

Einleitung

Mit der speziellen Relativitätstheorie betreten wir einen Bereich der Wissenschaft, für den wir keine Anschauung oder Erfahrungen besitzen. Das Vorstellungsvermögen reicht dafür nicht aus, weil wir nie erlebt haben, was den Resultaten der speziellen Relativitätstheorie entspricht. Denn als Erdlinge sind wir ziemlich begrenzt: Wir befinden uns auf einem Planeten. Falls wir versuchen, ihn aus eigener Kraft durch Hochspringen zu verlassen, kehren wir nach circa 2 Sekunden spätestens wieder zur Erde zurück. Falls wir uns fortbewegen wollen, benötigen wir aufwendige Hilfsmittel, erreichen damit aber auch höchstens einen winzigen Bruchteil der Lichtgeschwindigkeit. Die Tatsache, dass sich die Erde mit einer Geschwindigkeit von circa 30 000 m/s um die Sonne bewegt oder dass die Masse der Erde $5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ beträgt, ist schon außerhalb unserer sinnlichen Wahrnehmung. Das gilt natürlich auch „in die andere Richtung“. Die Größe eines Elektrons von 10^{-15} m ist für ein Wesen, dessen Größe i.d.R. zwischen 1 und 2 Metern liegt, nicht vorstellbar. Das einzige, was uns bleibt als sinnlich begrenzten Menschen, ist das vorhandene Denkvermögen, mit dem wir über die Grenzen unseres Wahrnehmungshorizonts hinaus Erkenntnisse und Modelle entwickeln können. Die Möglichkeit, dass es außerhalb unseres Wahrnehmungshorizonts etwas gibt, ohne dass wir es mit unseren Sinnen erfahren können, sollen die folgenden Zeilen „veranschaulichen“. Wenn man so will, handelt es sich dabei um eine kleine Science-Fiction-Story.



Vielleicht gibt es sie doch, hochintelligente Außerirdische!

Aliens, die uns aus anderen Welten besuchen, würden mit Mitleid und Verwunderung auf unsere Gegebenheiten herabblicken. Sie wären erstaunt, wenn sich 250.000 Erdlinge auf einem Platz versammeln, um ein Formel-1-Rennen zu besuchen, weil die Renngeschwindigkeiten weit unterhalb der Grenze liegen, für die Aliens irgendwelches Interesse aufbringen. Sie machen sich lustig über unsere Art der Raumfahrt, weil es doch nur Ausflüge in die nächste Umgebung der Erde sind. Sie wundern sich über Olympische Spiele, bei denen Milliarden von Menschen begeistert sind, wenn jemand beim Hochsprung lächerliche 2,5 Meter überspringt oder auf einer Strecke von circa 9 m die Erde nicht berührt, was die Erdlinge dann Weitsprung nennen. Sie sind belustigt über die Extremsportarten der Erdlinge und wundern sich über die Freude, die Erdlinge entwickeln können, wenn sie am Fallschirm auf die Erde sinken oder an einem Gummiband befestigt eine Brücke herabstürzen. Mit wie wenig sind die Erdlinge doch zufrieden?!? Naja, sie müssen es wohl sein, denn sie haben keine andere Möglichkeit und irgendwie sehen sie ja auch ganz glücklich aus, obwohl sie niemals erfahren haben, wie es ist, wenn man mit nahezu Lichtgeschwindigkeit auf einen Planeten zurast.

Den Aliens muss es so gehen wie den Erdlingen, wenn diese eine Schneckenuniversität besuchen. Was werden die Erdlinge dort vorfinden?

In der Schneckenuniversität:



Fachbereich Sport:

Schneckenweitsprung: Sportart unbekannt

Schneckenhochsprung: unvorstellbar

Weltrekord in der Kurzstrecke über 5 cm: unvorstellbare 22,65 Sekunden.

Schneckenmarathon: 20m in 5h 45min 15s

Fachbereich Geographie:

Die Erde ist eine Scheibe mit einem geschätzten Durchmesser von 27 Schneckenjahren.

Fachbereich Biologie:

Das Geheimnis des Lebens ist auch in der Schneckenuniversität noch nicht entschlüsselt.

Fachbereich Physik

Die Fallgesetze wurden anhand von Regentropfen studiert.

Wir beobachten eine Vorlesung über Schneckenphysik in der Schneckenuniversität. Der Professor, eine hoch gebildete und intelligente Schnecke, versucht den nicht weniger begabten Schneckenstudenten die Grundsätze der Mechanik zu vermitteln.

