$t_3 = \frac{a}{\gamma(v_E - v_S)} = \frac{0,28m}{\gamma(4,6 - 0,00123)c}$	$2,02953 \cdot 10^{-10} \text{ s}$
$t_4 = \frac{a}{\gamma(c + v_S)} = \frac{0,28m}{\gamma(1 + 0,00123)c}$	$9,32186 \cdot 10^{-10} \text{ s}$
Gl. (10.07): $t_T = t_1 + t_2 - t_3 - t_4$	$2,19 \cdot 10^{-12} \text{ s}$

Tab.13.1: Maximal zu erwartende Messergebnisse für Prismenanordnung gemäß Abb. 10.1 mit $a = 280 \text{ mm}$, $v_E = 4,6c$, $v_S = 369 \text{ km/s}$

13. Mögliche Klärungsversuche

Um die Aussagefähigkeit des Versuchs zu vergrößern, müsste demnach einer der Parameter optimiert werden. Dies könnte zum einen durch eine starke Verkürzung der Impulslänge, z. B. unter Nutzung von Femtolasern erreicht werden. Hier sind jedoch Grenzen in der Impulsaufnahme der verwendeten Prismen sowie in der Komplexität der zu verwendenden Messtechnik zu sehen. Des Weiteren ist die Verlängerung des Messweges zur Erhöhung des Wertes für Δt möglich, hierbei ist aber die extreme Signalabschwächung mit steigendem Abstand der Prismen zu berücksichtigen.

Eine Durchführung auf Basis dieses Versuchsaufbaus erscheint daher nicht sinnvoll und muss zuvor durch geeignete Modifikationen deutlich optimiert werden. Hierzu wird der in Abb. 13.2 dargestellte Vorschlag gemacht. Hierbei wird statt der üblichen einfachen Einstrahlung eines Impulses und dem Vergleich zwischen gespiegeltem und getunneltem Signal ein zweiter Strahl spiegelsymmetrisch eingeleitet. Bei der Auswertung des Versuchs werden nur die getunnelten Anteile dieser Strahlen verstärkt und miteinander verglichen. Auf diese Weise werden alle Interpretationsprobleme vermieden, die sich bei dem zuvor erforderlichen Vergleich zwischen gespiegeltem und getunneltem Strahl ergeben hatten.

