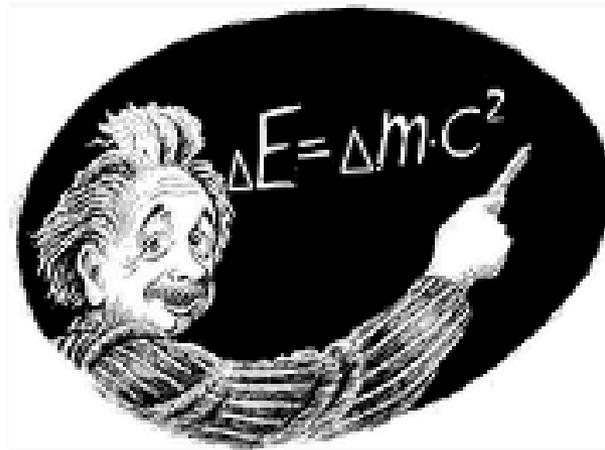


# Masse-Energie Beziehung



In der klassischen Physik gelten ...

- (1) der Satz der Erhaltung der Energie
- (2) der Satz der Erhaltung der Masse

... unabhängig voneinander.

Neue wissenschaftliche Erkenntnisse lieferten nicht erklärbare Ergebnisse:

- lichtelektrischer Effekt
- Energiebilanz bei radioaktiven Strahlungen
- Massendefekt bei Kernprozessen

Physik  
JS 12

### Experimentelle Beobachtungen:

*Werden elektrische Teilchen (z.B. Elektronen) in elektrischen Feldern stark beschleunigt, so steigt ihre Masse mit der Geschwindigkeit an.*



Teilchenbeschleuniger

**→ Relativität der Masse**

Die Masse eines Körpers (Teilchens), die ein Beobachter registriert, der sich gegenüber dieses Körper in Ruhe befindet nennt man

**Ruhemasse**  $m_0$ .

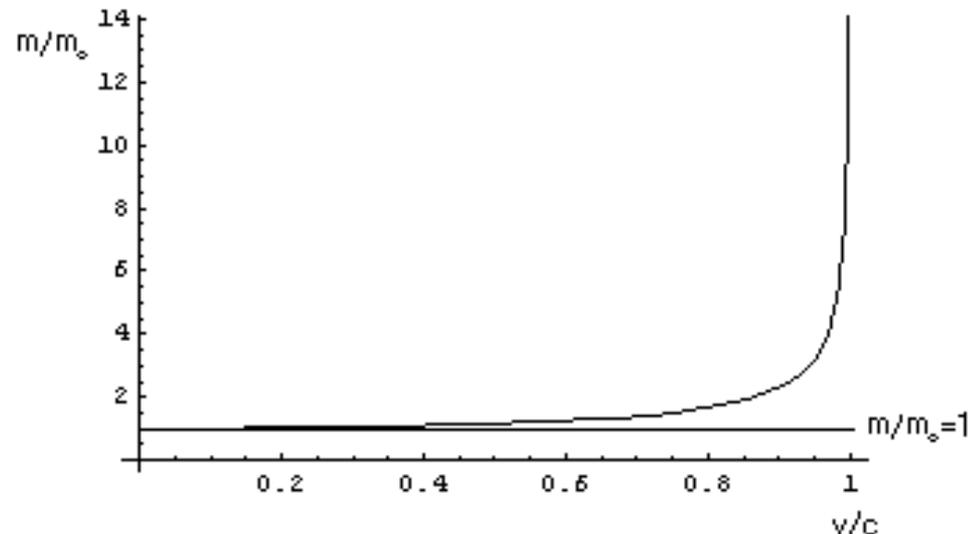
*... mit zunehmender Geschwindigkeit steigt die Masse an ...*

Die Masse  $m$  eines gegenüber einem ruhenden Beobachter bewegten Körpers wird **relativistische** (dynamische) **Masse** bezeichnet.

Es gilt:  $m > m_0$

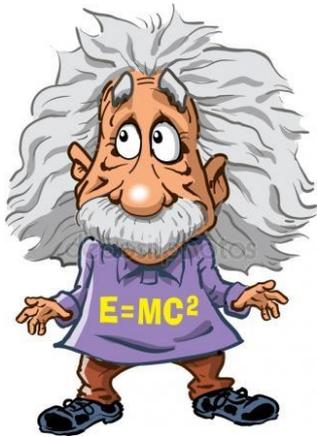
$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = k \cdot m_0$$

*Mit zunehmender Annäherung an die Lichtgeschwindigkeit steigt die Masse ins Unendliche an.*



- ▶ Zur Geschwindigkeitserhöhung wird immer mehr Energie nötig.
- ▶ Körper mit der Ruhemasse  $m_0 > 0$  können Lichtgeschwindigkeit nicht erreichen.