Heutiges Thema: Fliehkräfte

Für einen Erdling handelt es sich dabei um eine für ihn erfahrbare Größe. Als Beispiele seien genannt: Beim Autofahren in der Kurve wird man nach außen gedrückt, beim Kettenkarussell bewegt man sich vom Drehpunkt fort; ein Eimer mit Wasser behält das Wasser, auch wenn er auf dem Kopf steht, wenn er nur schnell genug an einem Arm geschwenkt wird.

Der Schneckenprofessor: Heute kommen wir zu einem recht schwierigen Thema, das sind die Fliehkräfte. Im Grunde können wir uns nichts darunter vorstellen, aber es gibt sie trotzdem. Eigenartiger Weise passiert es bei hohen Geschwindigkeiten, dass man aus der Kurve geschleudert wird und sich einfach geradeaus weiter bewegt.

Schneckenschüler: Was bedeutet das Wort schleudern? Darunter kann ich mir nichts vorstellen.

Schneckenprofessor: Das ist eine gute Frage. Wenn wir uns um die Kurve bewegen, vollziehen wir so etwas wie eine Kreisbahn. Wenn wir schnell genug wären, spürten wir eine Kraft, die uns vom Mittelpunkt dieser Kreisbahn wegdrücken würde nach außen, so dass es passieren könnte, dass wir auf die Seite kippen.

Schneckenschüler: Umkippen? Das kann nicht sein. Ich habe mein ganzes Leben lang noch keine Schnecke gesehen, die aufgrund irgendeiner Bewegung umgefallen wäre.

Schneckenprofessor: Ich sage ja auch nicht, dass es uns je passiert ist, sondern dass es passieren würde, wenn wir uns sehr viel schneller bewegen könnten, was wir aber bisher nie geschafft haben. Es ist eine Kraft, die uns nach außen drückt, wie die Kraft, die uns an den Erdboden drückt.

Schneckenschüler: Es gibt doch die Theorie, dass wir nur deshalb an der Erde kleben, weil unser Schleim uns daran festhält, sonst würden wir fliegen.

Schneckenprofessor: Das ist Unsinn, eine Vorstellung aus dem Mittelalter, die jedoch nicht leicht zu widerlegen ist, weil wir ständig diesen Schleim produzieren. Aber dieses falsche Gerücht ist wohl nicht aus der Welt zu schaffen. Zurück zur Fliehkraft: Um sie zu spüren, müssten wir auf Geschwindigkeiten kommen, die zwanzig mal größer sind als die heute möglichen Geschwindigkeiten. Das ist bis heute nur mit sehr kleinen Staubteilchenbeschleunigern gelungen und wir sind stolz, dass wir nun auch an unserer Fakultät dazu in der Lage sind, Fliehkräfte nachzuweisen und auszumessen.



Die Schneckenschüler gehen nach Stundenende fasziniert und zugleich ungläubig nach Hause. Manche versuchen, so schnell wie möglich zu laufen und dann eine ganz scharfe Kurve zu vollziehen, aber von einer Kraft, die nach außen drückt, spüren sie nichts.

Der Erfahrungshorizont begrenzt unser Vorstellungsvermögen. Was wir nicht erlebt haben, ist uns nicht geläufig und verständlich. Es ist schwer, Schnecken von der Notwendigkeit von Sicherheitsgurten und Schalsitzen zu überzeugen, weil sie es nie erlebt haben, dass es nützlich sein kann, angeschnallt zu sein. . Genauso geht es uns, wenn wir uns vorstellen wollen, uns mit Geschwindigkeiten in der Nähe der Lichtgeschwindigkeit fortzubewegen . Da übertragen wir gedanklich unsere Erfahrungen bei geringen Geschwindigkeiten und übersehen dabei wichtige neue Aspekte. Diese zu verdeutlichen, ist Sinn dieses Kurses über spezielle Relativitätstheorie. Wenn wir über die spezielle Relativitätstheorie sprechen, wird es uns an vielen Stellen wie den Schnecken gehen, denn auch der Schneckenprofessor hat niemals das erlebt, wovon er spricht. Ausgleichen kann man das durch scharfes Nachdenken, und obwohl wir lahme Schnecken sind, haben wir alle ein ausgeprägtes Denkvermögen, um zu verstehen, worum es sich bei der Relativitätstheorie handelt.