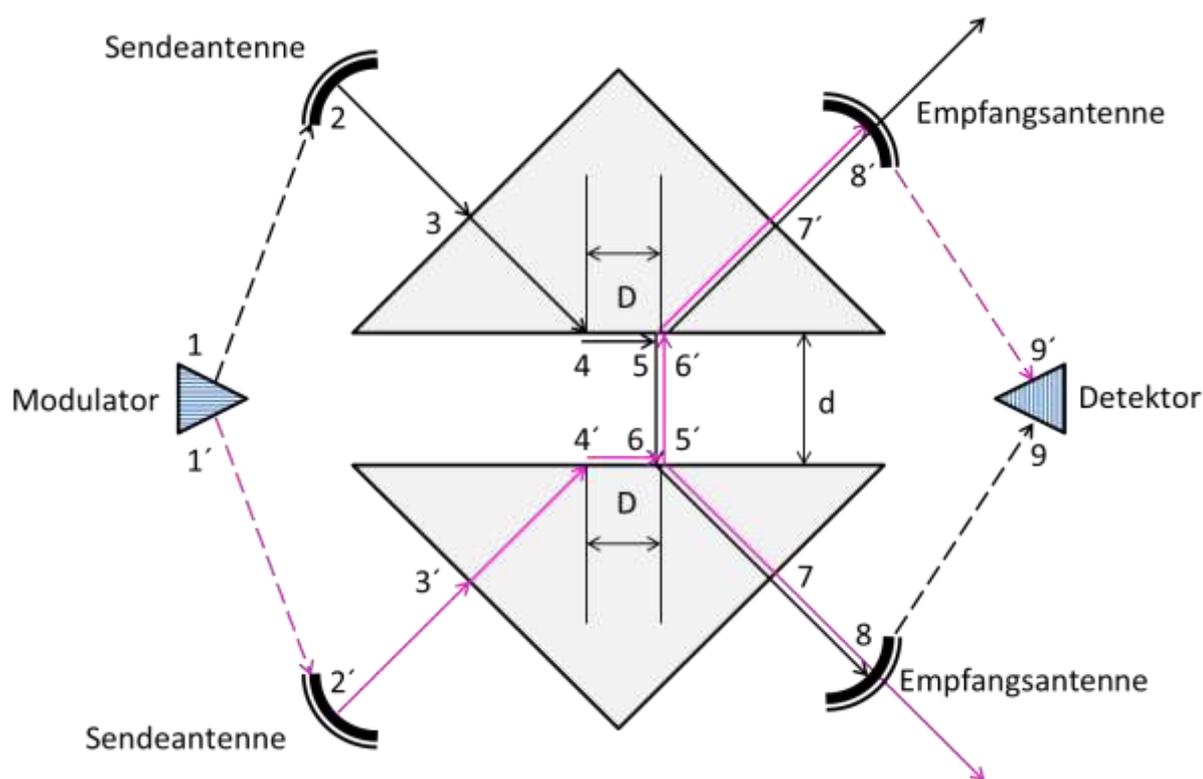


Abb. 13.2: Möglicher Versuchsaufbau zur Messung von Tunneleffekten abhängig von unterschiedlichen Raumrichtungen.

Bei diesem Aufbau wird zum Versuchsstart von einem Modulator ein Signal S und S' an gegenüberliegende Sendeantennen geschickt. Die erzeugten Impulse verlaufen entsprechend der Darstellung durch die Apparatur und werden dann detektiert.

13.1 Messung des Tunneleffekts in verschiedenen Raumrichtungen

Für eine sinnvolle Auswertung wird die Nutzung einer Differenzmessung vorgeschlagen. Hierbei wird die Apparatur in einer beliebigen Ausrichtung so kalibriert, dass die Messlinien der getunnelten Impulse beider Prismen zur Deckung gebracht werden; eine Auswertung der Zeitdifferenz führt hierbei definitionsgemäß zu einem Nullresultat. Wird in einem zweiten Schritt die Apparatur dann gedreht und es tritt ein Effekt wie zuvor diskutiert auf so wird sich ein Zeitunterschied beim Durchlauf beider Prismen einstellen. Dieser ist abhängig von der Ausrichtung zum Zustand absoluter Ruhe, der Signalgeschwindigkeit und der Gesamtlänge der Apparatur.

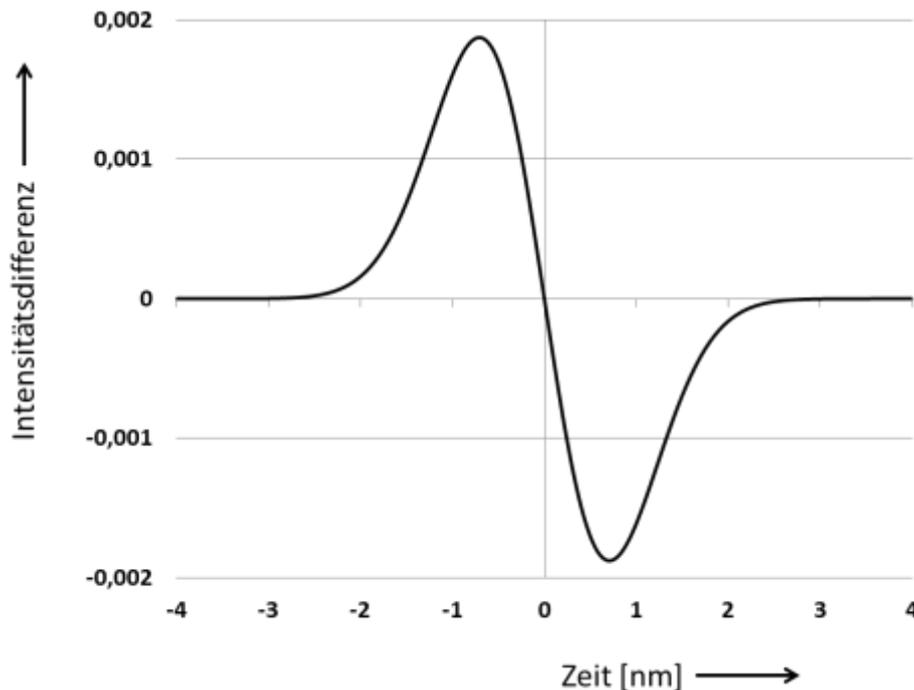


Abb. 13.3: Zu erwartende Messergebnisse für eine Apparatur von 280 mm Länge, $v_S = 369 \text{ km/s}$ und $v_T = 4,6c$

