

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. $\Delta t > \Delta t_0$

Δt , bewegte Zeit

Δt_0 , Eigenzeit, ruhende Zeit

- **Zusammenfassung**

Benötigt ein Vorgang in einem dazu ruhenden Bezugssystem die Zeitdauer Δt_0 , so läuft der gleiche Vorgang in einem dazu bewegten Bezugssystem in der Zeit Δt 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 Δm_0 .

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

Massen der einzelnen Nukleonen. Diese Differenz Δm_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.