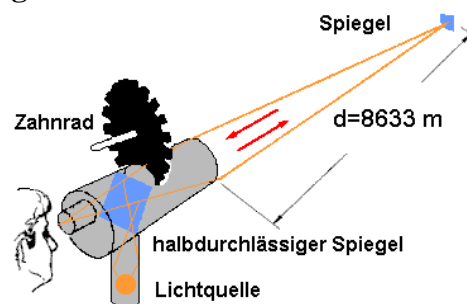
An mathematischen Kenntnissen brauchen wir überraschend wenige!
Es wird reichen, wenn wir uns an Folgendes erinnern:

- ▶ Satz des Pythagoras
- ▶ Gesetz der gleichförmigen Bewegung: $\text{Geschwindigkeit} = \text{Weg} / \text{Zeit}$
- ▶ Einfache Wurzelterme und Bruchterme
- ▶ Umgang mit dem Taschenrechner

Die Lichtgeschwindigkeit

Informiere dich unter dem LINK leifi-Physik, Klasse 9, über den Zahnrad-Versuch von Fizeau.

Wie hat Fizeau die Lichtgeschwindigkeit bestimmt?
Welchen Zahlenwert kann man aus seinen Messdaten ermitteln?



Die Addition von Geschwindigkeiten (wie schon Galileo Galilei sie benutzte.....)

Worum geht es eigentlich? Sieh dir dazu folgendes **Beispiel** an:



Wagen 1



Wagen 2



Geisterhaus

Zwei Wagen fahren auf einer Straße auf ein Haus zu. Wagen 1 habe die Geschwindigkeit 20 m/s und Wagen 2 die Geschwindigkeit 15 m/s.

Frage: Wie groß ist die Geschwindigkeit von Wagen 1 aus der Sicht von Wagen 2? Es wird sich kaum jemand finden, der bestreiten wird, dass dasist. Die Begründung lautet:

Oder ein anderes Beispiel:



Der Lkw habe für einen Beobachter am Straßenrand eine Geschwindigkeit von 20 m/s . Auf der Ladefläche befindet sich ein Spielzeugauto, das sich auf der Ladefläche mit der Geschwindigkeit von 2 m/s nach vorne, also zum Fahrer hin, bewegt. Wie schnell ist das Spielzeugauto aus Sicht des Beobachters an der Straße? Keine Frage, das sind.....

Um es auch dem letzten Zweifler zu vermitteln **ein drittes**

Beispiel: Im Polizeiwagen (s.o.) befinde sich ein Polizist, der im linken Fenster des Hauses, auf das er zufährt, ein schreckliches Ungeheuer sieht, das er mit seinem Betäubungsgewehr sofort in das Reich der Träume schickt. Beim letzten Test auf dem Schießstand ist für seine Waffe eine Geschwindigkeit (die Physiker nennen sie oft v_0 und meinen damit die Geschwindigkeit der Kugel beim Verlassen der Waffe) von 80 m/s gemessen worden.

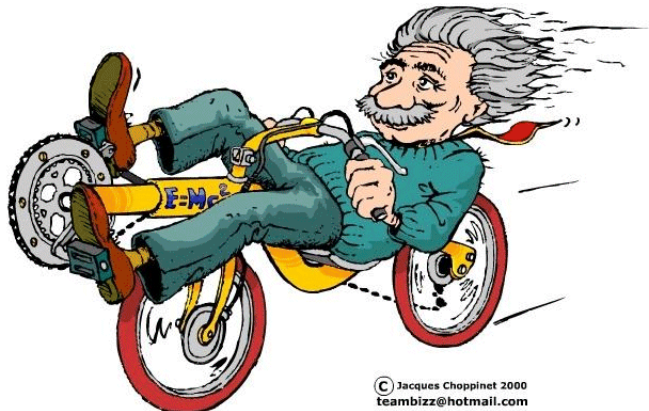
1. Frage: Wie schnell ist nun für den Beobachter am Straßenrand diese Betäubungskugel?
2. Frage: Wie sieht der Beobachter am Straßenrand eigentlich aus?

1. Antwort:

2. Antwort:

Alles klar, alles verstanden?! Und dann kam *er* und dachte: „Oh ihr Schnecken!!“
Wer kam? Na klar:

*Albert,
die Superschnecke!!*



(Quelle des Bilds:
[www.wisil.recumbents.com/
wisil/misc/choppinet.htm](http://www.wisil.recumbents.com/wisil/misc/choppinet.htm))

Nach ersten Schwierigkeiten ist es uns jetzt schon recht gut gelungen, von einem Bezugssystem (z.B. vom ruhenden Beobachter am Straßenrand) in ein anderes (z.B. in Wagen 2) zu springen und jeweils die Geschwindigkeit bewegter Objekte (z.B. Wagen 1) richtig zu beschreiben. Und das ist die Frage, mit der sich die spezielle Relativitätstheorie im Wesentlichen beschäftigt: **Inwieweit können physikalische Größen in zueinander bewegten Bezugssystemen verschiedene Werte besitzen?**

