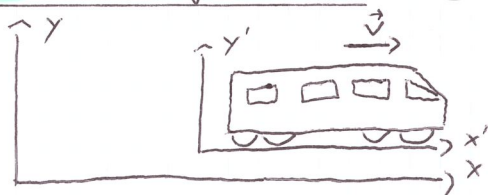


Spezielle Relativitätstheorie

Galileitransformation



$$x = x' + vt'$$

$$x' = x - vt$$

$$y = y'$$

$$t = t'$$

Aether

Medium für Luft \rightarrow Wie Wasser

Experiment: Es existiert kein Aether \rightarrow c immer gleich schnell

Lorentz transformation

Zeitdilatation: $\Delta t = \gamma \cdot \Delta t'$

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

„Bewegte Uhren gehen langsamer“

Längenkontraktion: $l' = \frac{1}{\gamma} l$

„Distanz kürzer in Bewegung“

$$x = \gamma (x' + vt')$$

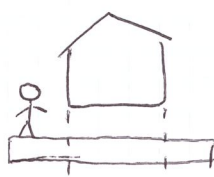
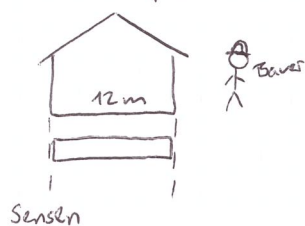
$$x' = \gamma (x - vt)$$

$$t = \gamma \left(t' + \frac{v}{c^2} x' \right)$$

$$t' = \gamma \left(t - \frac{v}{c^2} x \right)$$

Gleichzeitigkeit

Schienenparadoxon:



Wird Stab zerschnitten?

- Nein, Sensen gehen nicht gleichzeitig herunter

	S	S'
E ₁	x ₁ ; t ₁	x' ₁ ; t' ₁
E ₂	x ₂ ; t ₂	x' ₂ ; t' ₂

Transformation Geschwindigkeit

$$u_x = \frac{u'_x + v}{1 + \frac{v}{c^2} u'_x}$$

Impuls und Energie

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m v^2 \rightarrow \text{geht nicht} \rightarrow \gamma \quad E_{\text{kin}} = \gamma m c^2 - m c^2$$

$$\vec{p} = \gamma m \cdot \vec{v} \quad \leftarrow \text{neu} \quad \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \quad \leftarrow \text{wir kennen } F = m \cdot a$$

Bsp. Aufgaben

Protonen auf Kreisbahn: geg. $2r = 2.2 \text{ km}$ $E_{\text{kin}} = 450 \text{ GeV}$

a) $\gamma = ?$ $E_{\text{kin}} = \gamma m c^2 - m c^2 = m c^2 (\gamma - 1)$ $\sqrt{450 \cdot 10^9 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J}}$

Ruhemasse

$$\gamma - 1 = \frac{E_{\text{kin}}}{m c^2} \rightarrow \gamma = \frac{E_{\text{kin}}}{m c^2} + 1$$

$$m \approx 1u = 1.7 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \quad c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\gamma = \frac{450 \text{ GeV}}{1u \cdot c^2} + 1 = 484 \rightarrow \text{rel. Masse ist 484 Mal gr\u00f6\u00dfer als Ruhemasse}$$

b) $v = ?$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad |()^2$$

$$\gamma^2 = \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad | \dots$$

$$v = c \sqrt{1 - \frac{1}{\gamma^2}} = c \cdot 0.9999979$$

c) $B = ?$

$$\vec{F}_Z = \vec{F}_L$$

$$\vec{F}_Z = ?$$

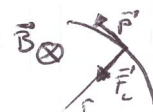
$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d}{dt} \gamma m \vec{v}$$

$$= \frac{d\gamma}{dt} m \vec{v} + \gamma m \frac{d\vec{v}}{dt} \quad \text{[Produktregel]}$$

$$= \frac{d\gamma}{dt} m \vec{v} + \gamma m a = \gamma m a$$

0 weil
 $|\vec{v}|$ konst.

$$\hookrightarrow \vec{F}_Z = \gamma \frac{m v^2}{r}$$



$$\gamma \frac{m v^2}{r} = q v B \quad | : q$$

$$\gamma \frac{m v}{q r} = B \stackrel{v \approx c}{=} \gamma \frac{m c^2}{q r c} = \frac{\gamma \cdot E_{\text{kin}}}{q r c}$$

d) v -klassisch berechnet = ? $E = \frac{1}{2} m v^2 \rightarrow v = \sqrt{\frac{2E}{m}} = 9.2 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \gg c$

R\u00f6ntgenr\u00f6hre: a) v -klassisch = ? $\frac{1}{2} m v^2 = eU \rightarrow v = \sqrt{\frac{2eU}{m}} = 1.68 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

b) v -relativ = ? $\Delta E = \gamma m c^2 - m c^2 = eU$

$$\gamma = \frac{eU}{m c^2} + 1 = 1.165$$

$$v = c \sqrt{1 - \frac{1}{\gamma^2}} = 0.5c$$

Abweichung

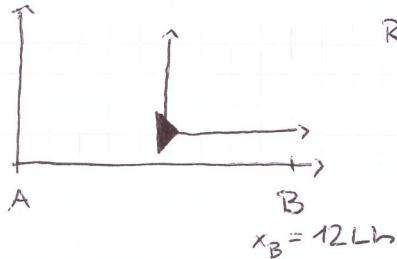
Sonstiges

Keine Längenkontraktion senkrecht zu Bewegungsrichtung, weil ...



⚡ In beiden Systemen wäre die jeweils andere Stange beschädigt.

Pilzkutter:



Reisedauer für Pilze: $v\Delta t = 12Lh$

$$\Delta t = \frac{12Lh}{0.8c} = 15h$$

$$\Delta t' = \frac{\Delta t}{\gamma} = 9h$$

Spannung: $W = \Delta E$

$$eU = (\gamma - 1)mc^2 \quad | : e$$

$$U = \frac{(\gamma - 1)mc^2}{e} \approx 0.51 \text{ MV}$$

Länge eines Stabes messen: Gleichzeitig messen! $(x'_2 - x'_1)$