Um die Signale zu verstärken, ist eine Vergrößerung der Prismen selbst oder deren Abstand keine sinnvolle Option, da sich die auftretenden Effekte hierdurch sehr stark verringern. Es ist jedoch möglich, die entstehenden getunnelten Signale der Prismen zu detektieren, zu verstärken, dann in ein weiteres nachgeschaltetes Prisma einzuleiten und auf diese Weise die Messung zu wiederholen. Es können sich dabei zwar durch die Verarbeitung des Signals geringfügige Zeitdifferenzen einstellen, die dann Einfluss auf das Messergebnis haben. Dieser Effekt kann jedoch vernachlässigt werden, da die Auswertung sich grundsätzlich nur auf Differenzen bezieht.

Es ist erkennbar, dass die Werte zwar nur gering sind, dass sie aber durchaus messtechnisch realisierbar erscheinen. Wichtig ist hier insbesondere die mechanische Stabilität des Versuchsaufbaus. Dieser muss auf einem Drehtisch gelagert werden, um Messungen in verschiedenen Raumrichtungen zu ermöglichen. Außerdem müssten sich hier bei einem positiven Ergebnis Unterschiede bei der Messung zu verschiedenen Zeiten mit den hierbei gegebenen unterschiedlichen Ausrichtungen der Erde bezüglich eines absolut ruhenden Raums einstellen.

13. Mögliche Klärungsversuche

Mit einem solchen Versuch könnte demnach eindeutige Klarheit über einen grundlegenden physikalischen Aspekt liefern. Entweder es gibt einen positiven Messeffekt mit entsprechenden Auswirkungen auf die Spezielle Relativitätstheorie oder die Frage zur überlichtschnellen Signalübertragung bei Tunnelexperimenten ist endgültig negativ entschieden.

13.2 Messung von Synchronisationsunterschieden

Wie bereits im Kapitel 10.2 beschrieben wurde, ergeben sich aufgrund der Relativität der Gleichzeitigkeit für die Lorentz Transformation Synchronisationsdifferenzen bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten. Diese müssen sich bestimmen lassen, wenn in einem Labor zwischen 2 Uhren, die in einem definierten Abstand positioniert sind, eine Synchronisation durchgeführt wird, anschließend das Labor in Ausrichtung der Uhren beschleunigt und dann der Prozess wiederholt wird. In diesem Fall müssen an beiden Uhren Synchronisationsunterschiede feststellbar sein.

In Abb. 13.4 sind die sich ergebenden Zusammenhänge für eine solche Konstellation dargestellt. Um die Unterschiede grafisch wiedergegeben zu können wurden hier hohe Geschwindigkeiten gewählt ($v = 0,5c \pm 0,25c$, dies entspricht bei Anwendung der relativistischen Geschwindigkeitsaddition Werten von $v_1 = 0,667c$ und $v_2 = 0,286c$).

Wenn t_0 die Signallaufzeit zwischen A und B in einem System absoluter Ruhe ist ergibt sich für das linke Diagrammteilbild ein Effekt durch die folgenden Beziehungen:

$$t_{AB} = \frac{t_0}{\gamma_1 \left(1 - \frac{v_1}{c}\right)} \quad t'_{AB} = \frac{t_0}{\gamma_2 \left(1 - \frac{v_2}{c}\right)} \quad (13.10)$$

$$t_{BA} = \frac{t_0}{\gamma_1 \left(1 + \frac{v_1}{c}\right)} \quad t'_{BA} = \frac{t_0}{\gamma_2 \left(1 + \frac{v_2}{c}\right)} \quad (13.11)$$

mit

$$\Delta t_{AB} = t'_{AB} - t_{AB} = \frac{t_0}{\gamma_2 \left(1 - \frac{v_2}{c}\right)} - \frac{t_0}{\gamma_1 \left(1 - \frac{v_1}{c}\right)} \quad (13.12)$$

$$\Delta t_{BA} = t'_{BA} - t_{BA} = \frac{t_0}{\gamma_2 \left(1 + \frac{v_2}{c}\right)} - \frac{t_0}{\gamma_1 \left(1 + \frac{v_1}{c}\right)} \quad (13.13)$$