Die Gleichberechtigung verschiedener Bezugssysteme soll noch einmal mit einem Originalzitat von Einstein unterstrichen werden: „Wann hält Ulm an diesem Zug?“
Vornehm drückt man das so aus:

Relativitätsprinzip:
In zwei verschiedenen Bezugssystemen, die sich gegeneinander gleichförmig (d.h. mit konstanter Geschwindigkeit und gleich bleibender Bewegungsrichtung) bewegen, haben die Naturgesetze die gleiche Form; diese beiden Bezugssysteme sind gleichberechtigt.

Für die Geschwindigkeit hat es uns eingeleuchtet, dass sie – je nach Bezugssystem – verschiedene Werte hat. Sehr viel merkwürdiger erscheint es, dass auch Länge und Masse eines Körpers und die Zeit, die ein bestimmter Vorgang dauert, vom Bezugssystem abhängen können. Genau das sind Ergebnisse der Relativitätstheorie Einsteins! Diese Effekte machen sich allerdings erst bei sehr hohen Geschwindigkeiten bemerkbar. Deshalb liegen sie für uns „Schnecken“ außerhalb unserer Erfahrung!

Die Ausbreitung von Schallwellen

Nachdem wir die Geschwindigkeiten von Autos und Kugeln diskutiert haben und bevor wir noch einmal auf die Lichtgeschwindigkeit zu sprechen kommen, wollen wir uns kurz mit der Ausbreitung von Schallwellen beschäftigen. Zur Erinnerung an die 6. Klasse:

- Wie kann man die Schallgeschwindigkeit experimentell bestimmen?
- Welchen Wert hat die Schallgeschwindigkeit?
- Was passiert eigentlich genau, wenn sich „Schall“ ausbreitet?

Beantworte diese drei Fragen bitte in einem kurzen Text!

Bei den beiden folgenden Aufgaben bekommen wir es wieder mit Relativbewegungen zu tun.

1. Ein Auto steht laut hupend auf der Straße (die Alarmanlage spielt mal wieder verrückt...). Du fährst mit einer Geschwindigkeit von 10m/s mit dem Fahrrad auf das Auto zu. Mit welcher Geschwindigkeit kommen die Schallwellen auf dich zu?

2. Du stehst an der Ampel. Ein Krankenwagen kommt mit eingeschalteter Sirene mit einer Geschwindigkeit von 20 m/s auf dich zu gerast. Mit welcher Geschwindigkeit kommen die Schallwellen auf dich zu? (Ein schönes Java-Applet zu dieser Aufgabe findest du unter www.walter-fendt.de/ph14d/doppler.htm)



Ergebnis:.....

.....

Die Ausbreitung von Lichtwellen

Da sie es von Wasserwellen und Schallwellen nicht anders kannten, haben die Physiker lange Zeit geglaubt, dass es auch für die Lichtwellen ein Trägermedium geben müsse. Sie nannten es „Äther“ und versuchten mit allen möglichen ausgeklügelten Versuchen diesen „Äther“, der sich überall auf der Erde und im Weltraum befinden musste, nachzuweisen.

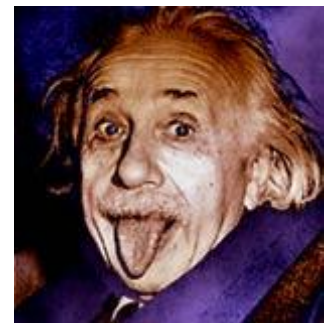
Alle Experimente schlugen fehl!

Einstein hatte nun den Mut zu sagen: Wenn wir den Äther nicht nachweisen können, dann gibt es ihn vielleicht gar nicht. Dann gibt es aber auch für das Licht kein bevorzugtes Bezugssystem und es gilt

Das Prinzip von der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit:
Die (Vakuum-) Lichtgeschwindigkeit c hat in jedem Bezugssystem denselben Wert ($c = 299\,792\,458\text{ km/s}$).

Was bedeutet das?

