

# Ein alternativer Zugang zur Relativitätstheorie

*F. Herrmann und M. Pohlig*



[www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de](http://www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de)

[pohlig@kit.edu](mailto:pohlig@kit.edu)

# Übersicht

1. Start
2. Energie und Impuls
3. Geschwindigkeit in Abhängigkeit vom Impuls
4. Geschwindigkeitsabhängigkeit der Masse
5. Die Rolle des Lichts?

# 1. Start

Masse  $\equiv$  Energie

1kg ist das selbe wie  $9 \cdot 10^{16}$ J

$$k = 9 \cdot 10^{16} \text{J/kg}$$

$$E = k \cdot m$$

$$p = m \cdot v$$

$$dE = v dp$$

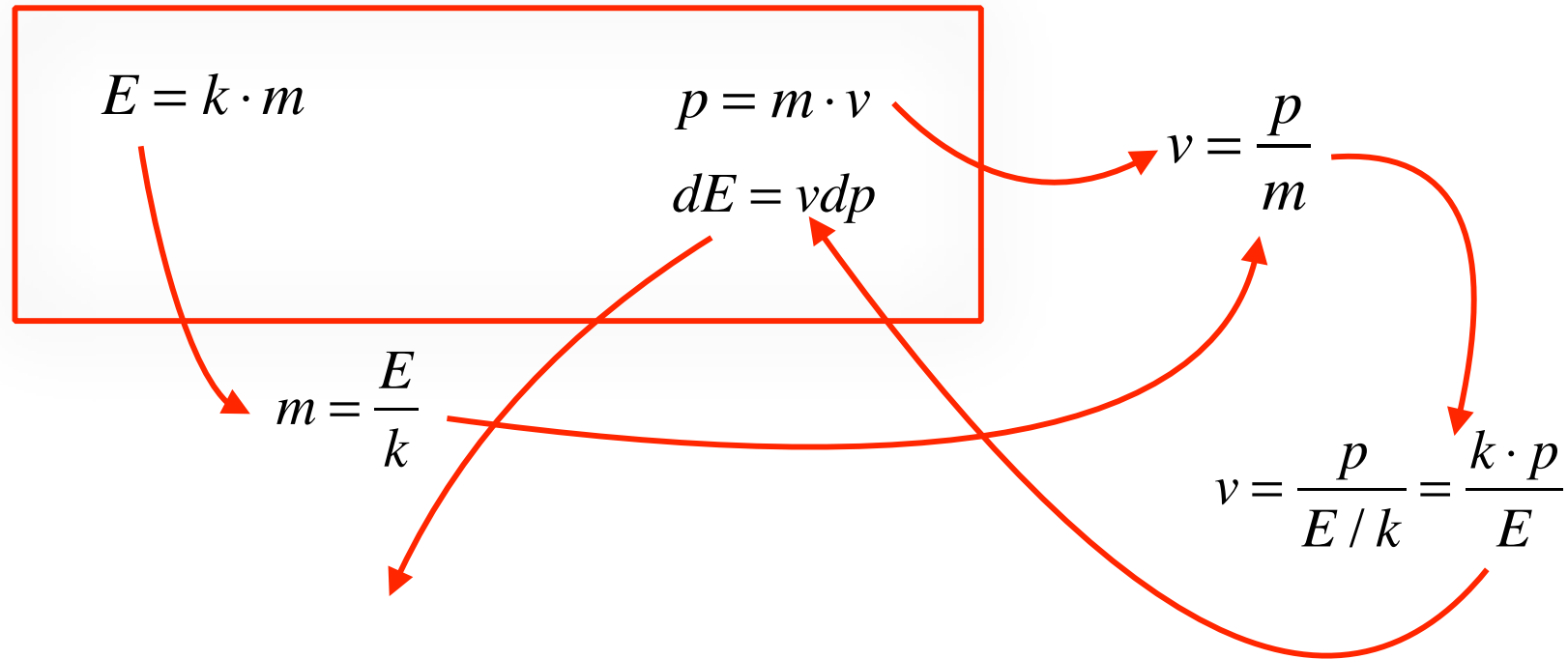
# Übersicht

## 1. Start

# Übersicht

1. Start
2. Energie und Impuls
3. Geschwindigkeit in Abhängigkeit vom Impuls
4. Geschwindigkeitsabhängigkeit der Masse
5. Die Rolle des Lichts?

