

# Perusvuorovaikutukset

Tapio Hansson

## Perusvuorovaikutukset

- ▶ Vuorovaikutukset on perinteisesti jaettu neljään:
  - ▶ Gravitaatio
  - ▶ Sähkömagneettinen vuorovaikutus
  - ▶ Heikko vuorovaikutus
  - ▶ Vahva vuorovaikutus
- ▶ Sähköheikkoteoria yhdisti sähkömagneettisen ja heikon vuorovaikutuksen. Myöhemmin myös vahvan vuorovaikutuksen on huomattu olevan saman vuorovaikutuslajin muoto.
- ▶ Tämä neljän jaottelu on kuitenkin käytännöllinen tapa käsitellä vuorovaikutuksia, sillä ne eroavat näin toisistaan matalissa lämpötiloissa.
- ▶ Tärkein sisältö vuorovaikutuksista on kiteytettynä xkcd:ssa: <https://xkcd.com/1489/>.

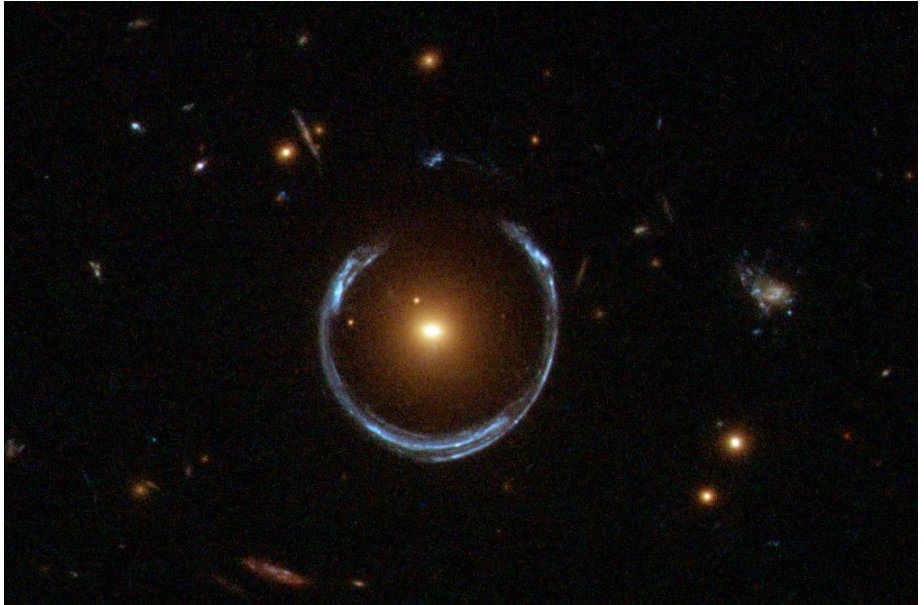
# Gravitaatio

- ▶ Gravitaatiovuorovaikutus on vuorovaikutus, joka rakentaa maailmankaikkeuden suuret rakenteet sellaisiksi kuin ne ovat.
- ▶ Gravitaatio vaikuttaa kaikkien massallisten kappaleiden välillä.
- ▶ Sir Isaac Newton kuvasi gravitaatiovuorovaikutuksen gravitaatiolaillaan vuonna 1687.
- ▶ Sittemmin Newtonin teoriassa on havaittu puutteita, ja Albert Einstein esitti nykyisin gravitaatiota parhaiten kuvaavan teorian, yleisen suhteellisuusteorian.
- ▶ Yleisen suhteellisuusteorian mukaan massallinen kappale muokkaa avaruutta. Kaikki kappaleet kulkevat periaatteessa suoraan, mutta avaruus, jossa ne kulkevat on kaareutunut, jolloin Maa pysyy Auringon ympärillä ja Kuu Maan ympärillä.

# Gravitaatio

- ▶ Animaatio aiheesta:  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:General\\_relativity\\_time\\_and\\_space\\_distortion.ogv](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:General_relativity_time_and_space_distortion.ogv)
- ▶ Gravitaatiolinssi on eräs ilmiö, joka selittyy hyvin taipuvalla avaruudella.
- ▶ Kulkiessaan suurten massojen läheltä, kaukaisista galakseista tuleva valo taipuu. Tällöin galaksin kuva vääristyy.
- ▶ Animaatio ja tietoa aiheesta:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Gravitational\\_lens](https://en.wikipedia.org/wiki/Gravitational_lens)

# Gravitaatiolinssi

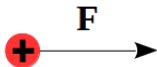
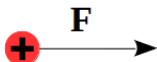


# Sähkömagneettinen vuorovaikutus

- ▶ Sähkömagneettisia ilmiöitä on tutkittu 1800-luvulta.
- ▶ Sähkö ja magnetismi linkittyvät toisiinsa erottamattomasti. Sähköisesti varatun hiukkasen liikkuaessa sillä on magneettikenttä, ja toisaalta magneettikenttä vaikuttaa liikkuvaan varattuun hiukkaseen.
- ▶ Brittifysiikko James Clerc Maxwell kuvasi sähkömagnetismin yhtälöillään 1800-luvun loppupuolella.
- ▶ Nykyinen käsitys sähkömagnetismista perustuu hiukkasfysiikkaan, jossa sähkömagneettista vuorovaikutusta välittää välittäjähiukkanen: fotoni.