Kommen wir doch noch einmal auf den Polizisten in Wagen 2 mit dem Betäubungsgewehr zurück. Mal angenommen, dass er mit einer futuristischen Waffe, etwa mit einem „Lasercolt“ geschossen hätte, also mit einer Waffe, deren Geschosse auf dem Schießstand das Messergebnis $v_0 = c$ geliefert hätten. Dann würde der Beobachter an der Straße als Geschossgeschwindigkeit ebenfalls genau die Lichtgeschwindigkeit c messen! Genau heißt dabei genau und nicht ungefähr. Das ändert sich auch nicht, wenn Wagen 2 z.B. mit der halben Lichtgeschwindigkeit fahren könnte. Auch dann fliegt sowohl für den Fahrer aus Wagen 2 als auch für den Beobachter an der Straße das Licht aus dem „Lasercolt“ genau mit Lichtgeschwindigkeit.



Somit ergibt sich ein echtes „Schneckenproblem“. Man muss Geschwindigkeiten so addieren, dass diese Form der Addition für den Bereich der eigenen sinnlichen Wahrnehmung zu den gewohnten Ergebnissen führt, aber auch der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit Rechnung trägt. Albert Einstein hat dieses Problem gelöst, indem er folgende neue Addition von Geschwindigkeiten vorschlug:

$$v_1 \oplus v_2 = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 \cdot v_2}{c^2}}$$

Diese neue Addition erfüllt folgende Forderungen, die sich aus der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit ergeben:

- 1) $c \oplus c = c$
- 2) $v \oplus c = c$
- 3) kleine Geschwindigkeiten addieren sich wie gewohnt.

Aufgabe:

Überprüfe, dass die Forderungen an die neue Art der Addition der Geschwindigkeiten tatsächlich erfüllt sind!

Test, Test, Test

Um zu testen, dass du das Relativitätsprinzip und das Prinzip von der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit wirklich verstanden hast, folgt eine Aufgabe:

Du beobachtest in aller Ruhe vom Straßenrand aus, wie die unerbittlichen Feinde James Bond und Dr. No in ihren Superautos „007“ bzw. „NO“ aufeinander zurasen. „007“ flitzt mit 60 m/s und „NO“ mit 50 m/s relativ zu dir.

- a) James Bond sagt: „Dr. No rast mit.....auf mich zu!“
- b) Dr. No sagt: „007 rast mit.....auf mich zu!“
- c) Um dich zu warnen, fangen beide an wie verrückt zu hupen.
Mit welcher Geschwindigkeit kommen die Schallwellen der beiden Hupen auf dich zu?

Mit welcher Geschwindigkeit kommen Dr. No's Schallwellen auf James Bond zu?

Mit welcher Geschwindigkeit kommen die Schallwellen von 007 auf Dr. No zu?

- d) Nun fangen beide an, aus ihren Maschinengewehren zu feuern. Die Geschwindigkeit beträgt bei beiden 100 m/s.
Mit welcher Geschwindigkeit kommen die Kugeln auf dich zu?
Mit welcher Geschwindigkeit kommen die Kugeln von 007 auf Dr. No zu?
Mit welcher Geschwindigkeit kommen die Kugeln von Dr. No auf James Bond zu?
- e) Kurz bevor du dich endgültig in Sicherheit begibst, fangen beide an, aus ihren Laserpistolen zu feuern.
Mit welcher Geschwindigkeit kommt das Laserlicht der beiden Gegner auf dich zu?
Mit welcher Geschwindigkeit fliegt das Laserlicht von Dr. No von Dr. No weg bzw. auf James Bond zu?

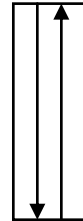
Die relativistische Zeitdilatation (Zeitdehnung)

Im Video von Quarks&Co haben wir gesehen, dass die Zeit in einer Atomuhr, die in einem schnellen Flugzeug transportiert worden war, langsamer vergangen war als in der gleichen Uhr, die in der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig gestanden hatte. Es waren nur wenige Nanosekunden ($1ns = 10^{-9}s$) – aber trotzdem: Wie ist das möglich?

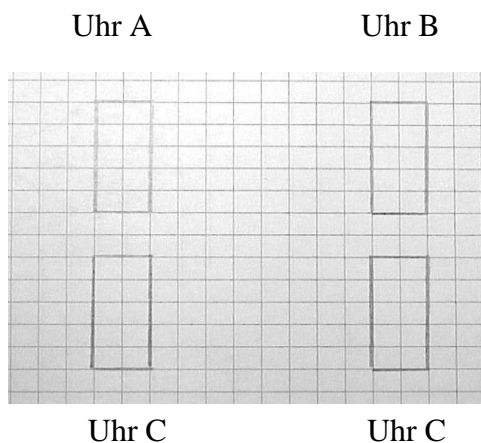
In diesem Abschnitt werden wir sehen, dass die Tatsache, dass die Zeit in einem bewegten Bezugssystem langsamer vergeht als in einem ruhenden, eine direkte Folge aus der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit ist. Es wird uns sogar gelingen, eine Formel für diese sogenannte Zeitdilatation herzuleiten.

