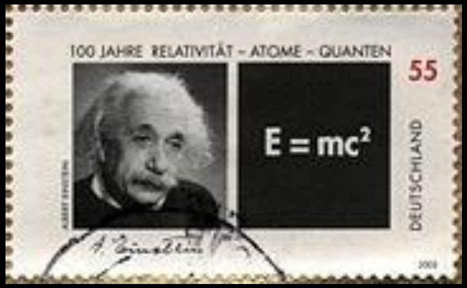
Ein alternativer Zugang zur Speziellen Relativitätstheorie

pohlig@kit.edu

Seniorenseminar

Seniorenseminar



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

Steht für:

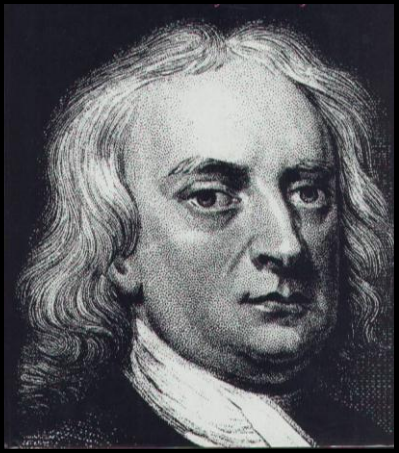
- Einstein
- Genie
- Ehrfurchtsgebietende, unverständliche, moderne Physik
- Horror eines Nuklearkrieges
- Menschliche Hybris
- …

Seniorenseminar

Wie liest Einsteinseine Gleichung?

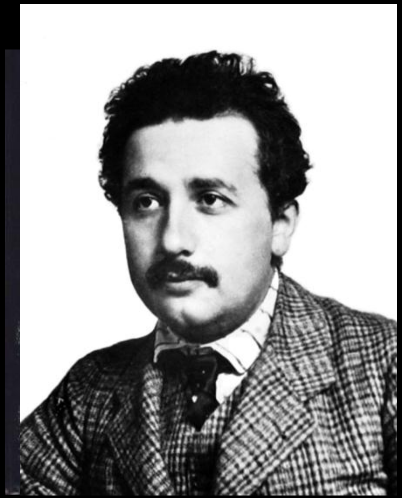
$$E = m \cdot c^2$$

Newtonsche Mechanik



Axiom:

… dass sich das Licht im leeren Raume stets mit einer bestimmten, vom Bewegungszustande des emittierenden Körpers unabhängigen Geschwindigkeit *V* fortpflanze.



Einsteins
Spezielle Relativitätstheorie

Axiom:

… dass sich das Licht im leeren Raume stets mit einer bestimmten, vom Bewegungszustande des emittierenden Körpers unabhängigen Geschwindigkeit *V* fortpflanze.

Satz:

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

Seniorenseminar

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

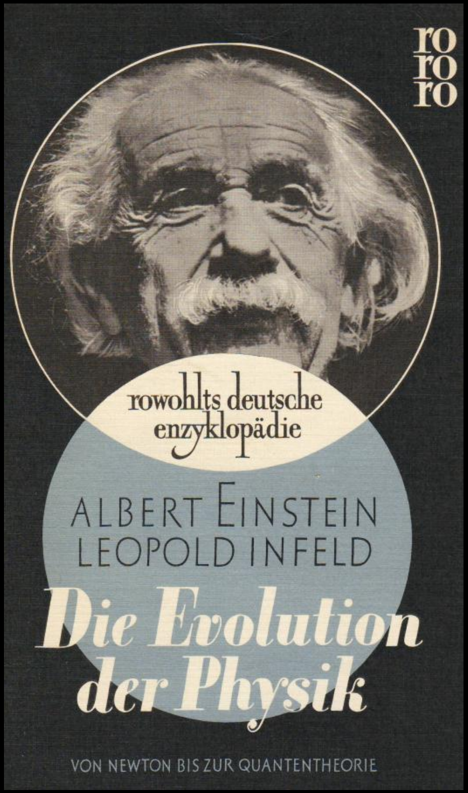
Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig? (1905)

Da steht nichts von Lichtgeschwindigkeit!

