



SCHOOL-SCOUT.DE

Unterrichtsmaterialien in digitaler und in gedruckter Form

Auszug aus:

Lernwerkstatt: Die spezielle Relativitätstheorie

Das komplette Material finden Sie hier:

School-Scout.de



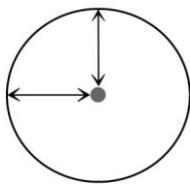
Die Zeitdilatation steigt dabei mit der Relativgeschwindigkeit des Systems, ist also erst bei Geschwindigkeiten beobachtbar, die im Vergleich zur Lichtgeschwindigkeit nicht vernachlässigbar klein sind. Alle relativistischen Effekte werden erst in Nähe der Lichtgeschwindigkeit relevant. Die Physiker Hafele und Keating zum Beispiel führten 1971 Messungen mit Atomuhren in Linienflugzeugen durch und konnten die obige Formel im Rahmen der Messgenauigkeit (im Nanosekundenbereich, also wirklich minimal, aber doch ein Beweis) bestätigen.

Und nun kommt eine kleine Geschichte von Ben, der einen Zwillingbruder namens Neil hat. An ihrem 20. Geburtstag beschließt Neil, zu einer abenteuerlichen Reise in das Weltall aufzubrechen. Die beiden Brüder verabschieden sich also voneinander, und Neil besteigt sein Raumschiff, das fast ohne Zeitverlust auf 98% der Lichtgeschwindigkeit beschleunigt. Mit dieser Geschwindigkeit reist Neil durch das Weltall, doch nach 5 Jahren wird ihm langweilig, und er vermisst seinen Bruder. Darum kehrt er um und fliegt mit derselben Geschwindigkeit wie auf dem Hinweg zur Erde zurück. Endlich angekommen kann Neil es kaum erwarten, mit seinen Bruder Ben so richtig zu feiern, doch anstelle seines 30-jährigen Zwillingbruders findet er einen 70-jährigen Mann vor! Neils Borduhr zeigt an, dass seit seinem Start 10 Jahre vergangen sind, aber für Ben sind es inzwischen 50 Jahre, die er auf seinen Bruder gewartet hat!

Ist ja klar: Neil hat sich in einem schnell bewegten Bezugssystem aufgehalten, darum ist seine Uhr auch langsamer gelaufen als die von Ben auf der Erde, und zwar fünfmal langsamer, denn bei etwa 98% der Lichtgeschwindigkeit beträgt der Zeitdehnungsfaktor 5. Das haben sich die beiden Brüder zwar anders vorgestellt, aber nachdem sie sich vom Schreck erholt haben, gehen sie trotzdem feiern, und die Sache ist abgehakt... Obwohl – da kommt Ben so ein Gedanke.

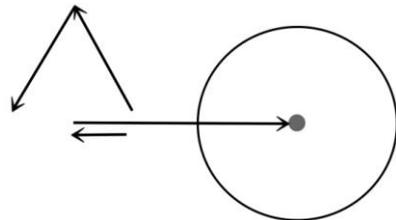
Wie ihr wisst sind alle Inertialsysteme gleichberechtigt, also symmetrisch, und das müsste doch bedeuten: Wenn Neil behauptet, Ben hat sich auf der Erde in Ruhe befunden, und Neil hat sich in hoher Geschwindigkeit bewegt, dann kann Ben auch behaupten, Neil wäre in seinem Raumschiff in Ruhe gewesen, und Ben hat sich mit der Erde schnell von ihm weg bewegt! Was für ein Durcheinander! Wenn Neil seinen Bruder als ruhend, und sich selbst als bewegt ansieht, dann kommt er zu dem Schluss, dass seine eigene Uhr langsamer geht, und er am Ende weniger gealtert ist. Umgekehrt ist es aber genauso, wenn Ben sich als bewegt ansieht, müsste er am Ende der jüngere sein. Nun könnt ihr euch ja denken, dass es so nicht geht, denn beim Wiedersehen auf der Erde kann ein Bruder ja nicht gleichzeitig jünger und älter als der andere sein! Das ist paradox, oder? Deshalb nennt man dieses Gedankenspiel auch **Zwillingsparadoxon**, es wurde schon vielfach diskutiert und von Kritikern als Widerlegung der Relativitätstheorie angesehen, aber bei genauerer Betrachtung gibt es eine Lösung für das Problem.