Wegen

$$c = \frac{a}{t_0} \quad (13.14)$$

wird dies bei Werten von $v_1, v_2 \ll c$ zu

$$\Delta t_{AB} \cong \frac{a[v_1 - v_2]}{c^2} \quad (13.15)$$

und

$$\Delta t_{BA} \cong \frac{a[v_2 - v_1]}{c^2} \quad (13.16)$$

Der Unterschied zu der in Kap. 10.2 dargestellten Situation ist hier, dass nicht 2 unabhängige Beobachter betrachtet werden, sondern ein zusammenhängendes Labor.

13.2 Messung von Synchronisationsunterschieden

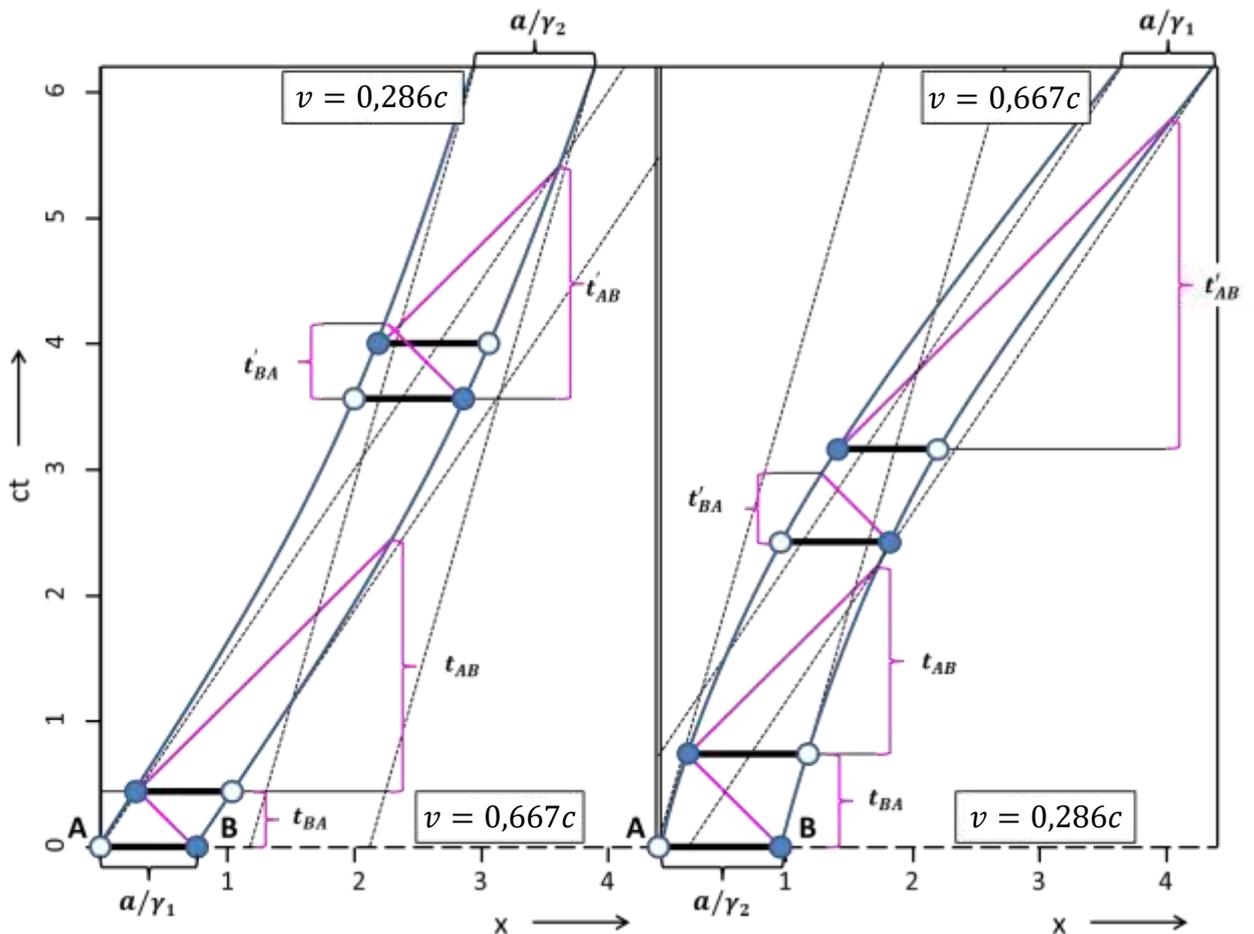


Abb. 13.4: Weg-Zeit-Diagramm für Systeme nach Geschwindigkeitsänderung
links: Abgebremstes System
rechts: Beschleunigtes System

Für das rechte Diagrammteilbild gelten die gleichen Beziehungen, nur sind γ_1 und γ_2 vertauscht. Um diese Unterschiede zu bestimmen sei ein Versuch mit folgenden Randbedingungen vorgeschlagen:

a) Versuchsaufbau

Zunächst werden 2 Uhren im Abstand a an den Stellen A und B positioniert. Beim bewegten System (vgl. Abb. 13.4) ist die Entfernung dann a/γ . Nach erfolgtem Signalaustausch zwischen den Uhren werden diese am jeweiligen Standort synchronisiert. Wichtig ist hier, dass die Signale nicht von beiden Uhren an eine Zentralstelle gesandt und dort verglichen werden, weil sich sonst – wie beim Michelson-Morley- oder dem Kennedy-Thorndike-Experiment – ein Nullresultat einstellen würde. Anschließend wird das Labor in Orientierungsrichtung der Uhren beschleunigt und dann nach Signalaustausch erneut synchronisiert. Hierbei muss sich gemäß den Grundlagen der Lorentz-Transformation eine Synchronisationsdifferenz zwischen den Zuständen vor und nach der Beschleunigung einstellen, die Δt_{BA} für die Uhr A und Δt_{AB} für Uhr B sind.