# Etävuorovaikutukset

Hiukkasteoriassa voima välittyy välittäjähiukkasen avulla. Tällöin etävuorovaikutuksessa ei ole mitään erityisen kummallista. Välittäjähiukkanen voi siirtää energiaa ja liikemäärää toiselle hiukkaselle.



# Sähkömagneettinen vuorovaikutus

- ▶ Sähkömagneettinen vuorovaikutus on vuorovaikutus, joka pitää aineen rakenteen kasassa tasolla, jolla sitä yleensä tarkastelemme.
- ▶ Se sitoo elektronit ytimien ympärille muodostaen atomeja sekä on vastuussa kaikista kemiallisista sidoksista ja molekyylien muodostumisesta.
- ▶ Loppupeleissä kaikki kosketusvuorovaikutuksetkin ovat peräisin kappaleiden reunojen välisistä sähkömagneettisista vuorovaikutuksista.



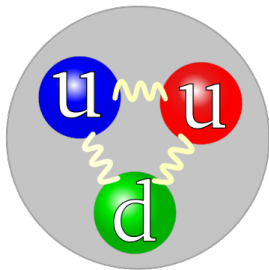
## Vahva vuorovaikutus

- ▶ Vahva ydinvoima vaikuttaa kvarkkien välillä ja sen välittäjähiukkasia ovat gluonit.
- ▶ Positiiviset protonit hylkivät sähköisesti toisiaan, joten ytimien ei pitäisi pysyä kasassa pelkän sähkömagnetismin valossa.
- ▶ Hyvin lyhyillä etäisyyksillä vaikuttaa kuitenkin toinen vuorovaikutus, eli vahva vuorovaikutus joka sitoo kvarkkeja yhteen.
- ▶ Saturday Morning Breakfast Cereal -sarjakuva kuvaa hienosti miten fysiikanopiskelijoiden kuvitelmat rakkaudesta osuvat yksiin protonien vuorovaikutuksen kanssa:

<http://www.smbc-comics.com/comic/2013-04-10>

# Vahva vuorovaikutus

- ▶ Vaikka vahva vuorovaikutus vaikuttaa kvarkkien välillä, ovat protonit ja neutronit ytimessä niin lähekkäin, että vahva vuorovaikutus sitoo kvarkkeja yhteen myös eri hiukkasista.
- ▶ Vahvan vuorovaikutuksen välittäjähiukasta kutsutaan gluoniksi.
- ▶ VV:n kantama on hyvin lyhyt, eikä se vaikuta juurikaan ytimen ulkopuolella.



# Heikko vuorovaikutus

- ▶ Heikko vuorovaikutus kykenee vaihtamaan hiukkasia toisikseen.
- ▶ Se löydettiin  $\beta$ -hajoamisen yhteydessä, jossa nukleonit muuttuvat toisikseen.
- ▶ Heikon vuorovaikutuksen välittäjähiukkasia ovat  $W^\pm$ - ja  $Z^0$ -bosonit.
- ▶ Näiden suuren massan vuoksi heikon vuorovaikutuksen kantama on erittäin lyhyt: n. 0,01 femtometriä.
- ▶ Heikkoa vuorovaikutusta kutsutaan heikoksi, koska se ilmenee varsin harvoin, ja on vähemmän voimakas kuin vahva vuorovaikutus.
- ▶ Heikko vuorovaikutus on myös syypää fuusioreaktioon Auringossa, joten siitä on loppupeleissä peräisin kaikki Maahan saapunut energia.

# Suuret yhtenäisteoriat

- ▶ Tällä hetkellä fysiikassa on kaksi toisiaan täydentävää erillistä teoriaa.
- ▶ Standardimalli selittää sähkömagnetismin, heikon ja vahvan vuorovaikutuksen, sekä hiukkastason ilmiöt.
- ▶ Yleinen suhteellisuusteoria selittää gravitaation ja siten maailmankaikkeuden rakenteet.
- ▶ Suuri tavoite on saada nämä yhdistettyä yhdeksi teoriaksi. Nk. suureksi yhtenäisteoriaksi (GUT).
- ▶ Gravitaatioa yritetään saada selitettyä hiukkasmallin avulla (gravitoni), jolloin sen voisi liittää osaksi standardimallia.

# Säieteoriaa

- ▶ Toinen tapa päästä yhtenäisteoriaan olisi muuttaa muut vuorovaikutukset geometrisiksi, kuten yleinen suhteellisuusteoria kuvaa gravitaatiota.
- ▶ Tämä lähestymistapa on käytössä säieteorioilla, joita on tänä päivänä jo useita hieman erilaisia.
- ▶ Säieteorioista nk. M-teoria on tällä hetkellä varsin suosittu tunnettujen fyysikoiden keskuudessa.
- ▶ M-teoria yhdistää viisi supersäieteoriaa ja supergravitaatioteorian.
- ▶ Työ on vielä pahasti kesken, sillä kaikkia teorian ymmärtämiseen tarvittavia matemaattisia työkalujakaan ei ole vielä välttämättä saatu keksittyä.