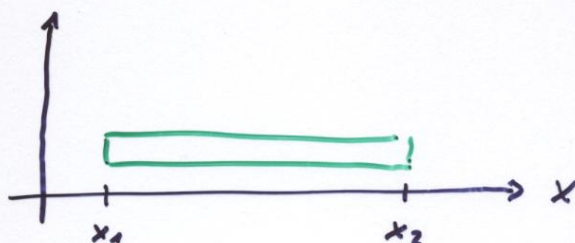


zu 4.2.4 Relativ. Effekte

2. Längenkontraktion

Ein Stab der Länge L' erscheint
im Ruhesystem eines Beobachters verkürzt:

$$L = \frac{1}{\gamma} L'$$

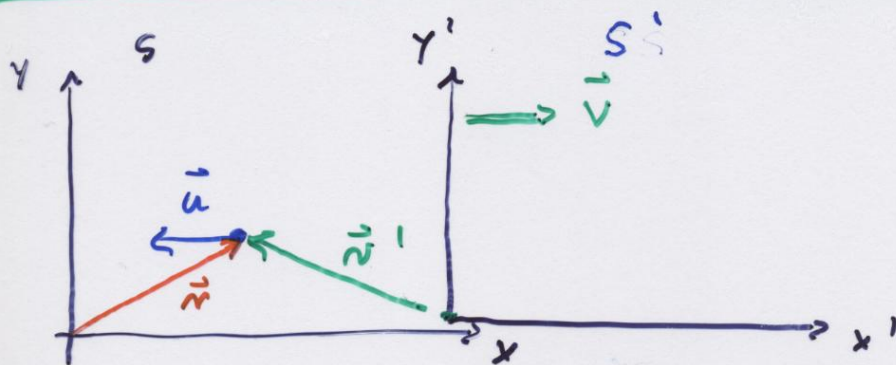


$$x_2' = \gamma \cdot (x_2 - vt)$$

$$x_1' = \gamma \cdot (x_1 - vt)$$

$$\Rightarrow x_2' - x_1' = \gamma (x_2 - x_1)$$

3. Addition von Geschwindigkeiten



$$x(t) = -u \cdot t$$

$$\begin{aligned} x'(t) &= \gamma \cdot (x(t) - v \cdot t) \\ &= \gamma \cdot (-(u+v)t) \end{aligned}$$

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

$$u' = \frac{x'}{t'} = \frac{u+v}{1 + \frac{u \cdot v}{c^2}} < c$$

Bsp: (i) $u = 0,8c$ $v = 0,8c$

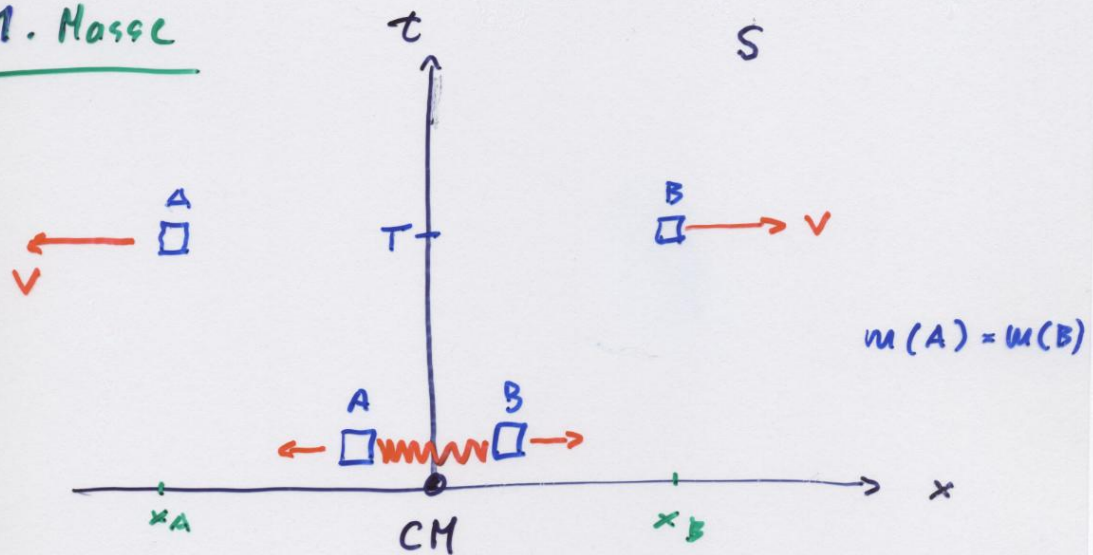
$$\Rightarrow u' = \frac{1,6c}{1,64} = 0,98c$$

