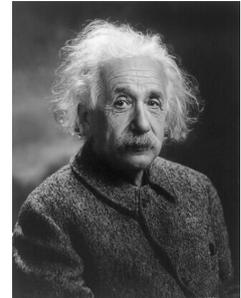


# RECHEN·BEISPIELE ZUR RELATIVITÄTS·THEORIE

**Hinweis:** Die Effekte der speziellen Relativitätstheorie machen sich erst bei hohen Geschwindigkeiten (ab  $0,5c$ ) bemerkbar.

Licht·geschwindigkeit  $c = 299\,792\,458\text{ m/s}$



Relativistischer Faktor: \_\_\_\_\_

**Relativ oder absolut?** Um den absoluten Unterschied zweier Größen zu berechnen, werden sie subtrahiert. Um ihren relativen Unterschied zu berechnen, werden sie dividiert – und das Ergebnis mit 100 multipliziert, um es in % darzustellen.

1. Welchen relativen Fehler weist eine Uhr auf, die täglich um 10 Minuten vorgeht?
  
2. Zeit·zeichen werden von Radio·sendern ausgestrahlt, um Uhren zu synchronisieren. Die Radio·wellen breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit aus. Angenommen, Sie leben 100 Kilometer von einem Radiosender entfernt und berücksichtigen die Laufzeit des Zeitzeichen·signals nicht. Wie groß ist der Fehler, wenn Sie Ihre Uhr danach stellen, im Vergleich zur „wirklichen“ Zeit, die vom Sender abgestrahlt wurde? Vergleichen Sie diesen Fehler mit dem Fehler der entsteht, wenn sich das Signal über Schall·wellen vom Lautsprecher des Radios zu Ihrem Ohr ausbreitet.
  
3. Ein Schiff befindet sich genau zwischen zwei Radiosendern, die jeweils 1000 Kilometer von ihm entfernt sind und Zeitsignale aussendet. Angenommen, es gibt den Äther doch, und die Position wird zwei mal mit unterschiedlichen Lichtgeschwindigkeit berechnet: einmal mit  $c+v$  und einmal mit  $c-v$  ein halbes Jahr später – wobei die Geschwindigkeit der Erde im Äther mit  $v=200\text{ km/s}$  angenommen wird. Welcher Fehler entsteht in der Positions·bestimmung?

Spezielle Relativitätstheorie	Beschreibung	Formel
Zeitdilatation		
Längenkontraktion		
Massenzunahme		
Energie-Masse Äquivalenz		

4. **Flug zu Alpha-Centauri:** Der nächste Fixstern ist Alpha-Centauri am südlichen Sternenhimmel. Seine Entfernung beträgt 4,5 Lichtjahre.
- Wie lange bräuchte ein Raumschiff, um zum Stern und wieder zur Erde zu gelangen, wenn seine Geschwindigkeit  $v=0,5c$  beträgt?
  - Wie verlängert sich aufgrund der Zeitdilatation die Reisedauer relativistisch für die Astronauten an Bord des Raumschiffes?
  - Welche Geschwindigkeit müsste das Raumschiff haben, damit für die Besatzung während der Reise nur ein Jahr vergeht?
5. **Zwilling unterwegs:** Ein Astronaut tritt mit 25 Jahren eine Weltraumreise an, die ihn mit  $v=(12/13)c$  durch das All führt. Bei der Rückkehr ist sein Zwillingbruder 69 Jahre alt. Wie alt ist der Astronaut?

6. **Rätselhafte Myonen:** Diese Elementarteilchen werden in der hohen Atmosphäre auf 20 km Höhe durch Höhenstrahlung erzeugt. Mit der Geschwindigkeit  $v=0,9998c$  fliegen sie zur Erde. Ihre mittlere Lebensdauer ist sehr kurz:  $2 \cdot 10^{-6}$  s
- a) Können sie in dieser Zeit den Erdboden erreichen?
- Sie zerfallen in so kurzer Zeit, dass sie eigentlich den Erdboden nicht erreichen können. Und doch werden sie gemessen. Der Grund liegt in der Relativitätstheorie. Es gibt zwei mögliche Erklärungen:
- a) Wie stark ist im Ruhesystem der Myonen die Strecke von 20km kontrahiert, und schaffen sie diese Strecke innerhalb ihrer Lebenszeit?
- b) Von der Erde aus gesehen: Wie lange ist ihre relativistisch verlängerte Flugzeit - und wie weit können sie daher in dieser verlängerten Flugzeit fliegen?
7. Bis zu welcher Geschwindigkeit muss ein Elektron beschleunigt werden, damit seine **dynamische Masse** auf den doppelten Wert der Ruhemasse ansteigt?
8. **Ein Gramm Masse** wird bei der Explosion einer Atom-bombe in Energie umgewandelt.
- a) Wie viel Joule sind das?
- b) Wie viel Wasser kann man mit dieser Energie zum Kochen bringen?
9. Die **Strahlungsleistung** der Sonne beträgt  $4 \cdot 10^{26}$  W. Um wie viel verringert sich dadurch die Masse der Sonne pro Sekunde?
10. Die **Energie von Elementarteilchen** wird in Elektronen-volt (eV) gemessen. Es gibt eine Umrechnung von eV in Joule (J), mit der Energie üblicherweise angegeben wird. Im DESY-Beschleuniger werden Elektronen auf die Energie von 7500 MeV gebracht.
- a) Wie groß ist die dynamische Masse der Elektronen?
- b) Wie schnell bewegen sich die Elektronen?