Die Masse eines Körpers ist ein Maß für dessen Energieinhalt; ändert sich die Energie um L, so ändert sich die Masse in demselben Sinne um $L/9 \cdot 10^{20}$, wenn die Energie in Erg und die Masse in Grammen gemessen wird.

Seniorenseminar

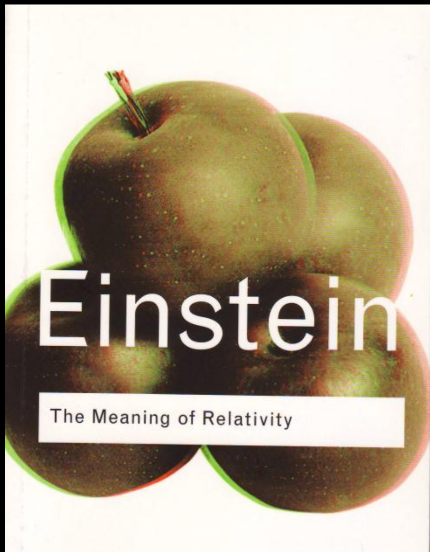
$$E = m \cdot c^2$$



gesetze: eines für die Materie und eines für die Energie. Schon einmal haben wir die Frage gestellt, ob die moderne Physik noch an diesen beiden Substanzbegriffen und an den zweierlei Erhaltungsgesetzen festhält. Die Antwort lautet: ‹Nein.› Nach der Relativitätstheorie gibt es keinen grundsätzlichen Unterschied zwischen Masse und Energie. Energie hat Masse und Masse verkörpert Energie. Statt zwei Erhaltungsgesetzen haben wir nur noch eines, das der Masse-Energie. Diese neue Auffassung hat sich in der weiteren Entwicklung der Physik sehr gut bewährt und als äußerst fruchtbar erwiesen.

Man muß sich fragen, wieso die Tatsache, daß Energie Masse und Masse Energie besitzt, so lange verborgen bleiben konnte. Ist ein heißes Stück Eisen denn wirklich schwerer als ein kaltes? Jetzt müssen wir diese Frage mit ‹ja› beantworten, während es im ersten Teil des Buches noch ‹nein› hieß. Sicherlich berechtigt uns die dazwischenliegende große

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



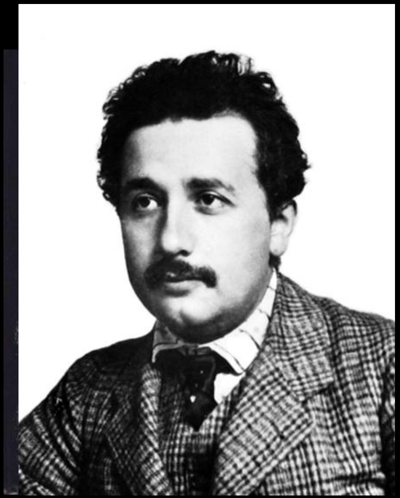
$$\left.\begin{aligned} I_x &= \frac{mq_x}{\sqrt{1-q^2}} \\ &\cdot \quad \cdot \quad \cdot \\ &\cdot \quad \cdot \quad \cdot \\ E &= \frac{m}{\sqrt{1-q^2}} \end{aligned}\right\} \qquad (43)$$

If we apply the last of equations (43) to a material particle at rest ($q = 0$), we see that the energy, E_0, of a body at rest is equal to its mass. Had we chosen the second as our unit of time, we would have obtained

$$E_0 = mc^2 \qquad (44)$$

Mass and energy are therefore essentially alike; they are only different expressions for the same thing. The mass of a body is not a constant; it varies with changes in its energy.* We see

