

Die Identität von Masse und Energie im Unterricht

F. Herrmann und M. Pohlig, Karlsruher Institut für Technologie



www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de

6

Bezugssysteme

7

Die Grenzggeschwindigkeit

8

Die Raumzeit

Raum bedeutet so viel wie „Platz für etwas“. Er kann ausgefüllt oder leer sein. Wir können seine Menge angeben. Wir nennen sie Volumen und messen sie in m^3 . Wir können einen Punkt im Raum beschreiben durch drei Koordinaten; wir sprechen dann vom Ort.

Auch für die Zeit können wir einen „Punkt“ auf einer Zeitskala angeben, und eine Art Zeitmenge durch ein Intervall auf der Zeitskala. Wir nennen es gewöhnlich Dauer. Gemessen werden Zeitpunkte und -intervalle in Sekunden.

So stellen sich die Begriffe Raum und Zeit in der Alltagswelt dar. Wir werden im Folgenden sehen, dass die moderne, d.h. relativistische Physik uns lehrt, dass Raum und Zeit mehr sind als nur die Bühne, auf der die physikalischen Vorgänge ablaufen.

Wir werden sehen, dass

- Raum und Zeit zusammenhängen und eine Einheit bilden, die *Raumzeit*. Diese ist Gegenstand der so genannten *Speziellen Relativitätstheorie*.
- die Raumzeit Eigenschaften hat, die von Ort zu Ort unterschiedlich sind. Das ist Gegenstand der *Allgemeinen Relativitätstheorie*.

Beide Theorien, oder Beschreibungen der Natur stammen von Einsteins.

9

Der gekrümmte Raum

10

Kosmologie

7

Die Grenzgeschwindigkeit

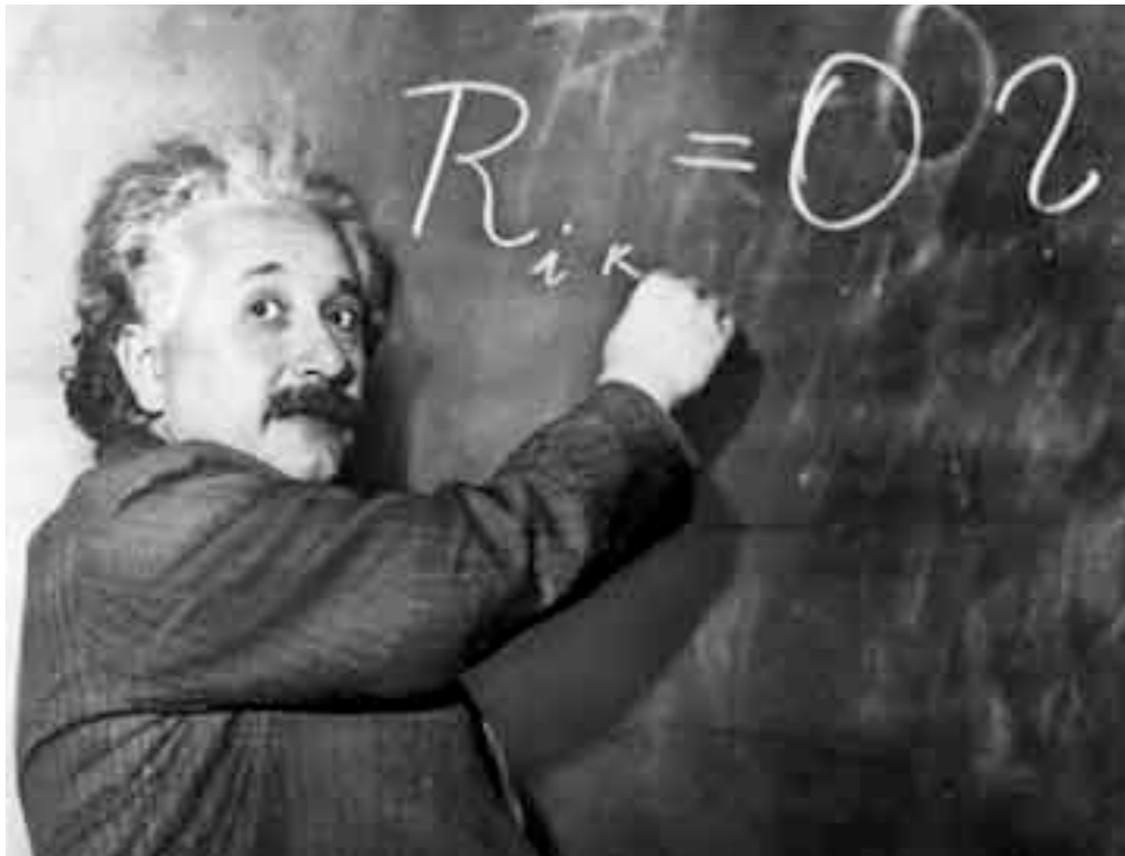
7.1 Masse gleich Energie

7.2 Energie hat die Eigenschaften von Masse

7.3 Masse hat die Eigenschaften von Energie

7.4 Ruhmasse und Ruheenergie

7.5 ... 7.11



„Die Masse eines Körpers ist ein Maß für dessen Energieinhalt.“

Masse und Energie sind dieselbe physikalische Größe.