(ii) $u = c$, $v = 0,8c$

$$u' = c$$

4.3. Relativistische Dynamik

1. Masse



Betrachtung im System A :

- S bewegt sich mit v nach rechts
- B bewegt sich mit $w = \frac{2v}{1 + \frac{v^2}{c^2}}$

für $t = T$:

- A befindet sich bei $x_A = -v \cdot T$
- B " bei $x_B = w \cdot T - v \cdot T$

(CM ruht in S)

$$CM: -m_A \cdot v \cdot T + m_B' (w-v)T = 0$$

$$\Rightarrow m_B' \neq m_B \\ \neq m_A$$

$$m_B' = m_A \cdot \frac{v}{w-v}$$

$$= m_A \cdot \frac{v}{\frac{2v}{1+\frac{v^2}{c^2}} - v}$$

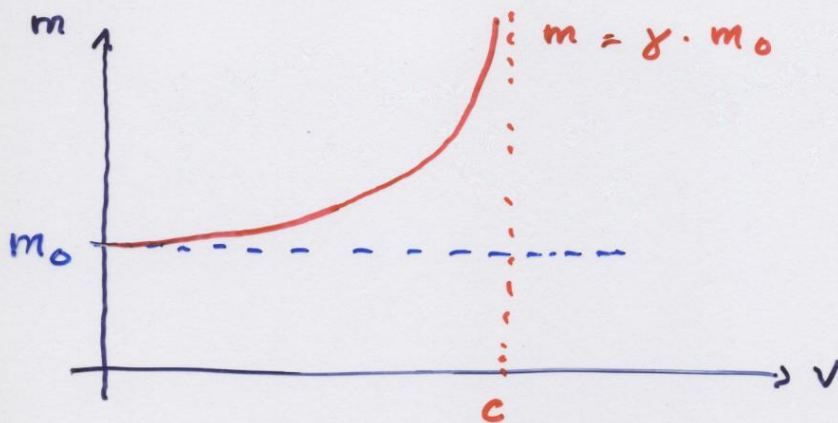
$$= m_A \cdot \frac{c^2 + v^2}{c^2 - v^2}$$

$$= m_A \cdot \sqrt{\frac{c^4 + 2c^2v^2 + v^4}{c^4 + 2c^2v^2 + v^4 - 4c^2v^2}}$$

$$= m_A \cdot \sqrt{\frac{1}{1 - \frac{w^2}{c^2}}} = \gamma \cdot m_A \\ = \gamma \cdot m_B$$

Wenn in Ruhe:

$$m_A = m_B$$



Anwendung an Teilchenbeschleunigern

LEP: Elektronen $m_0 = 5 \cdot 10^5 \text{ eV}$

$$\rightarrow m = 100 \text{ GeV}/c^2$$

$$\Rightarrow \gamma = 200\,000$$

2. Impuls

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v} = \gamma \cdot m_0 \cdot \vec{v}$$

3. Kraft

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

$$= \frac{d}{dt} (\gamma \cdot m_0 \cdot \vec{v}(t))$$

$$= \frac{d}{dt} \left(\frac{m_0 \vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \right)$$

$$= \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{\gamma} \right) m_0 \vec{v} + \frac{1}{\gamma} m_0 \vec{a}$$

$$\vec{F} = \gamma^3 m_0 a \left(\frac{v^2}{c^2} \vec{e}_v + \frac{1}{\gamma^2} \vec{e}_a \right)$$