Seniorenseminar



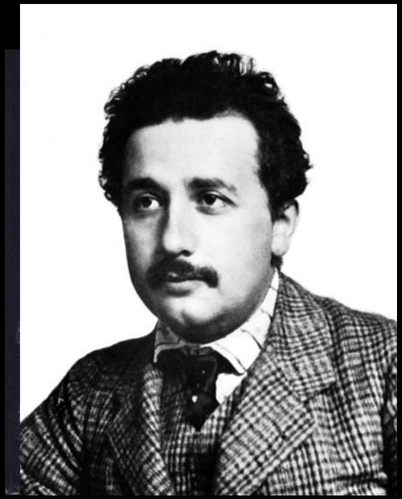
Einsteins
Spezielle Relativitätstheorie

Axiom:

… dass sich das Licht im leeren Raume stets mit einer bestimmten, vom Bewegungszustande des emittierenden Körpers unabhängigen Geschwindigkeit *V* fortpflanze.

Satz:

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



Einsteins
Spezielle Relativitätstheorie

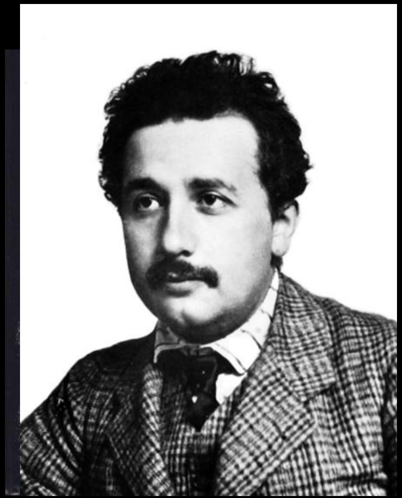
Axiom:

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

Satz:

… dass sich das Licht im leeren Raume stets mit einer bestimmten, vom Bewegungszustande des emittierenden Körpers unabhängigen Geschwindigkeit *V* fortpflanze.

Seniorenseminar



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

$$E \sim m$$

$$\boxed{E = k \cdot m}$$

Die Masse eines Körpers ist ein Maß für dessen Energieinhalt; ändert sich die Energie um L, so ändert sich die Masse in demselben Sinne um $L/9 \cdot 10^{20}$, wenn die Energie in Erg und die Masse in Grammen gemessen wird.

Ob k neben der Rolle als „Einheiten-Umrechner“ noch eine physikalische Bedeutung hat, muss sich noch zeigen.

Energie und Impuls-zusammenhang

Die Abhängigkeit der Masse von der Geschwindigkeit

$$\mathrm{d}E = v \cdot \mathrm{d}p$$

$$p = m(v) \cdot v$$
$$E = k \cdot m$$

$$\mathrm{d}(k \cdot m(v)) = v \cdot \mathrm{d}(m(v) \cdot v)$$

$$\frac{1}{m(v)}\mathrm{d}m(v) = \frac{v}{k - v^2}\mathrm{d}v$$

$$\int_{m(v=0)}^{m(v)} \frac{1}{m^*(v)}\mathrm{d}m^*(v) = \int_{v=0}^{v} \frac{v^*}{k - v^{*2}}\mathrm{d}v^*$$

$$\ln\frac{m(v)}{m_0} = -\frac{1}{2}\ln\frac{k - v^2}{k}$$

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

Seniorenseminar

Die Abhängigkeit der Masse von der Geschwindigkeit

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

Die Abhängigkeit der Energie von der Geschwin-digkeit

$$E(v) = \frac{E_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{k}}}$$

$$v \leq \sqrt{k}$$

Grenz-geschwindigkeit

$\sqrt{k}$ ist Grenzgeschwindigkeit und hat in allen Bezugssystemen den gleichen Wert