# Zusammenhang von Masse und Energie:

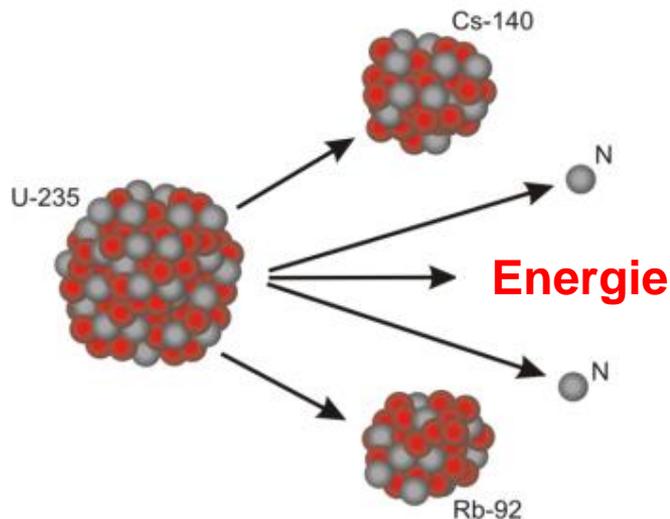


$$E = m \cdot c^2$$

Die Masse eines Körpers ist ein Maß für dessen Energiegehalt.

► **Masse** und **Energie** sind zueinander äquivalent.

experimenteller Befund:



„Kernspaltung“

Bei einer Kernspaltung ist die Masse des Ausgangskerns (U-235) größer als die Gesamtmasse der Spaltprodukte (Cs-140; Rb-92; 2n)

Masse hat sich in **Energie** umgewandelt.

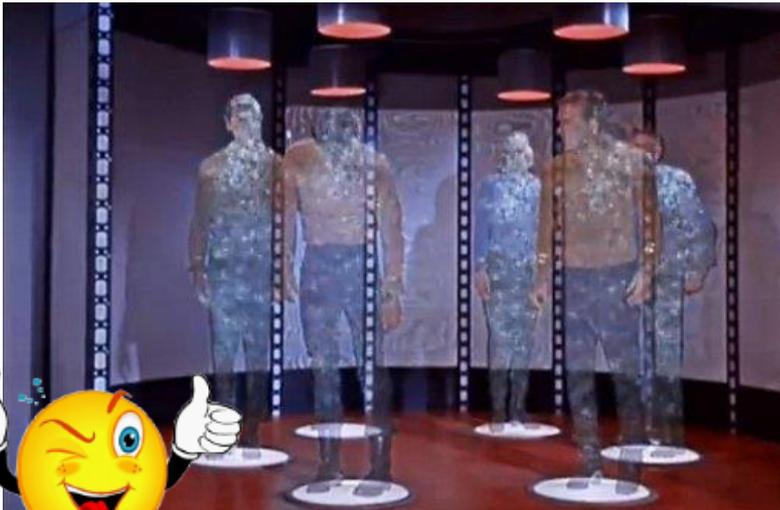
Jede Masseänderung bedeutet eine Energieänderung und umgekehrt.



## Beamen (Teleportation)

theoretisch kann Masse in Energie umgewandelt und mittels elektromagnetischer Wellen übertragen werden ...

... am Ziel wird die Energie wieder zu Materie (Masse) zusammengesetzt.



## Energiezustände eines Körpers:

Die **Gesamtenergie E** eines Körpers wird durch seine dynamische Masse  $m(v)$  bestimmt.

$$E = m(v) \cdot c^2 = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \cdot c^2$$

Für  $v=0$  besitzt der Körper seine **Ruheenergie  $E_0$** , die durch die Ruhemasse des Körpers bestimmt wird.

$$E_0 = m_0 \cdot c^2$$

*Je schneller ein Körper bewegt wird, desto größer ist seine dynamische Masse  $m(v)$  und damit seine Gesamtenergie  $E$ .*

Die **kinetische Energie  $E_{kin}$**  des Körpers ist die Differenz zwischen dessen Gesamtenergie  $E$  und Ruheenergie  $E_0$ .

$$E_{kin} = E - E_0 = (m(v) - m_0) \cdot c^2 = m_0 \cdot c^2 \left( \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right)$$

für  $v \ll c$  kann man zeigen:  
(mathematische Reihenentwicklung)

$$E_{kin} = \frac{m_0}{2} \cdot v^2$$

klassische  
Physik

## typischer Berechnungsfehler:

Für die Berechnung der kinetischen Energie bei großen Geschwindigkeiten  $v$  kann **nicht** die Gleichung ...

$$E_{kin} = \frac{m(v)}{2} \cdot v^2$$

... mit der dynamischen Masse  $m(v)$  verwendet werden.

Beispiel:  $m_0 = 1\text{g} \longrightarrow m(v=0,9c) = 2,294\text{g}$

korrekte Berechnung:

$$E_{kin} = m_0 \cdot c^2 \left( \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right)$$

$$E_{kin} = 1,165^{14}\text{J} \quad \ll$$

falsche Berechnung:

~~$$E_{kin} = \frac{m(v)}{2} \cdot v^2$$~~

~~$$E_{kin} = 8,362^{19}\text{J}$$~~