## 2. Energie und Impuls



$$E^2 = E_0^2 + k \cdot p^2$$

$$E_0^2 = E^2 - k \cdot p^2$$

## 2. Energie und Impuls

$$E_0^2 = E^2 - k \cdot p^2$$

$$E^2 = E_0^2 + k \cdot p^2$$

Invariante:

Ruhenergie, Ruhmasse, Masse,  
invariante Masse, innere Energie

## 2. Energie und Impuls

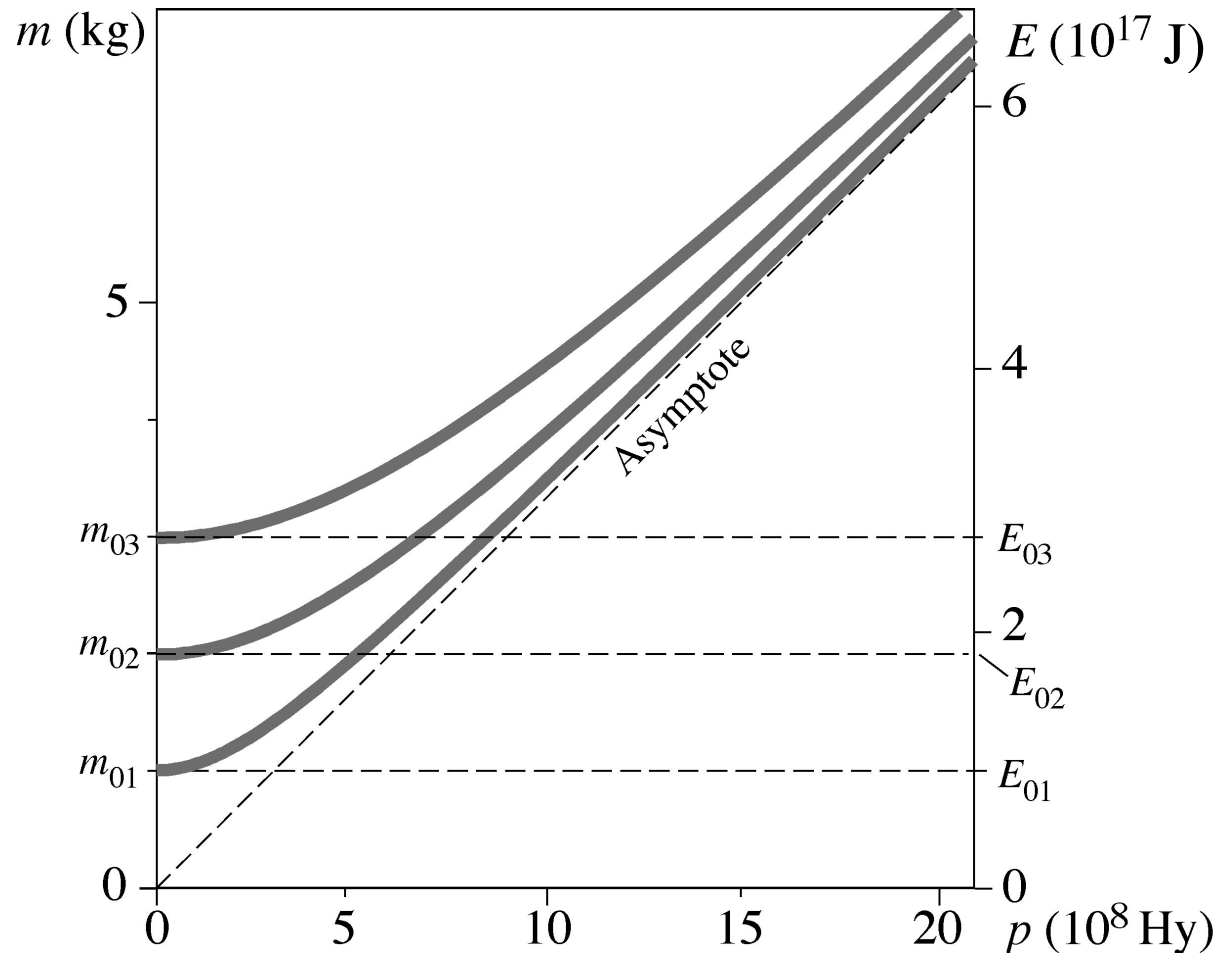
$$E_0^2 = E^2 - k \cdot p^2$$