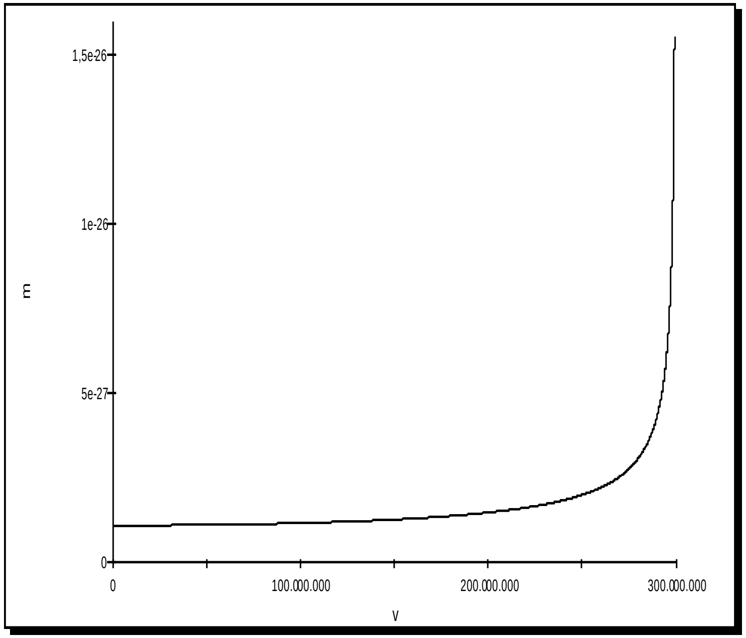
Satz!?

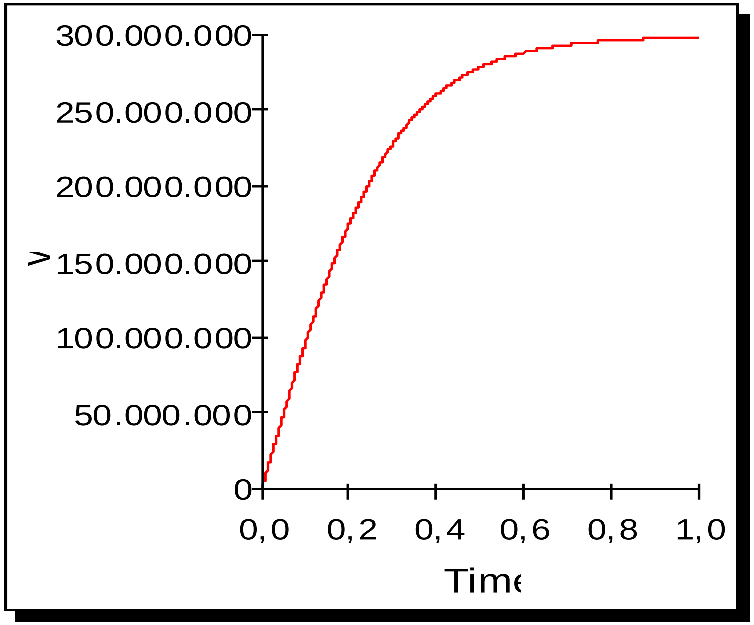
Seniorenseminar

Die Abhängigkeit der Masse von der Geschwindigkeit

Die Abhängigkeit der Energie von der Geschwindigkeit

Grenzgeschwindigkeit





Seniorenseminar

Die Abhängigkeit der Masse von der Geschwindigkeit

$$E(v) = \frac{E_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{k}}}$$

Die Abhängigkeit der Energie von der Geschwin-digkeit

$$\frac{v^2}{k} = \frac{v^2 \cdot m^2(v) \cdot k}{k \cdot m^2(v) \cdot k} = \frac{p^2 \cdot k}{E^2(v)}$$