Neil bewegt sich nicht gleichförmig! Während seines Flugs ins Weltall befindet er sich in einem Inertialsystem, aber dann kehrt er um – wechselt also das Inertialsystem, und fliegt zurück. Aus diesem Wechsel des Bezugssystems am Umkehrpunkt ergibt sich eine gebrochene Weltlinie, und die Symmetrie der Inertialsysteme ist nicht mehr erfüllt! Ben ist immer im selben Inertialsystem. Die Bewegungen der beiden sind also nicht äquivalent, man kann die Sichtweise darauf, wer von beiden in Bewegung, und wer in Ruhe ist, nicht einfach umkehren! Es ist also richtig: Für Neil vergeht die Zeit langsamer als für Ben. Ziemlich spannend, diese Gedankenexperimente, stimmt's? Das nun folgende Gedankenexperiment ist sogar Einstein selbst in ähnlicher Form durch den Kopf gegangen:



Die Sonne strahlt zwei Photonen gleichzeitig ab, einen senkrecht nach oben und einen waagrecht nach links. Sobald die Photonen die Erdumlaufbahn erreichen, werden sie reflektiert. Ein unbewegter Beobachter sieht, wie beide Photonen gleichzeitig wieder auf der Sonne ankommen. Für einen ruhenden Beobachter innerhalb des Sonnensystems laufen die Photonen also völlig synchron hin und her.

Nun rast das Sonnensystem ja mit etwa 900.000 km/h durch die Milchstraße, wo ihr zufällig gerade mit eurem Raumschiff steht, und das System von links nach rechts an euch vorbeiziehen seht. Nun stellt euch mal vor, was ihr beobachten könntet, wenn das System in seiner kreisrunden Form an euch vorbeizieht. Ihr könntet ein einziges Mal sehen, wie beide Photonen zur gleichen Zeit von der Sonne abgestrahlt werden, aber dann liefen sie nicht mehr synchron zurück!



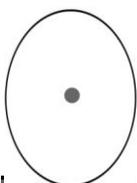
Senkrecht bewegen sich die Photonen für euch wie im Erde-Mond-Beispiel im Zick-Zack-Kurs. Die waagrecht – also in Bewegungsrichtung des Systems verlaufenden Photonen benötigen aber noch mehr Zeit, denn die Sonne und die Erdumlaufbahn bewegen sich in der gleichen Richtung wie die Photonen.



Das bedeutet: der Weg, den die waagrecht verlaufenden Photonen zurückgelegt haben, ist länger als der Weg der senkrecht verlaufenden Photonen. Somit treffen die Photonen nicht mehr zur selben Zeit im Zentrum zusammen!

Das ist natürlich unmöglich, denn ein Ereignis ist absolut! Immerhin beobachten der Beobachter innerhalb des Sonnensystems und ihr von eurem Raumschiff aus doch ein und dasselbe Ereignis! Die Photonen treffen immer zur gleichen Zeit zusammen, als ein einziger Vorgang.

Wie kann man es denn nun hinbekommen, dass auch im bewegten System beide Photonen gleichzeitig an der Sonne ankommen? Wie ihr wisst, ist c konstant, es gibt also nur eine Lösung: den Weg für die waagrecht verlaufenden Photonen zu verkürzen!



Der Kreis muss sich verformen, er muss zur Ellipse schrumpfen! So sind die unterschiedlich langen Wege ausgeglichen, und beide Photonen treffen auch vom Raumschiff aus betrachtet gleichzeitig in der Mitte zusammen!

Dieses Phänomen der speziellen Relativitätstheorie nennt man „**Lorentzkontraktion**“: je schneller ein Objekt sich relativ zu seinem Beobachter bewegt, umso kürzer ist es in Bewegungsrichtung für ihn!