Bei einem durchzuführenden Versuch werden sinnvollerweise die Differenzen zwischen Δt_{BA} und Δt_{AB} betrachtet (hierbei ist ein Wert positiv, der andere negativ). Dies führt

13. Mögliche Klärungsversuche

einerseits zu einer Verdopplung des Messergebnisses, zum anderen werden Störungen durch Veränderungen der Länge der Messapparatur (z. B. durch Temperaturschwankungen) der Größe Δt_S unterdrückt, da der Effekt einer Verringerung bzw. Erhöhung auf beide Messungen den gleichen Einfluss hat und somit bei der Differenzbetrachtung eliminiert wird. Es ergibt sich damit folgende Beziehung:

$$\Delta t \cong \Delta t_{AB} + \Delta t_S - (\Delta t_{BA} + \Delta t_S) = \frac{2a[v_1 - v_2]}{c^2} \quad (13.17)$$

Das Ergebnis hängt also nur vom Abstand der beiden Uhren sowie den Geschwindigkeiten v_1 und v_2 ab.

b) Abschätzungen zur Größe der generierbaren Messergebnisse

Die beste und genaueste Methode einer Messung wäre mit der Nutzung einer Rakete gegeben; hiermit würde der erforderliche finanzielle Aufwand jedoch sehr hoch. Auf der anderen Seite sind die realisierbaren Geschwindigkeitsunterschiede sehr groß, so dass hier normale ^{87}Rb -Uhren mit einer Standardabweichung von $3 \cdot 10^{-12}\text{s}$, wie sie heute beim GPS-Satelliten Navigationssystem Verwendung finden, eingesetzt werden können und sehr genaue Ergebnisse liefern würden.