Grenz-geschwindigkeit

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

Energie-Impuls-Zusammenhang

Seniorenseminar

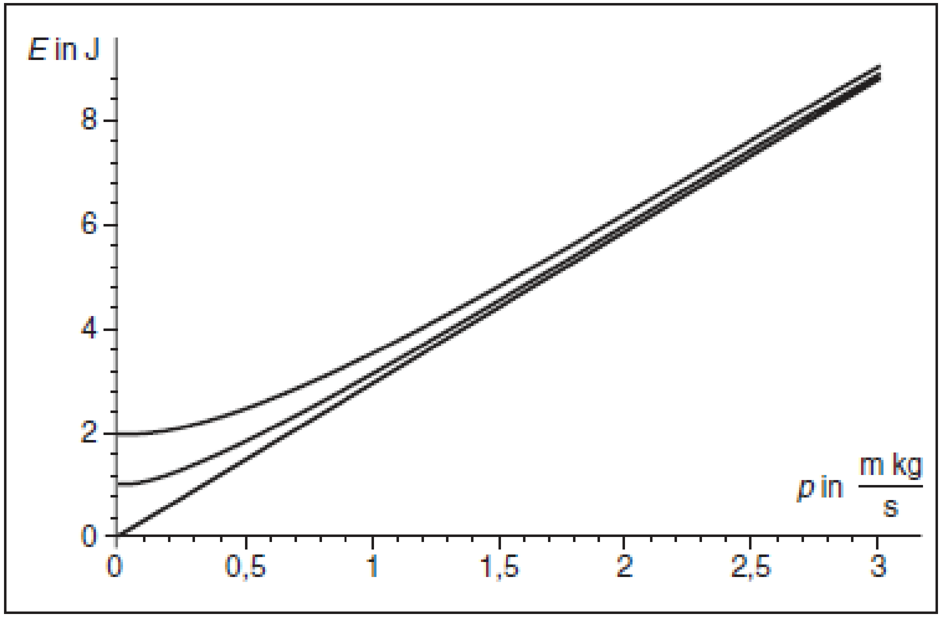
Die Abhängigkeit der Masse von der Geschwindigkeit

Die Abhängigkeit der Energie von der Geschwin-digkeit

Grenz-geschwindigkeit

Energie-Impuls-Zusammenhang

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



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

Bedeutung von k?

$$\sqrt{k} = c$$

Das geht alles ohne Licht!

