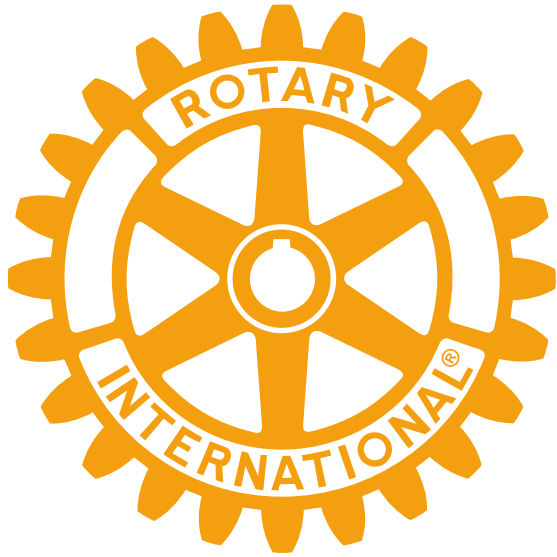




LUONNON PERUSVOIMAT

- miksi maailma pysyy koossa

Fysiikan peruskurssi rotareille

Yrjö Tolvanen 29.1.2026

EGO

Lapsuudenmuisto istumassa Pika-Palan keittiössä maitotonkan päällä.

Ylioppilaaksi Lahden Lyseosta

DI TKK:n teknillisen fysiikan osastolta

- Älykkäimmät lukivat materiaalfysiikkaa → magneettikuvaus, tietokonetomografia, kylmälaboratorio, nyt kvanttietokoneet
- Fiksut lukivat teollisuustaloutta → Nokia, Instrumentarium, ...

Fazer

- Maailman suurimman ruisleipomon tuotantopäällikkö (Oululaisen leipomo)
- Pohjois-Euroopan suurimman leipomoyrityksen tietohallintopäällikkö

Wipak

- Eurooppalaisen elintarvike- ja sairaalapakkausvalmistajan tietohallintojohtaja

Raute

- Globaalin viilu-, vaneri- ja LVL-koneiden valmistajan tietohallintopäällikkö

Klassinen musiikki, suunnistus, koripallo, kesämökki, tiede, tekoäly, kvanttietokone

KUPLETIN JUONI

Maailma koostuu pienistä asioista, alkeishiukkasista, joista muodostuu isoja asioita kuten atomeja, ihmisiä, maapallo ja galaksit

Kiinteiltä vaikuttavat isot asiat ovat täynnä tyhjyyttä

Luonnon neljä perusvoimaa pitävät siitä huolimatta maailman koossa

Sitten on vielä jotain, mistä emme tiedä.

Näkyvä maailma on kuin oluen alkoholi, sitä on 5 % sekä pullossa että universumissa.

KOOT JA ETÄISYYDET

Ydin

- Vety-ydin on läpimitaltaan noin 1,6 fm, uraaniytimen noin 16 fm, eli $1,6 \dots 16 \times 10^{-15} \text{ m}$

Atomi

- 50 pm (vety) – 520 pm (cesium) eli $50 \dots 520 \times 10^{-12} \text{ m}$

→ Atomin läpimitta on noin 20 000 ... 150 000 kertaa ytimen läpimitta

KOOT JA ETÄISYYDET

Aurinkokunta

- Aurinko - Neptunus etäisyys on 30 x 8 valominuuttia
= 4 valotuntia
= $30 \times 8 \times 60 \times 3000000000 = 43 \times 10^{12} \text{ m}$
- Auringon säde $0,7 \times 10^9 \text{ m}$

→ Aurinkokunnan läpimitta on 60 000 kertaa Auringon läpimitta.