Eine Sache wäre da allerdings noch: Für euch als außenstehende Beobachter des sich bewegenden Systems treffen die Photonen nun zwar auch gleichzeitig in der Mitte zusammen. Da sich aber das System bewegt, nehmt ihr die Reflexionen weiterhin anders wahr als der Beobachter, der sich im System befindet! Die Photonen treffen für euch nicht zur gleichen Zeit auf die Erdumlaufbahn, wie es der Beobachter im System wahrnimmt. Gleichzeitigkeit ist also auch relativ!

Wie gesagt – diese Effekte werden erst in Nähe der Lichtgeschwindigkeit bedeutend, wenn ihr zum Beispiel an einer Autobahn steht, sehen die vorbeifahrenden Autos für euch ja nicht zusammengestaucht aus! Man kann aber auch hier durchaus eine Lorentzkontraktion berechnen, die Formel dazu:

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

l = Länge des Objekts für den unbewegten Beobachter

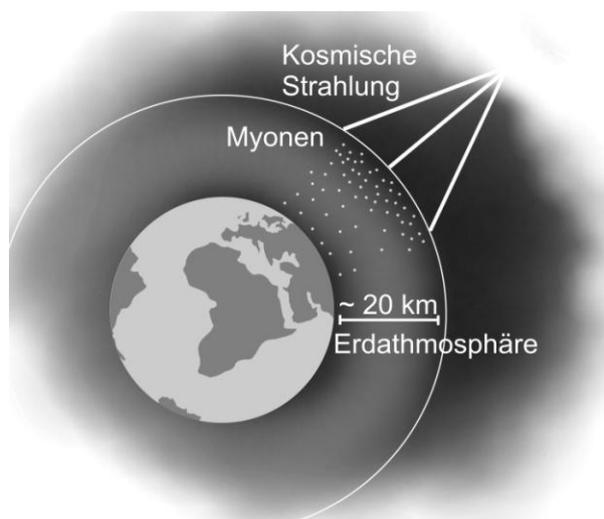
l₀ = Länge des Objekts im mitbewegten Bezugssystem

v = Geschwindigkeit des beobachteten Objekts

c = Lichtgeschwindigkeit im Vakuum

Nehmen wir mal an, ein 4 m langes Auto fährt mit einer Geschwindigkeit von 30 m/s an euch vorbei. Ihr könnt es nachrechnen: Der Betrag, um den das Auto für euch kürzer wird ist etwa 1/1000 Atomdurchmesser, also wirklich unvorstellbar klein, aber er ist da! Eine Concorde war ungefähr 20-mal schneller und 25-mal länger als das Auto, also erhalten wir eine $20^2 \cdot 25 = 1000$ mal größere Kontraktion – etwa ein Atomdurchmesser.

OK, das sind wirklich kleine Werte, und man könnte auf die Idee kommen, dass es sich hier nur um eine Theorie handelt. Ein eindeutiger Beweis dafür, dass die relativistischen Phänomene wirklich auftreten, ist zum Beispiel die Existenz von Myonen auf der Erde!



Durch den Aufprall von kosmischer Strahlung auf Moleküle der oberen Luftschichten entstehen in der oberen Erdatmosphäre in etwa 10 bis 20 km Höhe negativ geladene Elementarteilchen, die Myonen.

Sie weisen eine sehr hohe Masse auf, und bewegen sich mit etwa 99,5 % der Lichtgeschwindigkeit. In ihrem Ruhesystem beträgt ihre mittlere Lebensdauer etwa 2,2 µs (Mikrosekunden), was eine Reichweite von durchschnittlich etwa 600 m ergibt, bevor sie zerfallen.



SCHOOL-SCOUT.DE

Unterrichtsmaterialien in digitaler und in gedruckter Form

Auszug aus:

Lernwerkstatt: Die spezielle Relativitätstheorie

Das komplette Material finden Sie hier:

School-Scout.de