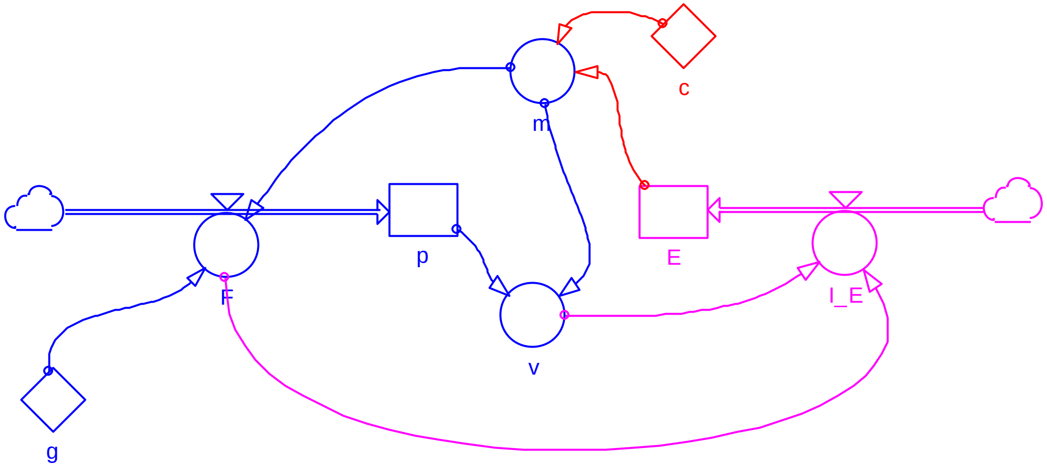
Seniorenseminar

Die Abhängigkeit der Masse von der Geschwindigkeit

Die Abhängigkeit der Energie von der Geschwin-digkeit

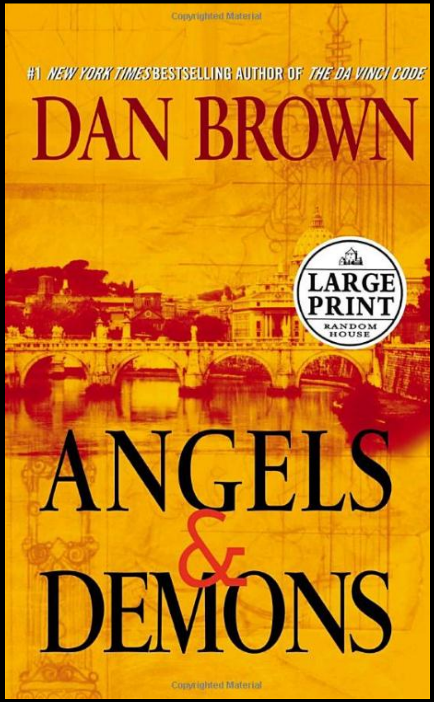
Grenz-geschwindigkeit

Arbeiten mit einem Modellbildungssystem



Seniorenseminar

Kann man Masse in Energie bzw. Energie in Masse umwandeln?

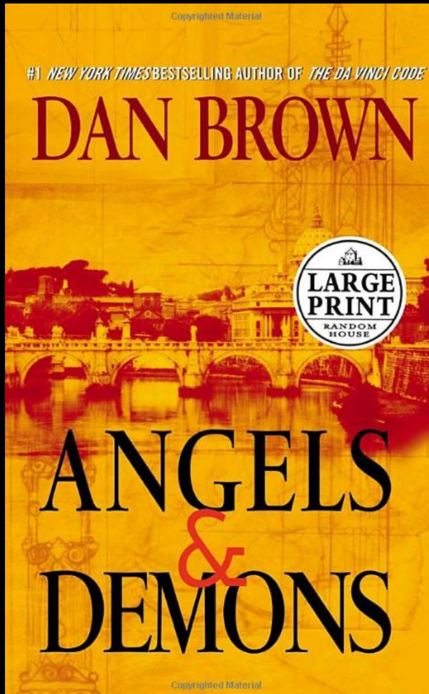


$$E = m \cdot c^2$$

Dan Brown:
Angels & demons

Antimatter releases pure energy, a one hundred per cent conversion of mass to photons

Seniorenseminar



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

Physik Journal, veröffentlich durch die deutsche Physikalische Gesellschaft

Physik Journal 9 (2010) Nr. 5

Nach Einsteins Gleichung $E = m{\cdot}c^2$ entspricht Masse Energie, das heißt Masse kann aus nichts erzeugt werden.

Vom Ursprung der Masse. Das Anregungsspektrum des Protons beleuchtet die Entstehung von Masse. Eberhard Klempt http://www.drillingsraum.de

Wann wird Materie zu Energie?
Wann wird Energie zu Materie?

http://de.wikipedia.org

Massendefekt … diese nun zusätzlich fehlende Masse wird in Energie umgewandelt

http://www.chemgapedia.de

Diese Massendifferenz (Massendefekt) kommt dadurch zustande, dass beim Zusammenschluss von Protonen und Neutronen zum einem Kern ein kleiner Teil ihrer Masse in Energie umgewandelt wird.
Diese Energie wird in Form von energiereicher Strahlung (γ-Quanten) frei und tritt auch in Form von Bewegungsenergie des betreffenden Kerns auf.

Metzler (2007):
Bei diesem Annihilation (Paarvernichtung) genannten Prozess wird die Ruhemasse des Elektron-Positronpaares in Strahlung umgewandelt.

Impulse Physik Kursstufe 2010:
Energie und Masse eines Körpers sind äquivalent: $E = m\ c^2$
„Masse besitzen“ bedeutet also gleichzeitig „Energie besitzen“ und umgekehrt.
Vereinfacht kann man sagen, dass „Energie und Masse in einander umwandelbar“ sind.