Bei denkbaren terrestrischen Versuchen steigen die Anforderungen an die Messtechnik erheblich. Ein solcher Versuch könnte z. B. mit Hilfe eines Flugzeugs durchgeführt werden. Eine Synchronisation am Boden und der Vergleich mit Werten nach dem Start ist dabei aber nicht sinnvoll, da Höhenunterschiede des Flugzeugs den Messeffekt verfälschen würden. Es sollten daher nach dem Start auf gleichbleibender Höhe Messungen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten erfolgen. Dies könnten dann z. B. Unterschiede zwischen 300 km/h und 900 km/h sein. Der Versuch müsste in verschiedenen Richtungen relativ zur Erdrotation wiederholt werden, um ggf. auftretende Störungen (z. B. durch Sagnac-Effekt) zu eliminieren.

Wird ein Geschwindigkeitsunterschied von 600 km/h bei einer Länge des Versuchsaufbaus von 30m angenommen, so ergibt sich gemäß Gl. (13.17) ein Messwert von etwa $1,1 \cdot 10^{-13}\text{s}$. Ein solcher Versuch ist demnach darstellbar, da Atomuhren höchster Präzision heute Genauigkeiten von 10^{-17}s erreichen können. Dies ist allerdings keine einfache messtechnische Aufgabe, da zunächst geprüft werden muss ob diese Uhren eine ausreichende Stabilität bei den erforderlichen Beschleunigungen besitzen.

Alternativ ist auch die Durchführung mit der Nutzung eines Zuges oder einer Magnetbahn denkbar. Wegen der geringeren Geschwindigkeitsdifferenzen sind hier die Messeffekte zwar noch kleiner aber auch der Aufwand wird geringer. Alternativ könnte die Messapparatur in einen Container eingebaut, getestet und dann in ein Flugzeug verladen werden. Handelsübliche Container von ca. 14 m Länge würden zu einem Wert von etwa $5 \cdot 10^{-14}\text{s}$ führen, welcher mit den bereits dargestellten Einschränkungen ebenfalls noch zu einem verwertbaren Messergebnis führen würde.

Es ist an dieser Stelle der Einwand möglich, dass Versuche auf der Erde grundsätzlich zu keinen Ergebnissen führen, weil das Schwerfeld eine Auswertung unmöglich macht. Dem ist jedoch entgegenzuhalten, dass es einige wichtige Versuche mit positivem Ergebnis gegeben hat. Hier sind insbesondere die Experimente von J. C. Haefele und R. E. Keating

13.3 Messung der Endgeschwindigkeit beim plastischen Stoß

[81,82] zu nennen. Hierbei wurden Atomuhren in einem Flugzeug um die Erde transportiert und deren Anzeige anschließend mit Referenzuhren verglichen. Beim Flug in Drehrichtung der Erde liefen die bewegten Uhren langsamer, beim Flug entgegengesetzt dazu waren sie schneller. Die Ergebnisse stimmten gut mit den Vorhersagen der Lorentz-Gleichungen überein. Es war mit diesem Versuch also möglich, einen Ruhezustand zu bestimmen, der die Drehbewegung der Erde nicht einschließt. Das gleiche ist auch bei dem hier vorgeschlagenen Versuch zu erwarten.

Falls eine terrestrische Messung nicht möglich ist, bleibt als Alternative nur die Verwendung einer Rakete.

Wenn eines dieser Experimente, am Boden in der Luft oder im Weltraum zu einem positiven Ergebnis führt, so ist der experimentelle Nachweis erbracht, dass die „Relativität der Gleichzeitigkeit“, die ein notwendiger Bestandteil der Lorentz-Transformation ist, nach einer Beschleunigung tatsächlich auftritt. Es sei hier noch einmal erwähnt, dass es sich um einen Versuch handelt, der ein messbares Resultat ergeben muss. Dies steht im Gegensatz zu den vielen anderen Versuchen, bei denen die Spezielle Relativitätstheorie ein Nullresultat voraussagt. Ein solches Experiment könnte abschließend die Gültigkeit des grundlegenden Postulats der Relativität der Gleichzeitigkeit eindeutig beweisen.

13.3 Messung der Endgeschwindigkeit beim plastischen Stoß

Wie bereits in Kap. 7.1 ausgeführt wurde, ist für das Verhalten beim plastischen Stoß eine Massenzunahme durch den Verbund anzunehmen. Trifft dies zu, so lässt sich die Endgeschwindigkeit nach dem Verbund einfach über die relativistische Geschwindigkeitsaddition berechnen. Falls dies nicht oder nur teilweise der Fall sein sollte, würde die Messung der Endgeschwindigkeit eines verbundenen Körpers nach einem plastischen Stoß hierzu neue Erkenntnisse liefern.