$$E^2 = E_0^2 + k \cdot p^2$$

$$E = \sqrt{E_0^2 + k \cdot p^2}$$

$$E = \sqrt{k} \cdot p$$

$$E - E_0 \approx \frac{k \cdot p^2}{2E_0} = \frac{p^2}{2m_0}$$





# Übersicht

1. Start
2. Energie und Impuls
3. Geschwindigkeit in Abhängigkeit vom Impuls
4. Geschwindigkeitsabhängigkeit der Masse
5. Die Rolle des Lichts?

### 3. Geschwindigkeit in Abhängigkeit vom Impuls

$$E^2 = E_0^2 + k \cdot p^2$$
$$p = \frac{E}{k} v \longrightarrow E = \frac{k \cdot p}{v}$$
$$\frac{k^2 p^2}{v^2} = E_0^2 + k \cdot p^2$$
$$v = \frac{k}{\sqrt{\frac{E_0^2}{p^2} + k}} = \frac{k}{\sqrt{\frac{m_0^2 \cdot k^2}{p^2} + k}}$$

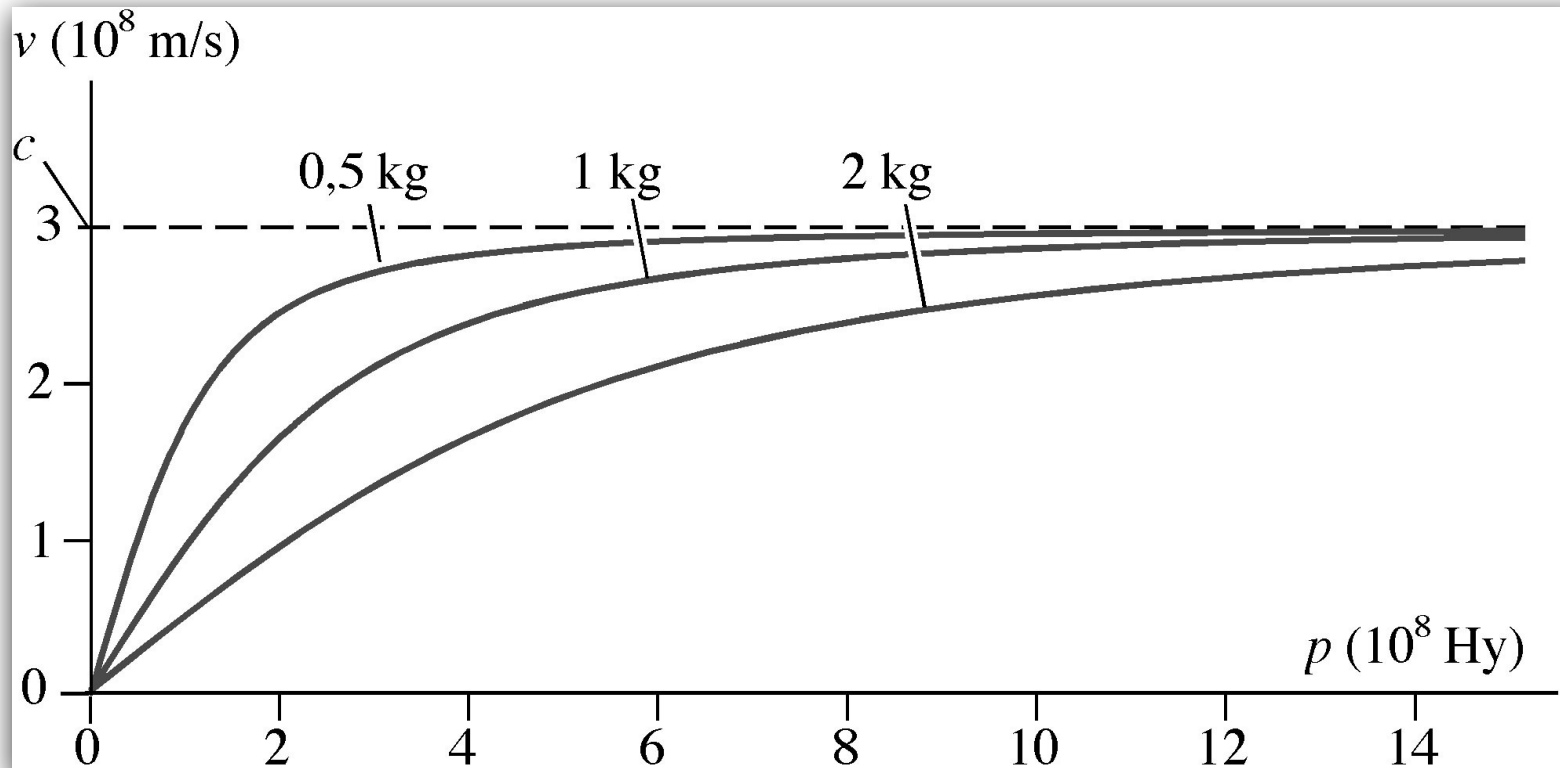
### 3. Geschwindigkeit in Abhängigkeit vom Impuls