~~Masse = Materie~~

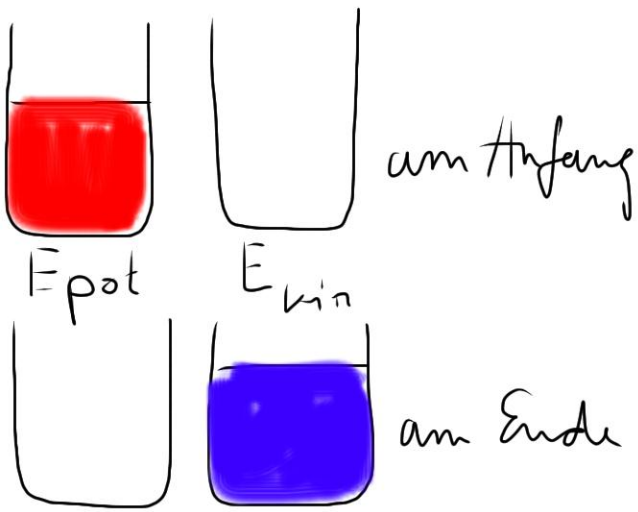
~~Energie = ? (nichts)~~

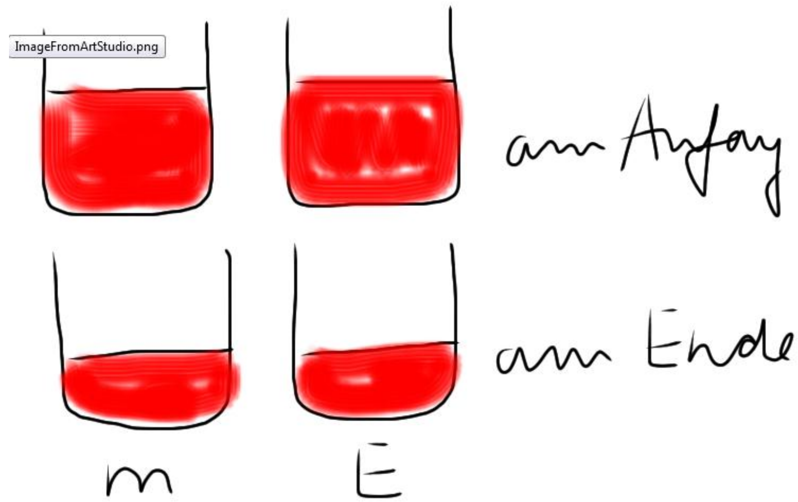
Keine Unterscheidung zwischen
einem physikalischem System und
einer physikalischen Größe

Masse = Energie (umwandeln)

Masse = Energie (äquivalent)

Potenzielle Energie = kinetische Energie





Seniorenseminar

$$\gamma \rightarrow e^- + e^+$$

$$E_{Photon} \qquad m_{Elektron} + m_{Positron}$$

$$m_{Photon} \qquad E_{Elektron} + E_{Positron}$$

$$\begin{array}{ccc} E_{Photon} & = & E_{Elektron} + E_{Positron} \\ = & & = \\ m_{Photon} & = & m_{Elektron} + m_{Positron} \end{array}$$