Für die Zeitmessung benutzen wir eine besondere Art von Uhren, die Lichtuhren. Das sind Röhren mit einer bestimmten Länge, z.B. $l = 30\text{ cm}$, deren Enden gut verspiegelt sind. Ein einmal gestarteter Lichtblitz läuft in dieser Röhre also immer hin und her.

Frage: Wie lange braucht das Licht, um einmal von oben nach unten zu laufen?



Nun betrachten wir zwei verschiedene Bezugssysteme. Überall in dem ruhenden Bezugssystem (es könnte z.B. die Erde sein) sind zueinander synchronisierte Uhren (z.B. Uhr A und Uhr B) aufgestellt, d.h. Uhren, die alle stets dieselbe Zeit anzeigen. Nun fliegt ein bewegtes Bezugssystem (z.B. ein Flugzeug) mit der Geschwindigkeit v zunächst an Uhr A und dann an Uhr B vorbei. In dem Moment, in dem es Uhr A passiert, sollen Uhr A und Uhr B und auch die Uhr C des Flugzeugs $t = 0$ anzeigen.



Beispiele für die Zeitdilatation

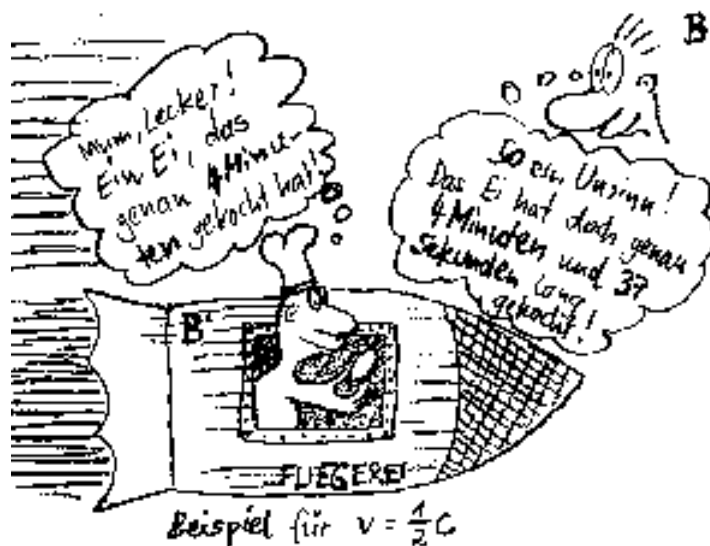
Ja, so unglaublich es scheint – die Zeit t_{Ruhe} , die im ruhenden Bezugssystem gemessen wird, und die Zeit t_{bew} , die im bewegten System gemessen wird, haben unterschiedliche Werte. Wir haben herausgefunden, dass die Zeit im bewegten System langsamer vergeht.

Es gilt die Formel:

$$t_{bew} = t_{Ruhe} \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

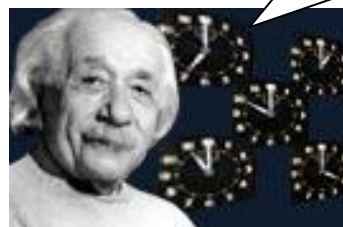
Anhand einiger Aufgaben wollen wir uns mit dieser Formel vertraut machen!

- Berechne das Verhältnis v^2/c^2 für die Geschwindigkeit eines Düsenjets von ca. 1000 km/h! Kein Wunder, dass die Zeitdilatation bei einem Flug nach New York keine Rolle spielt, oder?
- Die „Myonen“ sind eine bestimmte Teilchensorte, die auf Grund der Strahlung aus dem Weltraum in unserer Atmosphäre in ca. 2 km Höhe erzeugt werden. Sie haben eine „Lebensdauer“ (genauer gesagt eine Halbwertszeit) von $1,6 \mu s = 1,6 \cdot 10^{-6} s$. Sie rasen nun mit einer Geschwindigkeit von $0,99c$ auf die Erdoberfläche zu! Werden sie auf der Erdoberfläche ankommen? Rechne nach!
- Von den beiden Zwillingen aus Quarks&Co soll sich Emil mit der Geschwindigkeit der Myonen, d.h. mit $0,99c$ auf die Reise begeben; Egon bleibt im ruhenden System. Nachdem für Emil 10 Jahre vergangen sind, kehrt er zurück. Um wie viele Jahre ist Egon gealtert?
- Du gibst dich mit $v = 0,95c$ ($0,99c$ / $0,999c$ / $0,9999c$) auf die Reise! Welche Zeit ist für dich vergangen, wenn du im März 4006 Erdzeit zurückkehrst?
- Prüfe, ob die Zeitangaben in der Karikatur richtig sind!



