

# Suppeaa suhteellisuusteoriaa

Tapio Hansson

# Suhteellisuus

- ▶ Klassisen mekaniikan nk. Galilein suhteellisuusperiaate on varsin yksinkertainen: kahden koordinaatiston nopeudet yhdistetään suoralla yhteenlaskulla.
- ▶ Jos siis heität junassa palloa, on pallon nopeus maan suhteen junan nopeus lisättynä pallon nopeudella junan suhteen.
- ▶ Jos liikesuunnat ovat vastakkaiset, vähennetään nopeuksia. Useampiulotteinen tarkastelu toimii näppärästi vektorilaskennalla.
- ▶ Suurilla nopeuksilla tämä periaate ei päde, sillä valon tyhjiönopeus on suurin mahdollinen nopeus, joka voidaan mitenkään saavuttaa.
- ▶ Valon nopeus on sama kaikille havaitsijoille, riippumatta siitä, kuinka nopeasti valolähde liikkuu.

## Suppea suhteellisuusteoria

- ▶ Einstein johti suhteellisuusteorian lähtien siitä oletuksesta, että valon nopeus on sama kaikille havaitsijoille.
- ▶ Tämä luonnollisest aiheuttaa sen, että Galilen suhteellisuusperiaate tulee muuttua, sillä sen mukaan valon nopeuden tulisi kasvaa valolähteen nopeuden kasvaessa.
- ▶ Tästä seuraa, että avaruuden ja ajan täytyy muuttua, jotta tapahtumien väliset syy-seuraussuhteet eivät käänny ylösalaisin.
- ▶ Einstein esitti nopeuksien yhdistämiselle kaavan:

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

- ▶ Suhtis lyhyesti:  
<https://www.youtube.com/watch?v=ajhFNcUTJIO>

# Aikadilataatio

- ▶ Koska valon nopeus on kaikille sama, liike vaikuttaa koordinaatistoon ja ajan kulkuun.
- ▶ Jos kello liikkuu havaitsijaan nähden nopeudella  $v$  ja kello on mitannut ajan  $t_0$ , on ulkopuolisen havaitsijan mukaan kulunut aika

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

- ▶ Kellon mittaamaa aikaa  $t_0$  kutsutaan itseisajaksi.
- ▶ Kaikki muut ajat riippuvat kellon liikkeestä havaitsijan suhteen.

# Pituuskontraktio

- ▶ Toisaalta liikkuvalla kohteella välimatka näyttää lyhyemmältä.
- ▶ Tarkemmin sanottuna itseasiassa liikkuva kohde näyttää havaitsijasta lyhyemmältä ja toisinpäin.
- ▶ Jos kappaleen lepopituus liikesuunnassa on  $l_0$ , liikuessaan nopeudella  $v$  kappale näyttää kutistuneen pituuteen

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

## Liikemassa

- ▶ Kappale ei voi koskaan saavuttaa valonnopeutta, koska sen massa alkaa kasvaa lepokoordinaatistossa olevan havaitsijan mukaan.
- ▶ Massa on hitauden mitta, joten kiihdytykseen tarvittava voima kasvaa samalla.
- ▶ Jos kappaleen lepomassa on  $m_0$  ja se liikkuu nopeudella  $v$ , levossa olevan havaitsijan mielestä massa näyttää olevan

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

Näin ollen myös kiihdyttämiseen tarvittava voima kasvaa äärettömään nopeuden lähestyessä valonnopeutta.

## Liikemäärä ja -energia

- ▶ Koska massa kasvaa, kasvaa myös liikemäärä ja liike-energia.
- ▶ Liikemäärä voidaan laskea suoraan liikemassalla

$$p = mv = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

- ▶ Kappaleen kokonaisenergia saadaan massan ja energian ekvivalenssista  $E = mc^2$ . Jos halutaan liike-energia, tulee tästä poistaa kappaleen lepomassan energia:

$$E_k = E - E_0 = mc^2 - m_0c^2 = \left( \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right) m_0c^2$$

# Kaksosparadoksi

- ▶ Kaksosparadoksi on legendaarinen ajatuskoe, jolla suhteellisuusteoriaa yritettiin kumota.
- ▶ Kaksosita toinen lähtee avaruusmatkalle Alpha Centauriin ja toinen jää Maahan.
- ▶ Koska nopeasti liikkuvan kappaleen kello käy hitaammin, avaruusmatkalla ollut henkilö on palatuaan sisarustaan nuorempi.
- ▶ Tätä pidettiin alkuun todisteena siitä, että suhteellisuusteoria ei voi pitää paikkansa, mutta sittemmin on kokoein osoitettu, että näin nimenomaan tapahtuu.
- ▶ Ongelma on pohjustettu näppärästi videolla:  
<https://www.youtube.com/watch?v=Bg9MVRQYmBQ>
- ▶ Ja ratkaisu selitetty tällä videolla:  
[https://www.youtube.com/watch?v=0iJZ\\_QGMLD0](https://www.youtube.com/watch?v=0iJZ_QGMLD0)