Auringossa on 99 % Aurinkokunnan massasta

KOOT JA ETÄISYYDET

Linnunrata

- Läpimitta 200 000 valovuotta = 2 mrd x Aurinkokunta
 - 100 ... 400 mrd tähteä. Mutkat suoraksi → Linnunradassa on 10 tähteä / 1 valovuosi²
 - Auringon lähin tähti Andromeda 4 valovuoden päässä
 - Arvataan, että tähdet ovat keskimäärin 1 valovuoden etäisyydellä toisistaan
- **Tähtien etäisyys on 100 000 000 kertaa tähden koko**

Universumi

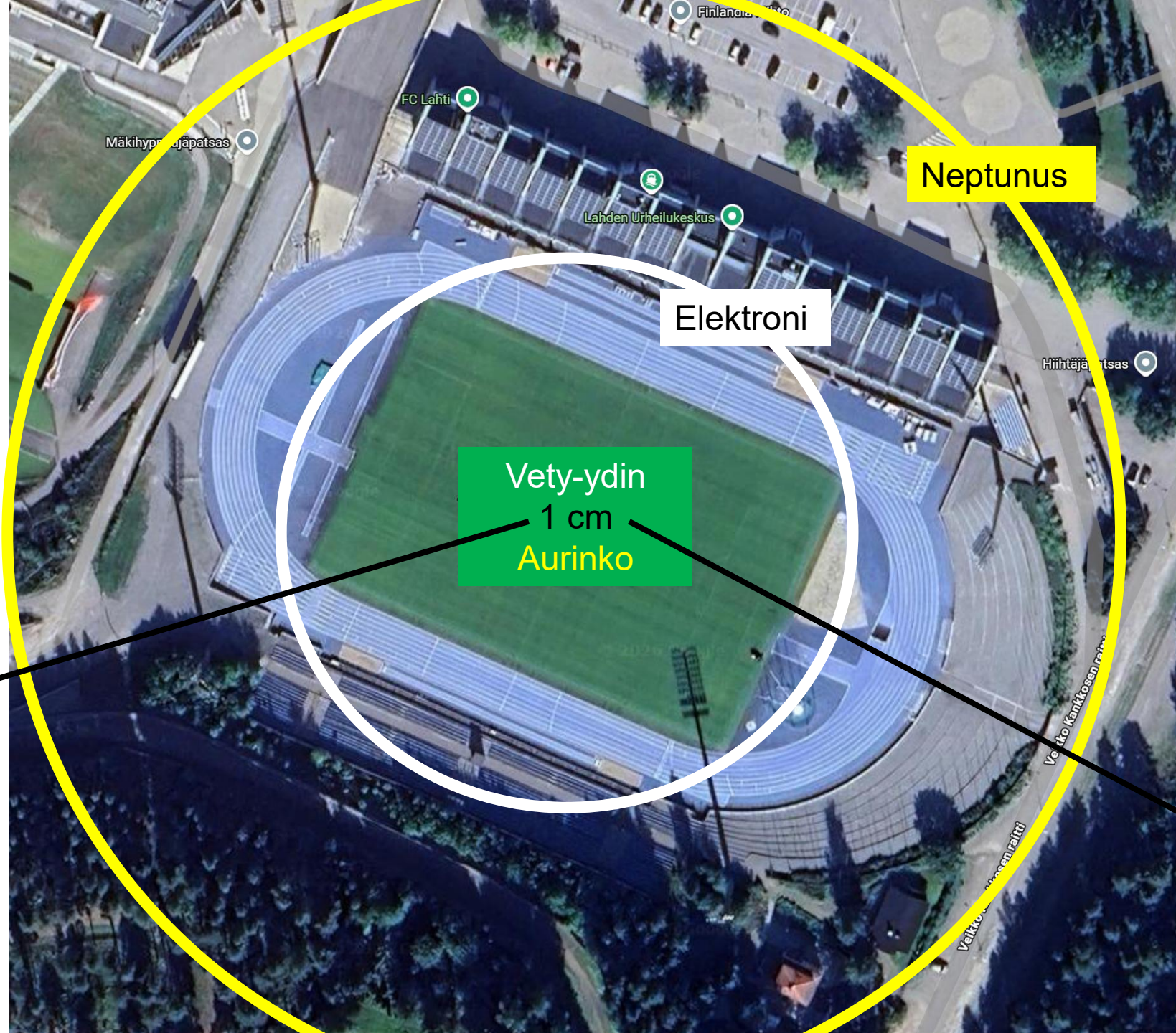
- Maailmankaikkeuden ikä on 13,8 mrd vuotta
 - Maailmankaikkeus laajenee valoa nopeammin
 - Maapallolle näkyvä maailmankaikkeuden läpimitta 90 mrd valovuotta
- **Tyhjyys lisääntyy koko ajan**