Alles ganz schön merkwürdig, oder?

Quelle: www.ludwigsgymnasium.de



Die Längenkontraktion

Wir kommen noch einmal auf die Myonen zurück und beschreiben den Flug aus der Erdatmosphäre bis zum Erdboden aus ihrer Sicht.

Was gilt im Bezugssystem des Myons?

1. Es prallt ganz bestimmt auch auf der Erdoberfläche auf.
2. Es hat eine Lebensdauer von $1,6 \mu\text{s} = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{s}$
3. Die Erde rast mit einer Geschwindigkeit von $0,99c$ auf das Myon zu.
Anders ausgedrückt: Die Strecke mit der Länge 2 km rast mit $0,99c$ am Myon vorbei - und zwar *komplett* während der „Lebenszeit“ des Myons.



Das kann man sich nur so erklären: Die Strecke, die das Myon zurücklegt, ist für das Myon *kleiner* als für einen Beobachter auf der Erdoberfläche. Diesen Effekt nennt man Längenkontraktion. Die Strecke von 2 km erscheint dem Myon soweit verkürzt, dass sie während seines kurzen „Leben“ komplett an ihm vorbeifliegt. Man kann die Formel für die Längenverkürzung bestimmen, indem man den jeweiligen Weg durch die jeweilige Zeit im System des Myons und des Beobachters auf der Erdoberfläche durcheinander teilt. Der Quotient ist die Geschwindigkeit, die in beiden Fällen gleich ist.

$$v = \frac{l_{bew}}{t_{bew}} = \frac{l_{Ruhe}}{t_{Ruhe}}$$

Löst man diese Gleichung auf, so erhält man:

$$l_{bew} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \cdot l_{Ruhe}$$

Sachen gibt's, die gibt es nicht. Das Myon kann also „sagen“: Die Entfernung zur Erdoberfläche bewegt sich auf mich zu. Dadurch wird sie für mich in meiner Wahrnehmung kleiner. Deshalb komme ich dort an.

Stopp! Auch das größte Genie muss die Gedanken zusammenfassen und die kleinen grauen Zellen trainieren!

Bearbeite folgende Aufgaben schriftlich!

1. Was versteht man unter dem „Relativitätsprinzip“?
2. Was besagt das Prinzip von der „Konstanz der Lichtgeschwindigkeit“?
3. Ein ICE rast mit 180 km/h auf dich zu.
 - a) Ein Zugbegleiter flitzt innerhalb des Zugs mit 3 m/s in Fahrtrichtung den Gang entlang.
 - b) Der Lokführer betätigt die Warnsirene (damit du noch ein paar Schritte zurücktrittst.)
 - c) Der Lokführer schaltet die Zugscheinwerfer an.
Mit welcher Geschwindigkeit kommen der Zugbegleiter, die Schallwellen der Sirene und die Lichtwellen auf dich zu?
4. Die Formeln für die Zeitdilatation bzw. die Längenkontraktion sehen so aus:

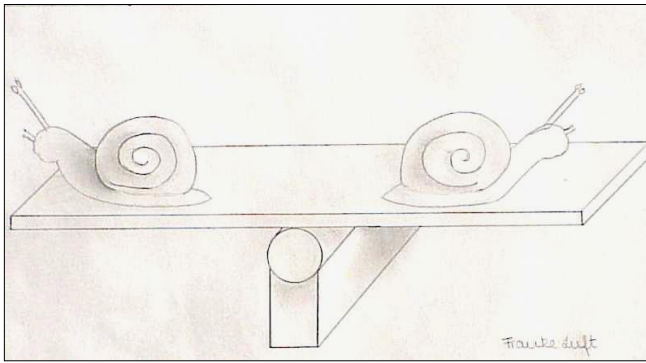
$$t_{bew} = t_{Ruhe} \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad \text{bzw.} \quad l_{bew} = l_{Ruhe} \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