Wenn man sie in kg misst, nennt man sie Masse (m), wenn man sie in J misst, Energie (E).

$$E = k \cdot m \quad k = 8,987 \cdot 10^{16} \text{ J/kg}$$

Masse und Energie sind dieselbe physikalische Größe.

Wenn man sie in kg misst, nennt man sie Masse (m), wenn man sie in J misst, Energie (E).

$$E = k \cdot m \quad k = 8,987 \cdot 10^{16} \text{ J/kg}$$

Energie muss die Eigenschaften beschreiben, die wir bisher von der Masse kannten:

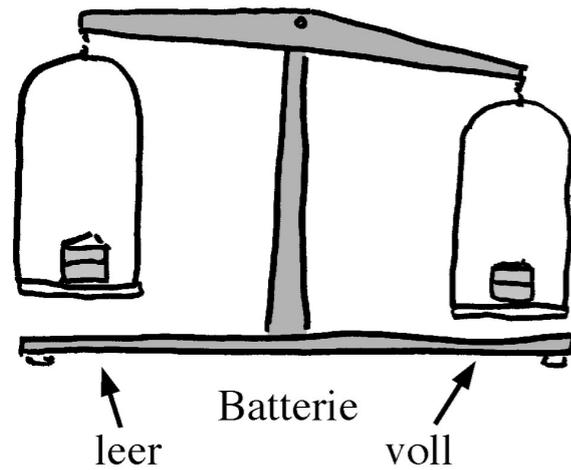
geladene Batterie schwerer als ungeladene

heißer Kaffee schwerer als kalter

Masse muss die Eigenschaften beschreiben, die wir bisher von der Energie kannten:

Man müsste mit irgendeinem wertlosen Material etwas antreiben können.

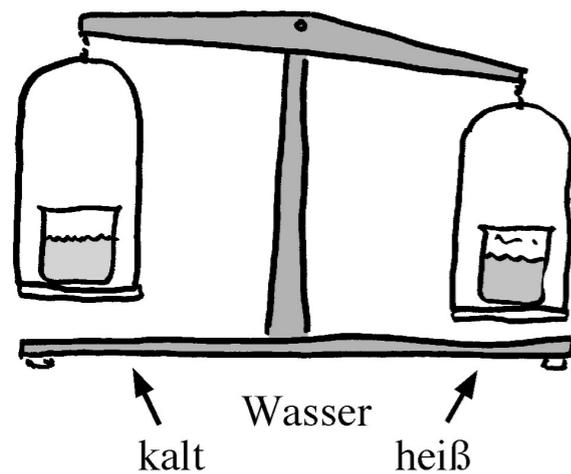
7.2 Energie hat die Eigenschaften von Masse



Beispiel: Monozelle

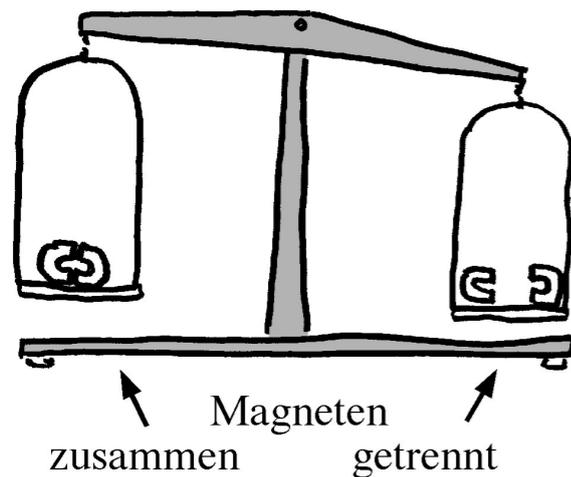
$$\Delta E = 10 \text{ kJ}$$

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{k} = \frac{10 \text{ kJ}}{9 \cdot 10^{16} \text{ J/kg}} = 1,1 \cdot 10^{-13} \text{ kg}$$



bedeutungslos?

nicht immer:



Teilchenbeschleuniger

Zerlegung von Atomkernen

7.3 Masse hat die Eigenschaften von Energie

Man müsste mit einem beliebigen Stoff (auf Grund seiner Masse):

Fahrzeuge und Maschinen antreiben können
das Haus heizen können

$$1 \text{ kg Sand} \quad E = k \cdot m = 9 \cdot 10^{16} \text{ J/kg} \cdot 1 \text{ kg} = 9 \cdot 10^{16} \text{ J}$$

normalerweise liefert 1 kg Benzin $4,3 \cdot 10^7 \text{ J}$

Fehler?

Berechnung der Energie korrekt, Schlussfolgerung falsch

Energie ist nicht immer brauchbar, um etwas anzutreiben.

Viele Gleichungen der „klassischen“ Physik müssen korrigiert werden.

$$E_{\text{kin}}(v) = \frac{m}{2}v^2 \quad \text{ist nur ein Teil der Energie.}$$

$$E(v) = \frac{m}{2}v^2 + E_0 \quad E_0 \text{ ist die Energie des Körpers, wenn sein Impuls gleich null ist.}$$

Die klassische Physik sagt uns nicht, wie groß E_0 ist.

Ruheenergie E_0 : Energie bei $v = 0$

Ruhmasse m_0 : Masse bei $v = 0$

$$E_0 = k \cdot m_0$$

Achtung! Ruhe heißt nur: der Schwerpunkt ist in Ruhe.

Ende