

# **RELATIVITÄTSTHEORIE**

## **Relativitätsprinzip**

### *Altes Relativitätsprinzip*

Jede Bewegung spielt sich in allen Bezugssystemen so ab, als ob diese ruhen würden. Daher ist jede Bewegung relativ, da das jeweilige ruhende Bezugssystem frei gewählt werden kann.

### *Konsequenz*

Es gibt keinen absoluten Ruhezustand.

## **Inertialsysteme**

Inertialsysteme sind räumliche Bezugssysteme, in denen ein kräftefreier Körper in Ruhe oder in geradlinig gleichförmiger Bewegung verharrt.

## **Grundprinzipien**

### *Relativitätsprinzip*

Naturgesetze haben in allen Inertialsystemen die gleiche Form.

### *Prinzip der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit*

Die Lichtgeschwindigkeit ist vom Bewegungszustand der Lichtquelle und des Beobachters unabhängig. Die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum beträgt in jedem Inertialsystem:  $c_0 = 299\,792\,458 \frac{m}{s}$ , siehe Naturkonstanten.

## ***Relativistische Kinematik***

---

### **Zeitdilatation**

#### *Herleitung*

Wir unterscheiden zwischen: *ruhender Beobachter* und *bewegter Beobachter*

- **ruhender Beobachter**

$$2D = c_0 \cdot \Delta t_0$$

$$\Leftrightarrow D = \frac{1}{2} \cdot c_0 \cdot \Delta t_0$$

und

$$\Delta t_0 = \frac{2D}{c_0}$$

- **Bewegter Beobachter**

Nach Pythagoras:

$$\left(c_0 \frac{\Delta t}{2}\right)^2 = \left(\frac{1}{2} \cdot c_0 \cdot \Delta t_0\right)^2 + \left(v \frac{\Delta t}{2}\right)^2$$

$$\Leftrightarrow c_0^2 \cdot \Delta t^2 = c_0^2 \cdot \Delta t_0^2 + v^2 \cdot \Delta t^2$$

$$\Leftrightarrow \Delta t^2 (c_0^2 - v^2) = c_0^2 \cdot \Delta t_0^2$$

$$\Leftrightarrow \Delta t^2 = \frac{c_0^2}{c_0^2 - v^2} \cdot \Delta t_0^2$$

$$\Leftrightarrow \Delta t_0^2 = \frac{c_0^2}{c_0^2} - \frac{v^2}{c_0^2} \cdot \Delta t^2$$

$$\Leftrightarrow \Delta t_0^2 = 1 - \frac{v^2}{c_0^2} \cdot \Delta t^2$$

$$\Leftrightarrow \Delta t^2 = \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c_0^2}} \cdot \Delta t_0^2$$

$$\Leftrightarrow \Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}}$$

mit  $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}}$

$$\Delta t = \Delta t_0 \cdot \gamma$$

### ***Beobachtungen***

1.  $\gamma > 1$
2.  $\Delta t > \Delta t_0$

$\Delta t$ , bewegte Zeit

$\Delta t_0$ , Eigenzeit, ruhende Zeit

- **Zusammenfassung**

Benötigt ein Vorgang in einem dazu ruhenden Bezugssystem die Zeitdauer  $\Delta t_0$ , so läuft der gleiche Vorgang in einem dazu bewegten Bezugssystem in der Zeit  $\Delta t$  ab:

$$\Delta t = \Delta t_0 \cdot \gamma = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}}$$

mit  $v$  als Relativgeschwindigkeit zwischen den Bezugssystemen.

## **Längenkontraktion**

Hat eine Strecke in einem zu ihr ruhenden System eine Länge  $x_0$ , so hat die gegen den Beobachter in Längsrichtung bewegte Strecke eine kleinere Länge  $x$ :

$$x = \frac{x_0}{\gamma} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \cdot x_0$$

### ***Bemerkung***

Die im Ruhesystem gemessene Länge heißt Eigenlänge.

## **Dynamische Masse**

Bewegt sich ein Körper der Ruhemasse  $m_0$  mit der Geschwindigkeit  $v$ , so beträgt seine dynamische Masse  $m$ :

$$m = m_0 \cdot \gamma = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}}$$

## **Masse-Energie-Relation**

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

Jede Massenänderung bedeutet eine Energieänderung und umgekehrt.

### ***Bemerkung***

Der Satz von Lavoisier: Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme, ist also mit dieser Formel ungültig.

Die gesamte Energie eines bewegten Körpers besteht aus seiner Ruheenergie  $E_0 = m_0 \cdot c^2$  und seiner kinetischen Energie  $E_{kin}$ :

$$E = m \cdot c^2 = m_0 \cdot c^2 + E_{kin}$$

## **Massendefekt**

Jeder Atomkern ist aus Nukleonen (Protonen und Neutronen) aufgebaut, die durch starke Kernkräfte aneinander gebunden sind. Um ein Nukleon aus dem Atomkern zu entfernen, muss man Arbeit gegen die Kernkräfte verrichten, also Energie aufwenden. Baut man den Atomkern dagegen aus Nukleonen auf, so wird Energie frei, die Kernbindungsenergie.

Diese Energieabgabe entspricht wegen der Masse-Energie-Beziehung einer Abnahme der Ruhemasse der zum Atomkern vereinigten Nukleonen um  $\Delta m_0$ .

Die Masse des vereinigten Atomkerns ist stets kleiner als die Summe der

Massen der einzelnen Nukleonen. Diese Differenz  $\Delta m_0$  heißt Massendefekt.

Allgemein gilt für den Massendefekt:

$$\Delta m_0 = (Z \cdot m_{0P} + N \cdot m_{0n}) - m_{0k}$$

$Z$ , Protonenanzahl

$N$ , Neutronenanzahl

$m_{0P}$ , Ruhemasse des Protons

$m_{0n}$ , Ruhemasse des Neutron

$m_{0k}$ , Gesamt – Ruhemasse des Atomkerns

Die Masse eines Atomkerns ist immer kleiner als die Summe der Nukleonenmassen. Die der Massendifferenz entsprechende Energie ist die Kernbindungsenergie, welche beim Zusammenfügen des Atomkerns aus seinen Nukleonen frei wird.