

Relativitätstheorie

1. Relativitätsprinzip: Alle Inertialsysteme sind bezüglich physikalischer Gesetze gleichberechtigt
2. Konstanz der Lichtgeschwindigkeit: Die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum ist unabhängig von der Bewegung der Quelle und vom Inertialsystem, in dem sie gemessen wird

Inertialsystem = Bezugssystem in dem das Trägheitsgesetz gilt (Trägheit lat. Inertia)

Michelson - Experiment

- 1881 erste Durchführung
- bis dahin: Licht braucht "Äther"
- je nach Bewegungsrichtung Interferenzmuster
- Ergebnis: keine Verschiebung im Interferenzmuster
- Auswertung: Erde liegt im Äther

Klassische Physik

Die klassische Physik geht von einem absoluten Raum und einer absoluten Zeit aus.

Die klassischen Vorstellungen von Raum und Zeit:

- Raum und Zeit existieren objektiv und insbesondere auch unabhängig vom Bewegungszustand eines Körpers.
- Es gibt keine Wechselbedingungen zwischen Raum und Zeit, d.h., sie beeinflussen sich nicht gegenseitig.
- Der Raum ist unendlich ausgedehnt. Alle Punkte und alle Richtungen des Raumes sind gleichberechtigt.
- Die Zeit ist unendlich ausgedehnt und nur von einer Dimension. Alle Zeitpunkte sind gleichberechtigt.
- Raum und Zeit sind universell, d.h., die räumlichen Abmessungen eines Körpers und die Zeitdauer eines Vorgangs sind unabhängig vom Bezugssystem.

Die Gleichungen, die es ermöglichen, die räumlichen und zeitlichen Koordinaten eines Punktes von einem Inertialsystem in ein anderes umzurechnen, werden als Galilei - Transformation bezeichnet.

Umrechnung von S nach S' Umrechnung von S' nach S

$$x' = x - v \cdot t$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = t$$

$$x = x' + v \cdot t'$$

$$y = y'$$

$$z = z'$$

$$t = t'$$

Von der Wahl des Bezugssystems unabhängig und damit invariant gegenüber der Galilei-Transformation sind Zeit, Länge, Beschleunigung, Masse und Kraft. Nicht invariant sind dagegen Weg und Geschwindigkeit.

1.

- gegeneinander bewegte Uhren zeigen verschieden lange Zeitspannen an
- bewegte Uhren gehen nach
- Zwillingparadoxon: schnell bewegte Körper altern langsamer?

für GPS: Zeitunterschied von einer Millionstelsekunde ergibt
Entfernungsunterschied von etwa 300m
Lösung: Frequenz der "Uhr" im Satelliten ist größer

Relativität der Gleichzeitigkeit:

Zwei Ereignisse, die in einem Inertialsystem S gleichzeitig stattfinden,
erfolgen in einem dazu bewegten Inertialsystem S' nicht gleichzeitig.

2. In einem Ruhesystem dauert ein physikalischer Vorgang am kürzesten (Eigenzeit).
Von einem dazu bewegten System aus wird die Zeitdauer des gleichen Vorgangs
größer gemessen. Von jedem Inertialsystem aus erscheint die Zeitdauer für einen
Vorgang in einem dazu bewegten Inertialsystem gedehnt. Für die Zeitdilatation gilt:

$$t = t' \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad t \text{ im Inertialsystem}$$

c... Lichtgeschwindigkeit

t'... Zeit im Inertialsystem S'

v... Relativgeschwindigkeit zwischen S und S'

In der speziellen Relativitätstheorie sind Raum und Zeit untrennbar miteinander
verbunden. Man spricht deshalb auch von der Raum-Zeit.

3. Lorentz - Transformation

Umrechnung von S nach S'

$$x' = \frac{x - v \cdot t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = k \cdot (x - v \cdot t)$$
$$y' = y$$
$$z' = z$$

Umrechnung von S' nach S

$$x = \frac{x' + v \cdot t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = k \cdot (x' + v \cdot t')$$
$$y = y'$$
$$z = z'$$

$$t' = \frac{t - \frac{v}{c^2} \cdot x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = k \cdot \left(t - \frac{v}{c^2} \cdot x \right)$$
$$t = \frac{t' + \frac{v}{c^2} \cdot x'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = k \cdot \left(t' + \frac{v}{c^2} \cdot x' \right)$$

Relativistische Dynamik

Masse - Energie - Äquivalenz

- Kernfusion: Masse einzelner Protonen größer als Masse des verschmolzenen Kerns (Massendifferenz = Bindungsenergie der Nukleonen)
- Kernspaltung: Bruchstücke haben zusammengefügt kleinere Masse als gespalteter Kern

⇒ Massendefekt wird als E_{kin} frei

- Jede Form von Energie ist träge und Masse ist eine Form von Energie: $E = m \cdot c^2$

Allgemeine Relativitätstheorie

- bezieht Gravitation mit ein

$$F = \gamma \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

$$F_G = F_{\text{Gravitation}}$$

$$m_2 \cdot g = \gamma \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

- Einbeziehung beschleunigter Bezugssysteme
- Die Schwere und die Trägheit eines Körpers sind ununterscheidbare Eigenschaften. In frei fallenden Systemen gilt die spezielle Relativitätstheorie.