4. Energie

$$E_k = \int \vec{F} d\vec{s} = \int \frac{d}{dt} (m \vec{v}) d\vec{s}$$

hier: $\vec{F} \parallel d\vec{s}$
 $\vec{v} \parallel d\vec{s}$

$$= \int \frac{d}{dt} (m v) ds$$

$$= \int (m \cdot dv + v \cdot dm) v$$

↑
klassisch: 0

$$= \int m v dv + v^2 dm$$

mit $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$: $m^2 c^2 - m^2 v^2 = m_0^2 c^2$

$$\Rightarrow 2 m c^2 dm - 2 v m^2 dv - 2 m v^2 dm = 0$$

$$\Rightarrow m v dv + v^2 dm = c^2 dm$$

$$E_k = \int_{m(v=0)}^{m(v_0)} c^2 dm = m(v_0) c^2 - m_0 c^2$$

$$= m_0 c^2 (\gamma - 1)$$

Gesamtenergie einer Masse

$$E = E_k + m_0 c^2 \quad (+ E_p)$$

$$E = \gamma \cdot m_0 c^2$$

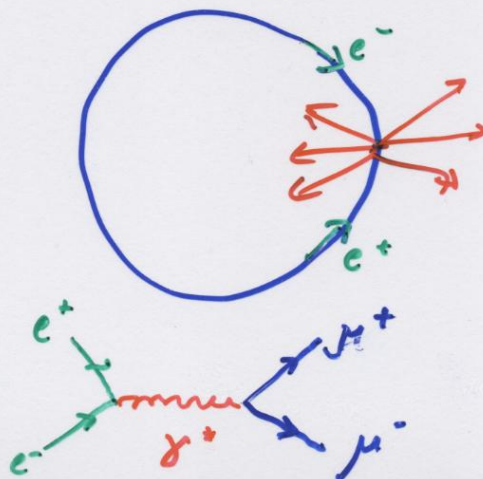
Für $v \ll c$: $\gamma \approx 1 + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2}$

$$E_k = m_0 c^2 (\gamma - 1)$$

$$\approx \frac{m_0 c^2}{2} \frac{v^2}{c^2}$$

$$= \frac{1}{2} m_0 v^2 \quad \checkmark$$

Anwendung: Umwandlung von kin. Energie
in Masse



Neue Teilchen
aus Energie

Anmerkung zu 4.3.

zu 4. Energie

$$E = \gamma m_0 c^2 \quad (E_k + m_0 c^2)$$

$$E^2 = \gamma^2 m_0^2 c^4$$

$$= m_0^2 c^4 \left(1 + \frac{v^2}{c^2 - v^2} \right)$$

$$= m_0^2 c^4 + \gamma^2 m_0^2 c^2 v^2$$

$$= m_0^2 c^4 + \vec{p}^2 c^2$$

$$\bullet \quad E = c \sqrt{m_0^2 c^2 + \vec{p}^2}$$

$$\left\{ \begin{aligned} &= |\vec{p}| c \\ &= \sqrt{E^2 - c^2 \vec{p}^2} \end{aligned} \right. !$$

$$P = \begin{pmatrix} E/c \\ \vec{p} \end{pmatrix} \quad \left. \begin{array}{l} \text{ Vierer-} \\ \text{ vektor} \end{array} \right\}$$

für $v \ll c$: $E_{kin} = E - m_0 c^2$
 $\approx \frac{\vec{p}^2}{2m_0}$

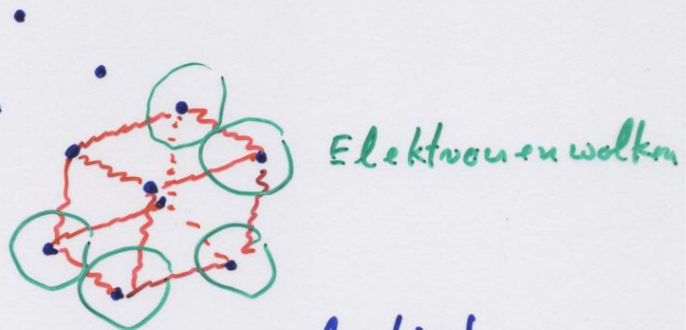
5 Mechanik fester Körper und Flüssigkeiten

5.1. Feste Körper

Form von Materie, in der interatomare Kräfte zu dreidimensionalen stabilen Anordnungen von Atomen führen.

