

Spezielle Relativitätstheorie:

Einsteins Postulate:

Inertialsysteme: Unter einem Inertialsystem versteht man ein Bezugssystem, in dem ein kräftefreier Körper in Ruhe verharrt oder sich geradlinig gleichförmig bewegt. Alle Bezugssysteme, die sich relativ zu einem IS geradlinig gleichförmig bewegen sind ebenfalls Inertialsysteme.

Prinzip der Konstanz der Lichtgeschw.:

Die Lichtgeschw. c nimmt in allen Inertialsystemen den gleichen Wert an.

Relativität der Gleichzeitigkeit:

Ob zwei Ereignisse an versch. Orten zur gleichen Zeit stattfinden oder nicht, hängt vom Bewegungszustand des Beobachters ab.

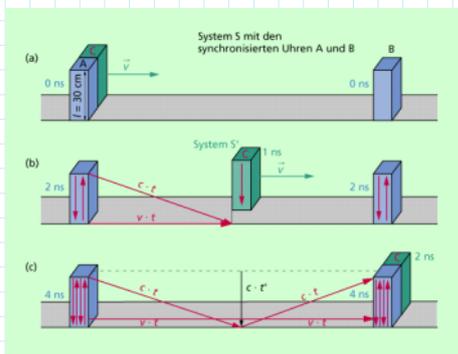
Zeitdilatation / Zeitdehnung:

Eine relativ zu einem Beobachter bewegte Uhr geht aus Sicht des Beobachters langsamer als eine Uhr im "Beobachter System".

Das Prinzip d. Konstanz der Lichtgeschw. und der Satz d. Pythagoras liefern:

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

t_0 ... Zeit im "Beobachter System"
 t ... Zeit im bewegten System



Längenkontraktion:

Für einen Beobachter ist die Länge eines relativ zu ihm bewegten Körpers in Bewegungsrichtung kleiner als für einen Beobachter in dessen System der Körper ruht.

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

l ... Länge des Körpers für den Beobachter
 l_0 ... Länge des Körpers im Ruhesystem

Relativistische Massenzunahme:

Die Masse eines Objekts ist keine konstante Größe sondern hängt von der Geschwindigkeit relativ zum Beobachter ab \rightarrow relativistische Massenzunahme

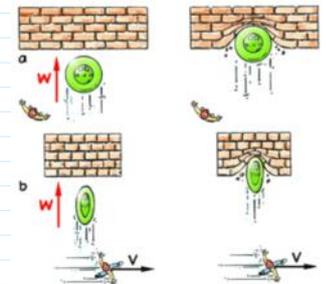
Dieser Effekt tritt auf, weil die Energie eines bewegten Objekts auch seine Masse erhöht.

$$m_b = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

m_b ... bewegte Masse
 m_0 ... Ruhemasse

Relativitätstheorie	Newton'sche Mechanik
Die Lichtgeschwindigkeit ist absolut. Daraus ergibt sich, dass Zeit und Raum relativ sind.	Zeit und Raum sind absolut. Daraus ergibt sich, dass die Lichtgeschwindigkeit relativ ist.

Tab. 11.1



Die Äquivalenz von Masse und Energie:

Aufgrund der relativistischen Massenzunahme muss auch die kinetische Energie des Körpers relativistisch "korrigiert" werden. Etwas Mathematik ergibt schließlich:

$$E = m \cdot c^2$$

Es handelt sich hierbei um die Gesamtenergie (Ruheenergie + kinetische Energie) des betrachteten Körpers. Weiters zeigt sich: **Energie und Masse sind äquivalent!**

Beispiele: Massendefekt bei Kernspaltung oder -fusion, Urkraft, Vorgänge in Teilchenbesch.

Allgemeine Relativitätstheorie (ART)

Die allgemeine Relativitätstheorie beschreibt Phänomene in Systemen, bei denen es sich um keine Inertialsysteme handelt!

\rightarrow Sie kommt dort zur Anwendung, wo Gravitationskräfte wirken.

Einstein beschreibt in der ART mithilfe von Feldgleichungen wie Masse und Energie die 4-dimensionale Raumzeit verändern.

Die Grundlage der ART ist Einsteins starkes Äquivalenzprinzip:

Es besagt, dass ein Beobachter in einem geschlossenen Labor ohne Wechselwirkung mit der Umgebung durch kein Experiment feststellen kann, ob er sich in Schwerelosigkeit fernab von Massen befindet oder im freien Fall nahe einer Masse.