- a) Formuliere in einem Satz, was man unter Zeitdilatation bzw. Längenkontraktion versteht.
 - b) Ein Raumfahrer in einem Raumschiff, das sich mit $v = 0,96 c$ relativ zur Erde bewegt, hat 45 min Mittagspause. Wie lang dauert seine Pause, wenn sie mit den Uhren auf der Erde gemessen wird?
 - c) Nach der Mittagspause rechnet er aus, dass er – bei gleichbleibender Geschwindigkeit – noch 27 Tage für seine Rückkehr zur Erde brauchen wird.
Welche Strecke muss er noch bis zur Erde zurücklegen?
Wie lang ist diese Strecke für den Beobachter im Raumfahrtzentrum auf der Erde?
 - d) Ein Koch kocht in einem Raumschiff ein Ei 4 Minuten lang. Für seinen Kollegen auf der Erde vergehen währenddessen 5 min 10s. Welche Geschwindigkeit hat das Raumschiff relativ zur Erde?
5. Eine kleine grüne Raumsonde vom grünen Planeten flitzt mit $v = 0,75c$ relativ zur Erde durchs Weltall. Der kleine grüne Pilot beobachtet eine kleine gelbe Raumsonde vom gelben Planeten, die mit $v = 0,5 c$ relativ zur grünen Raumsonde davonfliegt. Welche Geschwindigkeit hat die kleine gelbe Sonde relativ zur Erde?



Die Massenzunahme

Stell dir das einmal vor: Du sitzt im Sommer in der Sonne und badest im Sonnenlicht. Wohlsein ohne Ende! Nur ein paar Fliegen fliegen (deshalb heißen sie ja auch so) um dich herum. Dann die Katastrophe! Eine Fliege rast mit annähernd Lichtgeschwindigkeit in den Garten hinein und hat dabei eine Masse von circa 10 Tonnen Gibt es nicht? Oh, du Schnecke! Sieh dir dazu folgendes Bild an:



Zwei Schneckenzwillinge - Almut und Adele sind ihre Namen - beschließen, ein großes Experiment zu realisieren. Die Aufgabe ist, vom Mittelpunkt einer Wippe so zu beiden Seiten zu kriechen, dass die Wippe im Gleichgewicht bleibt. Wie das bei Zwillingen so ist, haben sie dasselbe Gewicht. Wenn beide dasselbe Gewicht haben, dann müssen sie stets denselben Abstand zur Mitte haben, um

das Gleichgewicht zu halten. Also müssen beide Schnecken mit derselben Geschwindigkeit kriechen.

Und so kriechen sie mit derselben Geschwindigkeit los.

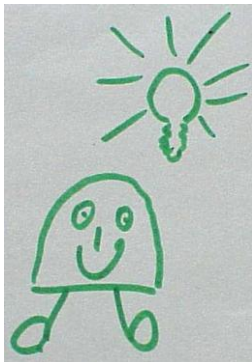
Jetzt geht's los! Jetzt geht's los! Jetzt geht's los! Jetzt geht's los! Jetzt geht's los!

Was geht los?

Angenommen, dass Almut und Adele mit derselben Geschwindigkeit *für einen Beobachter, der an der Mitte der Wippe steht*, sich von der Mitte fortbewegen, so bleibt die Wippe selbstverständlich im Gleichgewicht. Wenn aber für einen Beobachter die Wippe im Gleichgewicht bleibt, so muss das auch für jeden anderen Beobachter gelten. Nun betrachten wir die Situation mal *aus Sicht von Almut*: Almut wird sagen, dass sich der Mittelpunkt der Wippe mit der Geschwindigkeit v von ihr entfernt. Da Almut die Erkenntnisse von Albert, der Superschnecke, kennt, muss sie feststellen, dass sich Adele von ihr mit einer Geschwindigkeit entfernt, die kleiner ist als $2v$. (Warum? Wie muss sie die Geschwindigkeit von Adele berechnen?) Das bedeutet, dass Adele sich - aus Sicht von Almut - näher am Mittelpunkt der Wippe befindet und die Wippe trotzdem im Gleichgewicht ist. Das geht aber nur, wenn - aus Sicht von Almut - die Masse von Adele zugenommen hat.

Albert Einstein hat dazu folgende Formel gefunden:

$$m(v) = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$



Dabei steht m_0 für die sogenannte Ruhemasse und $m(v)$ für die bewegte oder auch dynamische Masse.

Das ist alles ganz schön merkwürdig, wird aber täglich an Experimenten mit schnellen Teilchen, z.B. Elektronen, bestätigt.

Aufgabe: Welche Masse hat eine Frau von 55 kg, wenn sie sich relativ zu dir mit $v = 0,5c$ ($0,9c / 0,99c$) bewegt?