$$v = \frac{k}{\sqrt{\frac{E_0^2}{p^2} + k}} = \frac{k}{\sqrt{\frac{m_0^2 \cdot k^2}{p^2} + k}}$$

$$p \rightarrow \infty$$

$$v = c \frac{p}{\sqrt{p^2 + c^2 m_0^2}}$$

$$v \rightarrow \sqrt{k} =: c$$



### 3. Geschwindigkeit in Abhängigkeit vom Impuls

$$dE = v dp$$

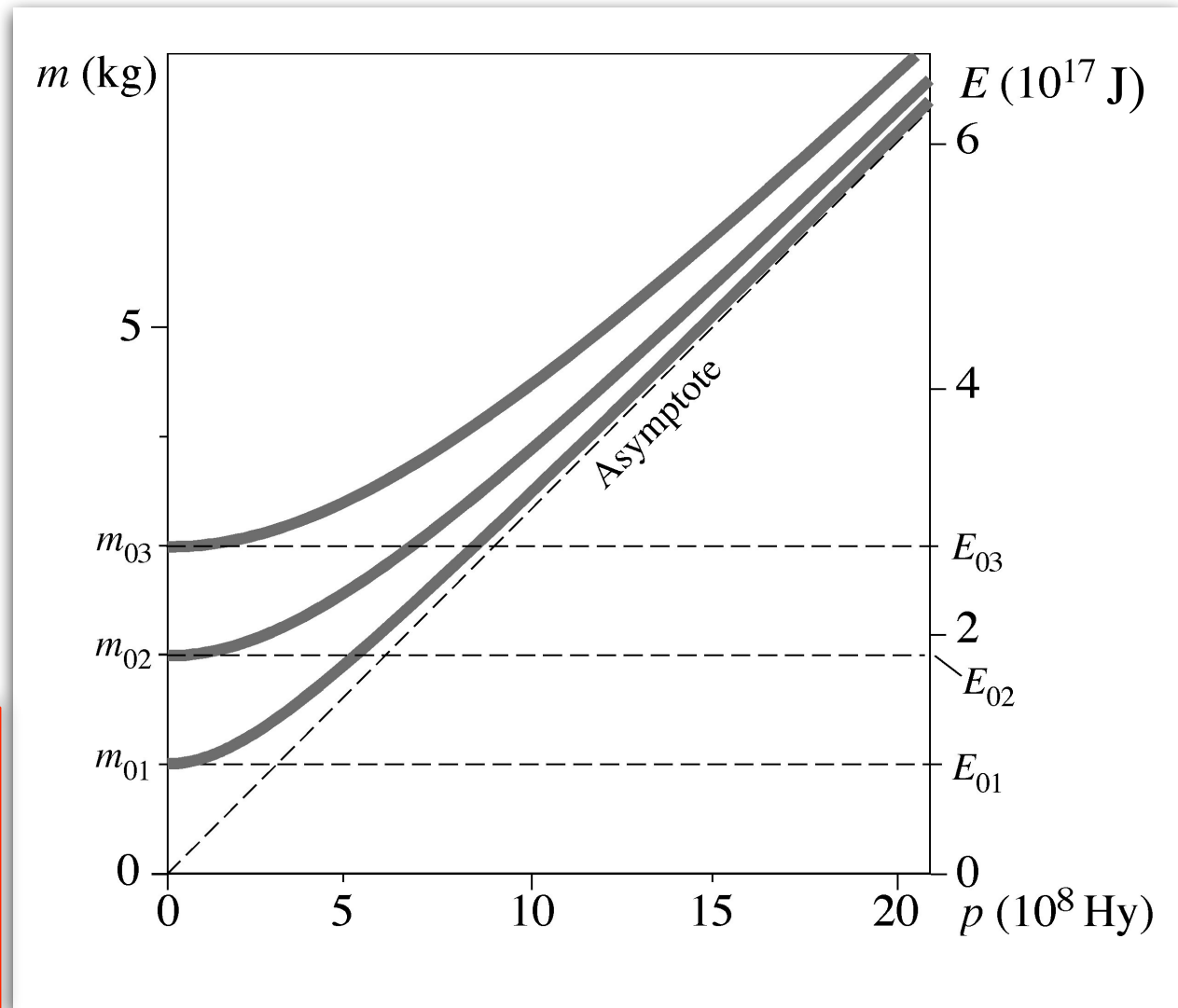
$$v = \frac{dE}{dp}$$

$$E^2 = E_0^2 + k^2 \cdot p^2$$

$$E_0 = 0$$

$$E = c \cdot p$$

Körper mit einer Ruhemasse  $m_0 = 0$  kg bewegen sich immer mit der Grenzgeschwindigkeit  $c$ .



# Übersicht

1. Start
2. Energie und Impuls
3. Geschwindigkeit in Abhängigkeit vom Impuls
4. Geschwindigkeitsabhängigkeit der Masse
5. Die Rolle des Lichts?