Um dies zu testen könnte folgender Versuch durchgeführt werden: Eine Masse m_2 wird auf eine exakt bestimmte Geschwindigkeit v_2 beschleunigt. Die Masse trifft dann auf ein ruhendes Ziel mit der Masse m_1 , verbindet sich damit und die Geschwindigkeit des so entstandenen Körpers wird gemessen. Auf diese Weise ließe sich verifizieren, dass sich bei einem plastischen Stoß die potenzielle Energie des bewegten und dann abgebremsten Körpers vollständig in Masse umwandelt. Obwohl dies auf mikroskopischer Ebene klar ist, könnte makroskopisch durchaus ein Teil während des Abbremsens unmittelbar in Wärmeenergie umgewandelt und abgestrahlt werden und damit nicht zur Reduktion der Geschwindigkeit beitragen; dies würde dann zu einer Verletzung der Relativitätskriterien führen und wäre auf diese Weise messbar.

Beispiel:

Es wird eine beliebige Masse m_1 betrachtet, die sich in Ruhe befindet ($v_1 = 0$), eine gleich große Masse (d. h. $m_2 = m_1$) trifft darauf mit der Geschwindigkeit v_2 auf, verbindet sich mit dieser und der Verbund bewegt sich mit der Geschwindigkeit v_3 weiter. Gemäß den Darstellungen in Kap. 7.1 lassen sich nun hieraus Werte für die unterschiedlichen Konzepte berechnen.

13. Mögliche Klärungsversuche

a) Nicht relativistisch

Die Beziehung ergibt sich direkt aus der Galilei-Transformation

$$v_3 = \frac{v_2}{2} \quad (13.20)$$

b) Relativistisch

Hierzu ist die Umformung einer Beziehung analog Gl. (7.04) erforderlich und es folgt

$$v_2 = \frac{2v_{3R}}{1 + \left(\frac{v_{3R}}{c}\right)^2} \quad (13.21)$$

Über

$$v_{3R}^2 - \frac{2v_{3R}c^2}{v_2} = -c^2 \quad (13.22)$$

folgt

$$\frac{v_{3R}}{c} = \frac{c}{v_2} - \sqrt{\frac{c^2}{v_2^2} - 1} \quad (13.23)$$

Eine Bewertung der Gleichung ergibt, dass positive Vorzeichen der Wurzel aus Plausibilitätsgründen nicht zulässig sind, da sie zu Ergebnissen von $v_{3R} > c$ führen. Wird der Wurzel-Ausdruck in Gleichung (13.23) in eine Taylorreihe entwickelt (für $v_2 \rightarrow 0$) so ergibt sich

$$\sqrt{\frac{c^2}{v_2^2} - 1} = \frac{c}{v_2} - \frac{v_2}{2c} - \frac{v_2^3}{8c^3} - \dots \quad (13.24)$$

sowie Werte höherer Ordnung, die vernachlässigt werden können. Gl. (13.23) erhält somit die Form

$$\frac{v_{3R}}{c} = \frac{c}{v_2} - \sqrt{\frac{c^2}{v_2^2} - 1} \cong \frac{v_2}{2c} + \frac{v_2^3}{8c^3} \quad (13.25)$$

In der Tabelle 13.2 sind Werte für Auftreffgeschwindigkeiten von 1 bis 100.000 km/s berechnet. Zur besseren Vergleichbarkeit sind nur die Differenzen zum nicht relativistischen Ergebnis Δv gemäß Gl. (13.26) eingetragen. Der Wert für Δv ist dabei stets positiv, d.h. die Berechnung von v_{3R} führt immer zu einem höheren Ergebnis als v_3 .

$$\Delta v = v_{3R} - v_3 \quad (13.26)$$

v_2	1	10	100	1000	10.000	100.000
Δv	$1,391 \cdot 10^{-12}$	$1,391 \cdot 10^{-9}$	$1,391 \cdot 10^{-6}$	$1,391 \cdot 10^{-3}$	1,392	$1,474 \cdot 10^3$

Tab. 13.2: Berechnung von Differenzen der Endgeschwindigkeiten beim plastischen Stoß. Ausgewert: Galilei-Transformation Gl. (13.20). Angaben in km/s.