Kristalle: Regelmäßige Anordnungen

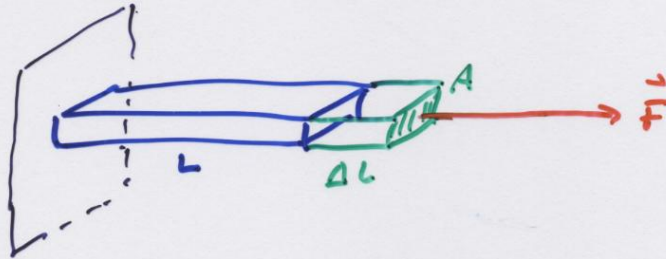
Amorphe F-K: Unregelmäßige



- Äußere Kräfte führen zu elastischen Deformationen
- Wärme wird durch Atomschwingungen hervorgerufen

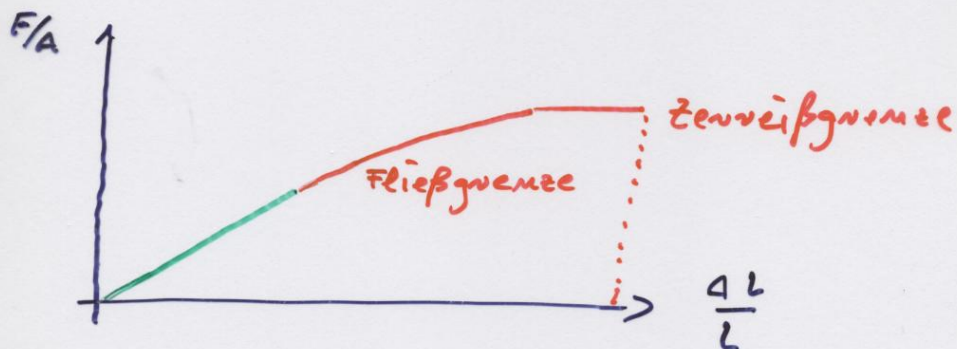
1. Elastische Verformung

a) Hookesches Gesetz

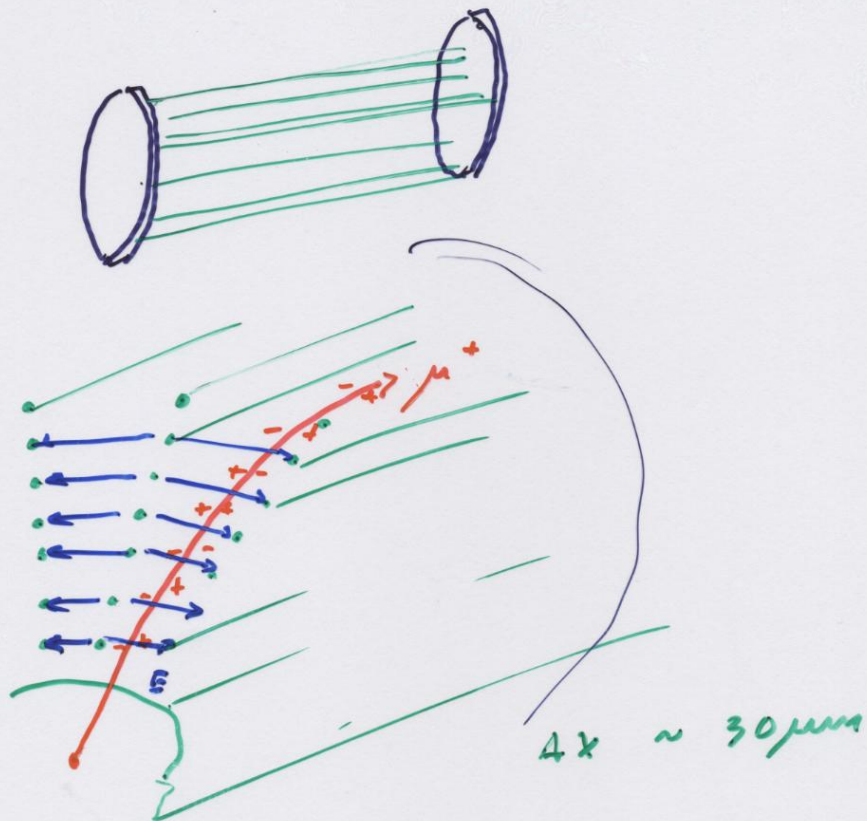


$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{F}{A} \cdot \frac{1}{E}, \quad E: \text{Elastizitätsmodul}$$

$$[E] = \frac{N}{m^2}$$



Anwendung: Driftkammer



ϕ Dicht 20µm

Spannung: 80p