

## 6 Relativität

### 6.1 Relativbewegung

Beobachter, die sich relativ zueinander bewegen, messen verschiedene Geschwindigkeiten und Beschleunigungen:

$$\underbrace{v(t)}_{\text{relativ zu } O} = \frac{dR(t)}{dt} + \underbrace{v'(t)}_{\text{relativ zu } O'}$$

$$\underbrace{a(t)}_{\text{relativ zu } O} = \frac{d^2 R(t)}{dt^2} + \underbrace{a'(t)}_{\text{relativ zu } O'}$$

### 6.2 Scheinkräfte

Ein **Inertialsystem** ist ein Bezugssystem, in dem die Newtonschen Gesetze gelten. Es ist *nicht beschleunigt*.

Die **Zentrifugalkraft** ist eine fiktive, nach aussen gerichtete Kraft:

$$F_{ZF} = m(r'\omega^2)e_r$$

Die **Corioliskraft** wirkt senkrecht zur radialen Geschwindigkeit:

$$F_C = m(2v'\omega)e_\varphi$$

*Hinweis:* Ein Bezugssystem, das feste Koordinaten relativ zur Erdoberfläche hat ist kein Inertialsystem, da die Erde sich dreht/beschleunigt ist.

### 6.3 Transformationen

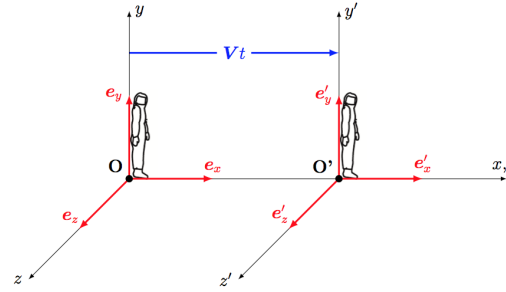
#### 6.3.1 Ereignisse

$$x^\mu \equiv (ct, x, y, z)$$

wobei das Produkt  $ct$  die Lichtgeschwindigkeit  $[\frac{m}{s}]$  mal die Zeit  $[s]$  ist.

#### 6.3.2 Galileitransformation

Wir betrachten zwei Beobachter  $O$  und  $O'$ , die sich relativ zueinander mit *konstanter Geschwindigkeit* bewegen.



Bewegt sich der Beobachter  $O'$  in positive Richtung der x-Achse des Bezugssystems  $O$ , so ist die Transformation gleich

$$\begin{cases} ct' = ct \\ x' = x - \beta ct \\ y' = y \\ z' = z \end{cases} \quad \text{von } O \text{ nach } O'$$

$$\begin{cases} ct = ct' \\ x = x' + \beta ct' \\ y = y' \\ z = z' \end{cases} \quad \text{von } O' \text{ nach } O$$

wobei der **Geschwindigkeitsparameter**  $\beta = \frac{V}{c}$  ist.

#### 6.3.3 Lorentz-Transformation

Der **Lorentz-Faktor** ist gleich

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

Dann ist die Transformation gleich

$$\begin{cases} ct' = \gamma(ct - \beta x) \\ x' = \gamma(x - \beta ct) \\ y' = y \\ z' = z \end{cases} \quad \text{von } O \text{ nach } O'$$

$$\begin{cases} ct = \gamma(ct' + \beta x') \\ x = \gamma(x' + \beta ct') \\ y = y' \\ z = z' \end{cases} \quad \text{von } O' \text{ nach } O$$

#### 6.3.4 Geschwindigkeitstransformation

Der **Geschwindigkeitsvektor**  $u$  bezüglich  $O$  kann wie folgt berechnet werden

$$u_x = \frac{u'_x + V}{1 + \frac{\beta}{c} u'_x}$$

$$u_y = \frac{u'_y}{\gamma(1 + \frac{\beta}{c} u'_x)}$$

### 6.4 Relativitätstheorie

#### 6.4.1 Raumzeit-Intervall

Räumliche und zeitliche Entfernungen sind in verschiedenen Bezugssystemen unterschiedlich. Nur das **Raumzeit-Intervall**  $\Delta s$  ist gleich für alle Beobachter.

$$\Delta s^2 = \underbrace{(c\Delta t)^2}_{\text{zeitliche Entfernung}} - \underbrace{\Delta r^2}_{\text{räumliche Entfernung}}$$

#### 6.4.2 Zeitdilatation

Das in einem bewegten Bezugssystem gemessene Zeitintervall ist immer um den Faktor  $\gamma$  grösser als das Eigenzeitintervall:

$$\underbrace{\Delta t'}_{\text{bezüglich } O' \text{ gemessene Zeit}} = \underbrace{\gamma \cdot \Delta \tau}_{\text{bezüglich } O \text{ gemessene Zeit}}$$

wobei  $\Delta \tau$  das Eigenzeitintervall ist (Zeit im Ruhesystem gemessen).

Daraus folgt, dass Vorgänge länger zu dauern scheinen, wenn sie in einem System ablaufen, das sich relativ zum Beobachter bewegt.

#### 6.4.3 Längenkontraktion

Die räumliche Entfernung zwischen zwei Punkten erscheint geringer, wenn sich der Beobachter relativ zu diesen Punkten bewegt, als wenn er relativ zu ihnen ruht:

$$\underbrace{\Delta x'}_{\text{bezüglich } O' \text{ gemessene Länge}} = \underbrace{\frac{\Delta x}{\gamma}}_{\text{bezüglich } O \text{ gemessene Länge}}$$

wobei  $\Delta\lambda$  die Eigenlänge ist (Länge im Ruhesystem gemessen).

$$1 \text{ electronVolt} = 1.6 * 10^{-19} J$$