13.3 Messung der Endgeschwindigkeit beim plastischen Stoß

Die Werte für die relativistischen Geschwindigkeiten $v_2 \geq 1000$ km/s wurden mit der Ursprungsgleichung Gl. (13.23) berechnet. Für kleinere Werte ist die Genauigkeit üblicher Rechner mit 15 Stellen nicht mehr ausreichend und es muss zu Gl. (13.25) übergegangen werden. Diese Gleichung ist aber bei höheren Geschwindigkeiten von ca. 10.000 km/s durch Glieder höherer Ordnung zu ergänzen, so dass hier eine Kombination aus Ergebnissen der beiden Gleichungen gewählt wurde.

Zur Durchführung eines solchen Versuches wäre es sinnvoll, den bewegten Körper als massives kompaktes Teil zu wählen, z. B. als Kugel. Für die nicht bewegte Masse wäre sinnvollerweise eine Ausbildung als plastischer Ring vorzusehen. Der Ring sollte einen Innendurchmesser haben, der etwas kleiner als die Kugel ist. Eine solche Konzeption würde es ermöglichen, Präzisionsmessungen der Geschwindigkeit an der Kugeloberfläche vorzunehmen und Probleme mit der Ausgestaltung des verbundenen Körpers zu vermeiden, die sich bei der Verwendung einer Platte oder einer verformbaren Folie, die sich beim Versuch um die Kugel schließt, auftreten würden. Aufgrund der geringen Effekte müssten die Versuche im Vakuum durchgeführt werden.

Bei der Betrachtung der zu erwartenden Ergebnisse wird deutlich, dass sich mit steigender Geschwindigkeit mit jeder Zehnerpotenz der Messeffekt um 3 Zehnerpotenzen vergrößert (mit anderen Worten: Faktor 10 bei der Geschwindigkeit ergibt Faktor 1000 beim Messeffekt); daher ist die Wahl einer möglichst hohen Geschwindigkeit wünschenswert. Andererseits steigen mit höherer Geschwindigkeit die Ansprüche an die Versuchsdurchführung, so dass hier ein Kompromiss gefunden werden muss. Wird zum Beispiel der Wert von 1 km/s gewählt, welcher in etwa der Geschwindigkeit einer Gewehrpatrone entspricht, so sind gemäß den durchgeführten Berechnungen Abweichungen bei den Geschwindigkeiten in der Größenordnung von 10^{-9} s pro Meter Messlänge zu erwarten; dies müsste mit einem geeigneten Versuchsaufbau zu detektieren sein.

Die Versuche müssten durch ein genaues Monitoring begleitet werden. So ist z. B. zu erwarten, dass aufgrund der hohen Materialbelastungen sowohl bei der Beschleunigung der Kugel als auch während der Abbremsung durch die Zielmasse Schwingungen auftreten, die einen Messeffekt verfälschen oder ganz überlagern könnten. Möglicherweise ist in einem solchen Fall die Verwendung von Verbundwerkstoffen mit Verwendung eines weichen Innenkerns sinnvoll. Dieser Versuch sollte in verschiedenen Raumrichtungen wiederholt werden. Obwohl wie in Kap. 7.1 bereits ausgeführt ein Ergebnis abweichend vom Fall der relativistischen Geschwindigkeitsaddition unwahrscheinlich ist, stellt dieser Versuch eine Ergänzung dar und schafft Klarheit bezüglich der zu erwartenden Massenerhöhung beim nicht elastischen Stoß auf makroskopischer Ebene.

Abschließend stellt sich die grundsätzliche Frage, warum ein Versuch durchgeführt werden sollte, wenn nach theoretischen Betrachtungen das Ergebnis eindeutig bestimmbar ist. Wie aber bereits in Kapitel 11.3 beschrieben wurde, werden seit Jahren große Anstrengungen gemacht, um den Nachweis für eine Verletzung der Lorentz-Invarianz zu finden und damit die theoretische Basis zu erweitern. Ein solcher Versuch würde somit die Palette der Möglichkeiten ergänzen.