# 4. Geschwindigkeitsabhängigkeit der Masse

$$E^2 = E_0^2 + c^2 p^2$$

$$E = \cancel{h\nu} \cdot m^2 = c^2 m = m \cdot c^2$$

$$m^2 c^4 = m_0^2 c^4 + c^2 m^2 v^2$$

$$m^2 c^2 = m_0^2 c^2 + m^2 v^2$$

$$m^2 (c^2 - v^2) = m_0^2 c^2$$

$$m^2 = \frac{m_0^2 c^2}{c^2 - v^2}$$

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

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

$$E = \frac{E_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

# Übersicht

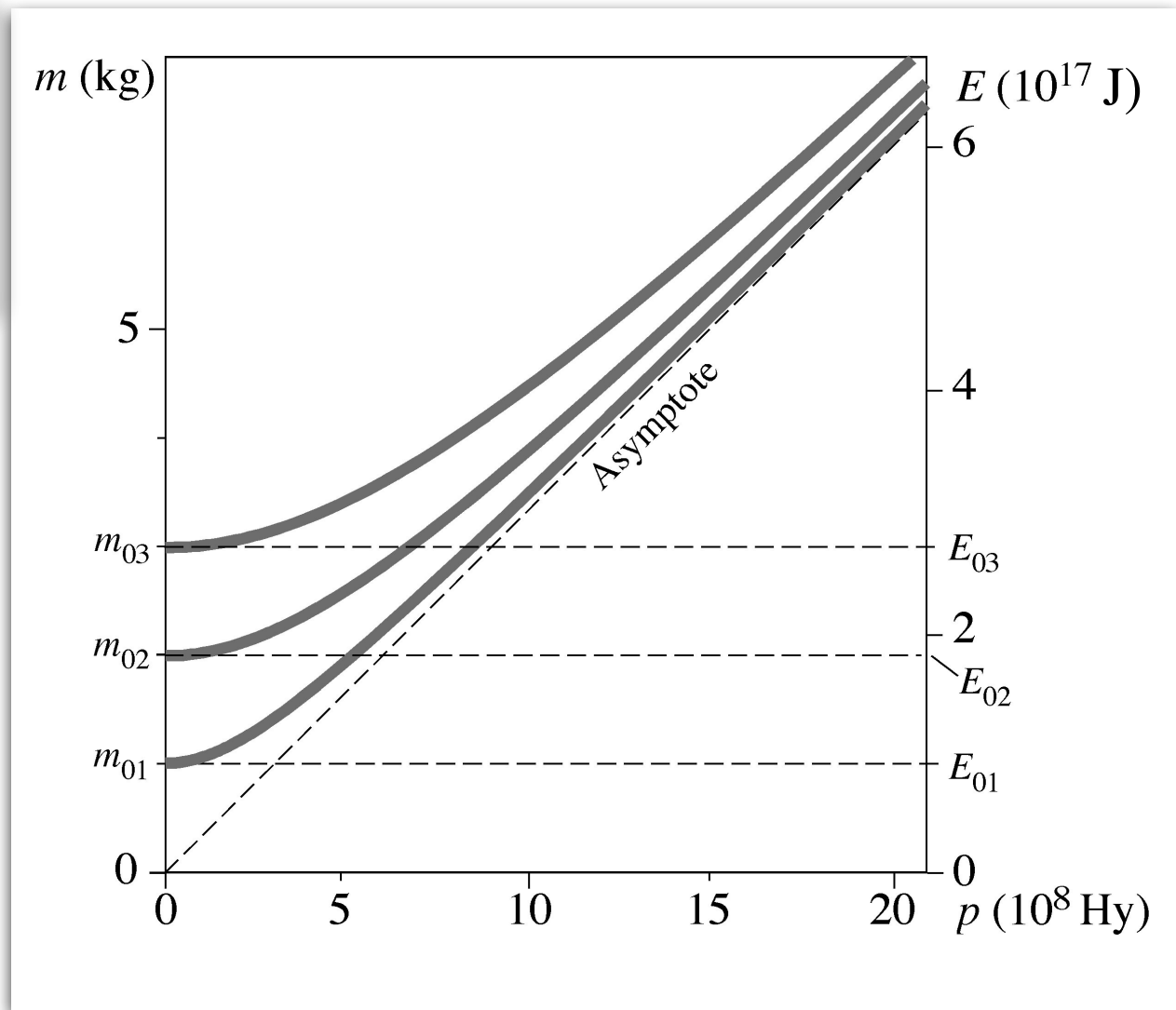
1. Start
2. Energie und Impuls
3. Geschwindigkeit in Abhängigkeit vom Impuls
4. Geschwindigkeitsabhängigkeit der Masse
5. Die Rolle des Lichts?

# 5. Die Rolle des Lichts?

Körper mit einer Ruhemasse  $m_0 = 0$  kg bewegen sich immer mit der Grenzgeschwindigkeit  $c$ .

Teilchen mit einer Ruhemasse von 0J bzw. 0kg:

- Gluonen
- Photonen
- Gravitonen



$c$  könnte man statt Lichtgeschwindigkeit genauso gut Gravitonengeschwindigkeit nennen.



# Übersicht

1. Start
2. Energie und Impuls
3. Geschwindigkeit in Abhängigkeit vom Impuls
4. Geschwindigkeitsabhängigkeit der Masse
5. Die Rolle des Lichts?