

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.
- ▶ Tärkein sisältö vuorovaikutuksista on kiteytettynä xkcd:ssa: <https://xkcd.com/1489/>.

Gravitaatio

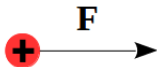
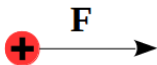
- ▶ Gravitaatiolla on usein varsin mitätön rooli hiukkasfysiikassa, johtuen hiukkasten mitättömistä massoista.
- ▶ Se on teoreettisesti kuitenkin hyvin merkittävä vuorovaikutus, sillä se ei sisälly standardimalliin.
- ▶ Gravitaation välittäjähiukkaseksi on kaavailtu gravitonia, mutta sitä ei ole vielä kyetty havaitsemaan.
- ▶ Gravitaatio kuvataan yleisessä suhteellisuusteoriassa.
- ▶ Alkumaaailmankaikkeus oli niin tiivis, että gravitaatio oli paljon merkittävämpi.
- ▶ Gravitaation kenttäteoriaksi yritetään muotoilla niin sanottua supergravitaatioteoriaa.

Sähkömagneettinen vuorovaikutus

- ▶ Sähkömagneettinen vuorovaikutus sai ensimmäisen teoriansa Maxwellin muodostettua yhtälönsä, jotka kuvaavat sähkömagnetismia aaltoilmiönä.
- ▶ Nykyinen kvanttielektrodynamiikka (kvanttisähködynamiikka, QED) kuvaa valon ja aineen vuorovaikutuksen niin hyvin kuin tämän päivän tutkimuksen valossa on mahdollista.
- ▶ Sähkömagnetismi perustuu fotonien vaihtoon, ja fotoni onkin sähkömagneettisen vuorovaikutuksen välittäjähiukkanen.
- ▶ Esimerkiksi kahden varauksen välinen voima syntyy kun varaukset kytkevät toisiinsa fotonien välityksellä.

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 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.

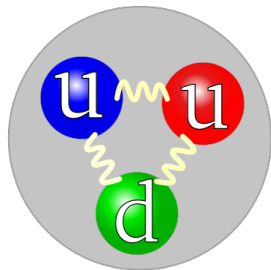
Vahva vuorovaikutus

- ▶ 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

- ▶ Vahvaa vuorovaikutusta kuvaava kenttäteoria on kvanttiväridynamiikka (QCD), joka on kehitetty QED:n avulla.
- ▶ Kvarkeilla on niinsanotut värit, ja gluonit välittävät värien välillä vuorovaikutusta hieman kuten fotonit sähkövarauksien välillä.
- ▶ Ydinhiukkasten välisen vahvan vuorovaikutuksen luonne riippuu etäisyydestä. Alle 0,4 femtometrin läheisyys aiheuttaa vahvan poistovoiman ja 0,4-2 femtometrin etäisyydellä vallitsee tiukka vetovoima.
- ▶ Yli 2 femtometrin päässä voiman vaikutus häviää.
- ▶ Nukleonit ovat halkaisijaltaan n. 1 fm.

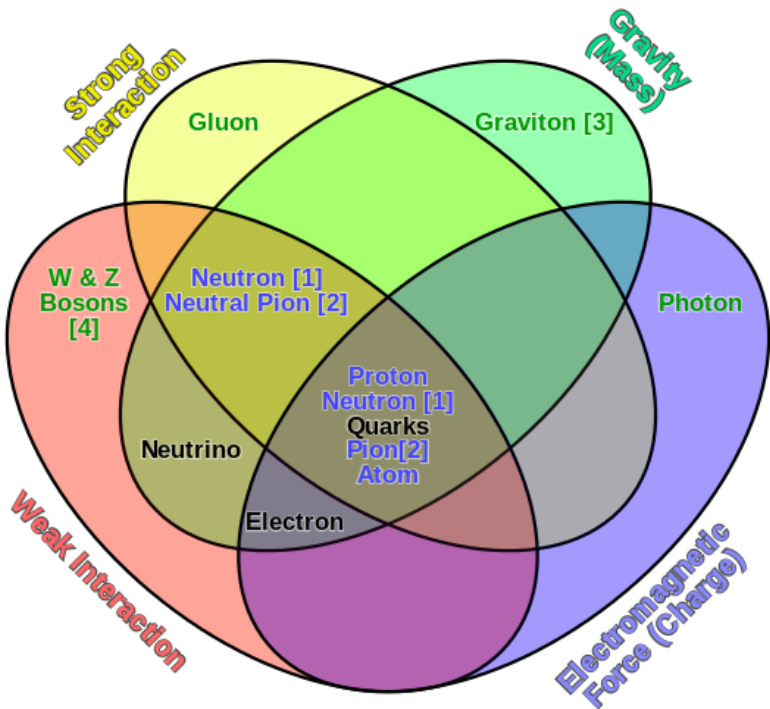


Heikko vuorovaikutus

..... radioaktiivinen hajoaminen auringon
fuusio.....W- ja Z-bosonit.....

Heikko vuorovaikutus

- ▶ Heikko vuorovaikutus kykenee vaihtamaan hiukkasia toisikseen.
- ▶ Se löydettiin β -hajoamisen yhteydessä, jossa nukleonit muuttuvat toisikseen.
- ▶ Kaikki leptonit ja kvarkit kokevat heikon vuorovaikutuksen.
- ▶ Itseasiassa neutriinoiden tapauksessa heikko vuorovaikutus on ainoa vuorovaikutusmekanismi.
- ▶ Heikon vuorovaikutuksen välittäjähiukkasina ovat W^{\pm} - ja Z^0 -bosonit.
- ▶ Näiden suuren massan vuoksi heikon vuorovaikutuksen kantama on erittäin lyhyt: n. 0,01 femtometriä.
- ▶ Sähköheikko kenttäteoria kuvaa myös heikon vuorovaikutuksen.



Säieteoriaa

- ▶ Gravitaation hiukkasteoria on suuren etsinnän alla.
- ▶ Entä jos yhtenäisteoria saadaan aikaiseksi muuttamalla hiukkasvuorovaikutukset geometrisiksi, kuten yleinen suhteellisuusteoria.
- ▶ Säieteorioiden taustalla on ajatus muuttaa muut vuorovaikutukset gravitaation kaltaiseksi, ja siten saada aikaan suuri yhtenäisteoria (GUT).