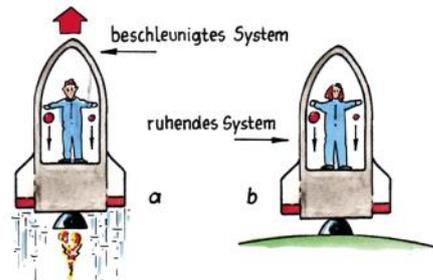


Abbildung Links:
Beschleunigtes System fernab einer Masse

Abbildung Rechts:
Ruhendes System in der Nähe eines massereichen Körpers

Träge und schwere Masse:

Trägheit eines Körpers: Widerstand gegen Änderung des Bewegungszustands

Schwere eines Körpers: Gibt an wie leicht oder schwer ein Körper ist

Der Unterschied bzw. die Gleichheit von träger und schwerer Masse konnte im Rahmen der klassischen Mechanik nicht erklärt werden.

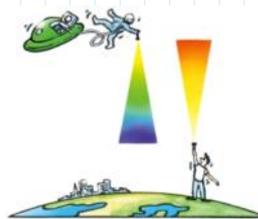
In der ART von Einstein wird die Reaktion von Körpern auf Gravitation hingegen nicht durch Kräfte sondern rein geometrisch erklärt.

Massen verzerren die Geometrie von Raum und Zeit und alle Körper bewegen sich auf den geradestmöglichen Bahnen durch diese verzerrte Raumzeit.

Frequenzverschiebung im Gravitationsfeld:

Laut SRT kann man auch Photonen eine Masse zuordnen. Das bedeutet das auch ein Lichtstrahl im Gravitationsfeld abgelenkt werden muss. Die Frequenz eines Photons bestimmt seine Energie ($E = h \cdot f$).

Beispiel: Streut ein Photon im Gravitationsfeld der Erde auf, so muss es aufgrund der wirkenden Schwerkraft Energie verlieren \rightarrow seine Frequenz sinkt (Rotverschiebung).



Beim Aufsteigen (Mensch, rechts) verlieren die Photonen Energie \rightarrow Rotverschiebung

Beim Absteigen (Astronaut, links) gewinnen die Photonen Energie \rightarrow Blauverschiebung

Die gravitative Rotverschiebung wurde von Einstein bereits 1911 vorhergesagt. Der experimentelle Beweis erfolgte erst 1959 durch Pound und Rebka.

Zum Aufsteigen im Gravitationsfeld muss das Photon die Hebearbeit $m \cdot g \cdot H$ verrichten. Masse, Energie und Frequenz des Photons f\u00fchren schlie\u00dflich zu:

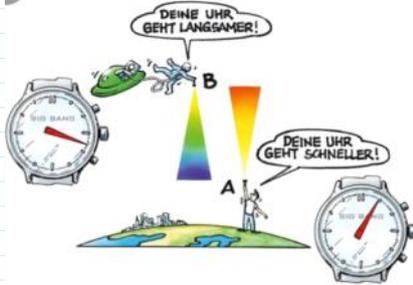
$$f_A = f_B \cdot \left(1 - \frac{g \cdot H}{c^2}\right)$$

f_A ... Frequenz Licht unten
 f_B ... Frequenz Licht oben
 g ... Erdbeschleunigung
 H ... H\u00f6he des oberen Photons

Zeitver\u00e4nderung im Gravitationsfeld:

Wir vergleichen den Gang zweier Uhren, die \u00fcber die Frequenz des Lichts gesteuert werden (siehe Abbildung). Ergebnis des Vergleichs:

Uhren in der N\u00e4he einer Masse gehen langsamer.



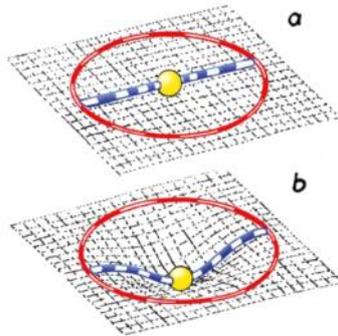
$$T_A = T_B \cdot \left(1 - \frac{g \cdot h}{c^2}\right)$$

T_A ... Zeit unten
 T_B ... Zeit oben
 g ... Erdbeschleunigung
 h ... H\u00f6henunterschied

L\u00e4ngen\u00e4nderung im Gravitationsfeld:

Die zuvor festgestellte Zeit\u00e4nderung muss sich auch auf die L\u00e4nge eines Ma\u00dfstabs auswirken - die Lichtgeschw. bleibt ja immer konstant.

Ma\u00dfst\u00e4be in der N\u00e4he einer Masse sind k\u00fcrzer.



$$L_A = L_B \cdot \left(1 - \frac{g \cdot h}{c^2}\right)$$

L_A ... L\u00e4nge des 'unteren' Ma\u00dfstabs
 L_B ... L\u00e4nge des 'oberen' Ma\u00dfstabs
 g ... Erdbeschleunigung
 h ... H\u00f6henunterschied