SUHTEELLISUUSTEORIAA

- **Einsteinin erityinen (suppeampi) suhteellisuusteoria v. 1905**

- **suhteellisuusteorian postulaatit;** **- 1) kaikki liike on suhteellista**
  - 2) valon nopeus tyhjiössä on vakio

- pituuden kutistuminen eli Lorentzin kontraktio; $l = l_o\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$

- ajan venymä eli ajan dilataatio (aikadilataatio); $t = \frac{t_o}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$

- nopeuksien yhdistäminen → valon nopeuden saavuttamattomuus;

$$v = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}}$$

- liikemassa eli relativistinen massa; $m = \frac{m_o}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$ (m_o = lepomassa)

- relativistinen liike-energia; $E_k = mc^2 - m_0c^2$ (m = liikemassa)

- kokonaisenergia (massan ja energian ekvivalenssi); $E = mc^2$ $= c\sqrt{p^2 - (m_oc)^2}$

- **klassinen mekaniikka on korvattava suhteellisuusteorialla, kun $v \geq 0{,}1c$**
- ($\geq$10% c)**,(esim. jos elektronin kiihdytysenergia** > **4 % elektronin lepoenergiasta**
  $E = m_0c^2 \approx 511$ keV ↔ noin **20 kV**)
- systeemin sidosenergia: $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$ $\Delta m = m_{emo} - m_{tuotteet}$

(SUHTEELLISUUSTEORIAN KAAVAT, ks. MAOL s.128 (123))

^^^

HUOM.
Suhteellisuusteoriasta seuraa klassinen mekaniikka, kun nopeus v on pieni, v ≤ 0,1 c.
Esim. pienillä nopeuksilla (v << c) relativistinen liike-energia yksinkertaistuu *klassisen liike-energian* lausekkeeksi:

$$E_k = mc^2 - m_o c^2 = \frac{m_o}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}} - m_o c^2 \quad \approx \quad \tfrac{1}{2} m_o v^2$$

Todistus
Kun nopeus v on pieni (v << c), niin soveltamalla sarjakehitelmää (binomikaavaa, ks. MAOL, s. 25, 18)

$$(1+x)^n = 1 + nx + \frac{n(n-1)}{2!}x^2 + \frac{n(n-1)(n-2)}{3!}x^3 + \ldots$$

eo. lausekkeen nimittäjään saadaan

$$\frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}} = \left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2} = 1 + v^2/2c^2 + 3v^4/8c^4 + \ldots$$

josta seuraa: $E_k = \tfrac{1}{2}mv^2 + \tfrac{3}{8}mv^2(v/c)^2 + \ldots$.

Summan ensimmäinen termi on klassisen mekaniikan eli Newtonin mekaniikan mukainen liike-energia (kineettinen energia). Toinen termi ja sitä seuraavat termit ovat hyvin pieniä, kun nopeus v on pieni, v << c. Näin havaitaan, että suhteellisuusteorian mukaisesta relativistisesta mekaniikasta seuraa likiarvona Newtonin klassinen mekaniikka tässä liike-energiankin tapauksessa.

$$E_k = \tfrac{1}{2}mv^2 + \tfrac{3}{8}mv^2(v/c)^2 + \ldots \quad \approx \tfrac{1}{2}mv^2,$$

kun nopeus v on pieni (v << c).

- **Einsteinin yleinen suhteellisuusteoria v. 1915:**
- kiihtyvässä liikkeessä olevat koordinaatistot
- 4-ulotteinen aika-avaruuskoordinaatisto: (x, y, z, t)

^^