Seniorenseminar

Längenkontraktion und Zeitdilatation einmal anders

“neue” Formeln

$$\sqrt{k} = c$$

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

$$E(v) = \frac{E_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{k}}}$$

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

“neue” Formeln

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

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

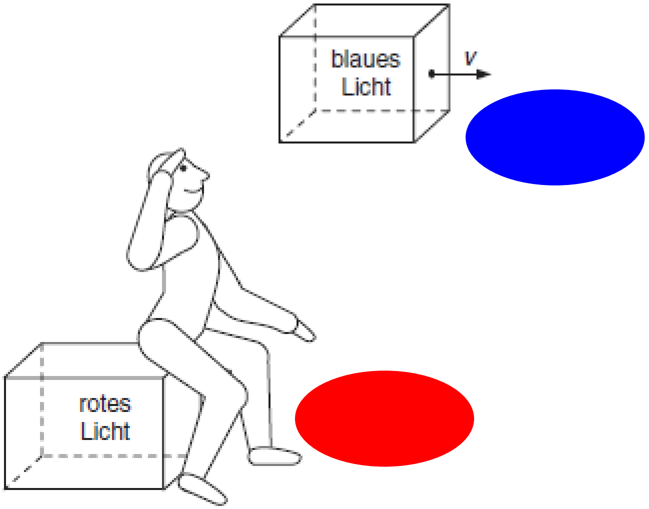
$$E(p) = \sqrt{E_0^2 + p^2 c^2}$$

Lichtspiele

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

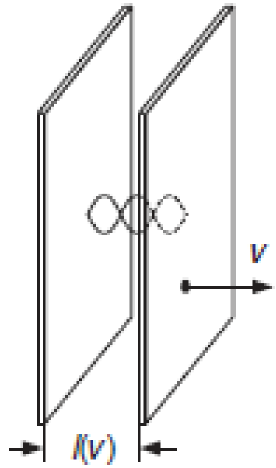
$$E = f \cdot h$$

$$f(v) = \frac{f_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$



Seniorenseminar

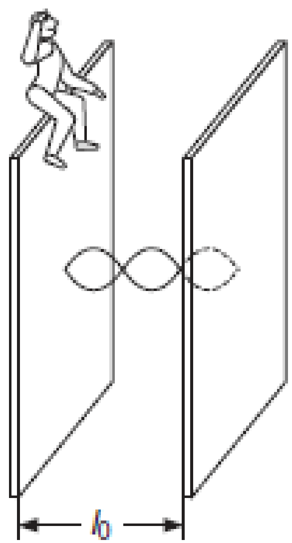
Lichtspiele



$$l(v) = (N-1)\frac{\lambda(v)}{2} = (N-1)\frac{c}{2f(v)}$$

$$\frac{l(v)}{l_0} = \frac{f_0}{f(v)} = \frac{f_0}{\frac{f_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}}$$

$$\boxed{l(v) = l_0\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

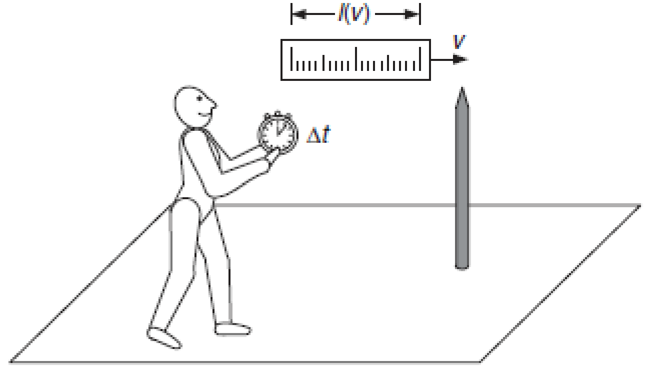


$$l_0 = (N-1)\frac{\lambda_0}{2} = (N-1)\frac{c}{2f_0}$$

Seniorenseminar

Messen von $v = \dfrac{\Delta s}{\Delta t}$

1. Möglichkeit

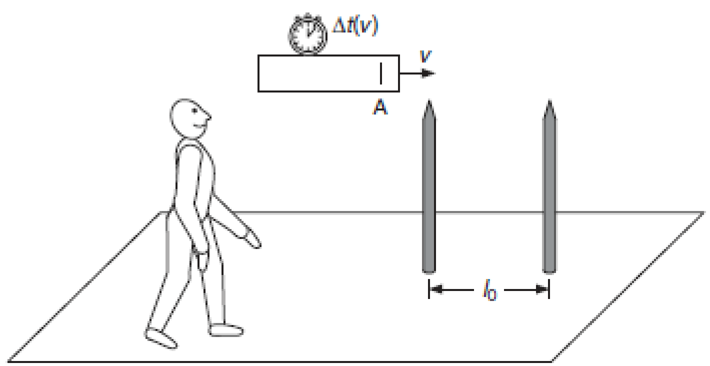


$$v = \frac{l(v)}{\Delta t_0} = \frac{l_0\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}{\Delta t_0}$$

$$\frac{l(v)}{\Delta t_0} = \frac{l_0}{\Delta t(v)}$$

$$\boxed{\Delta t(v) = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}}$$

2. Möglichkeit



$$v = \frac{l_0}{\Delta t(v)}$$

Seniorenseminar