ETÄISYYDET

Jos ydin olisi 1 cm kuula, niin elektroni kiertäisi sitä 50 m etäisyydellä

Jos Aurinko olisi 1 cm kuula, niin

- Neptunus kiertäisi sitä 100 m etäisyydellä
- naapuritähdet olisivat 1000 km etäisyydellä



Naapuritähti
Oslossa

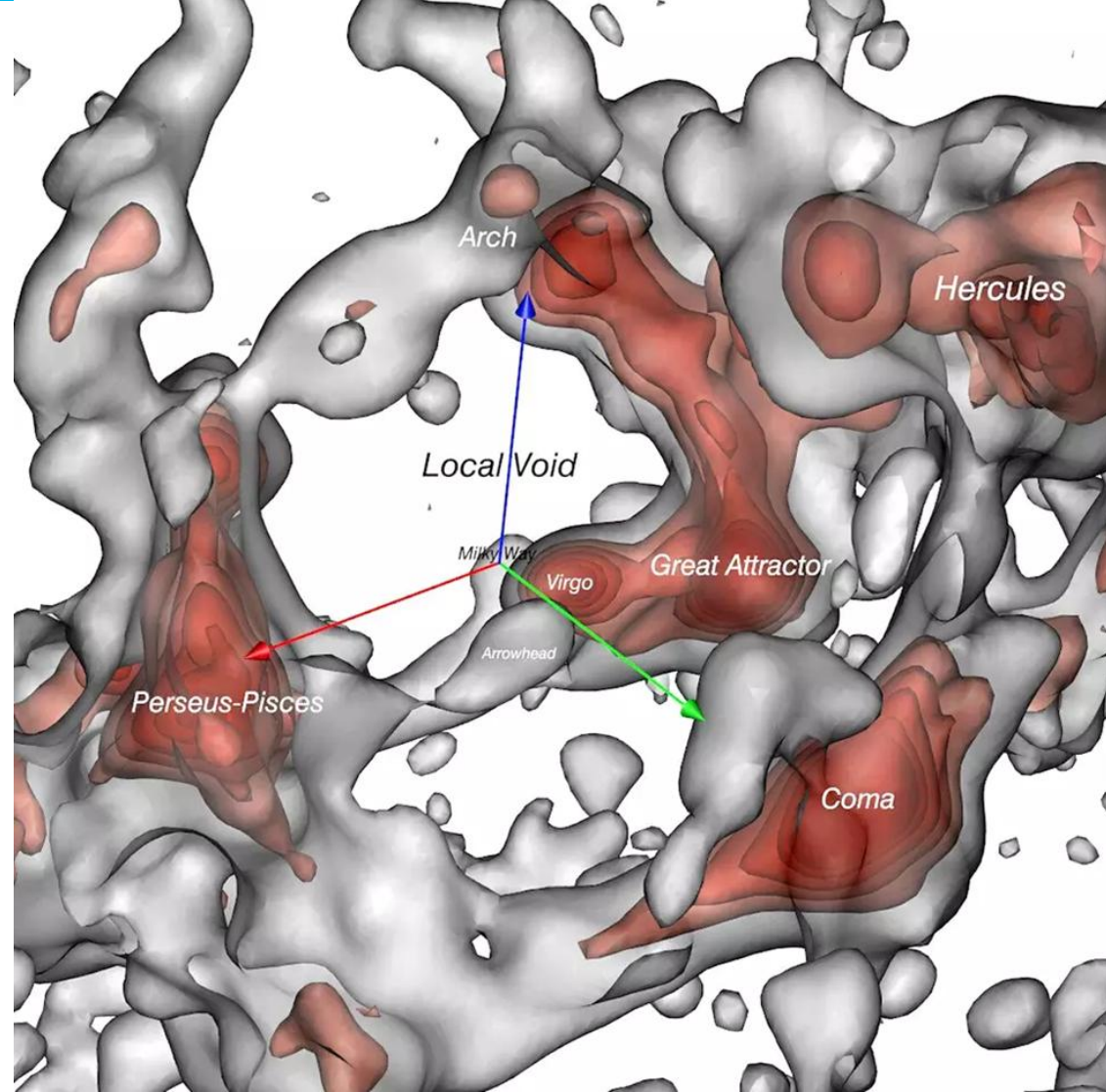
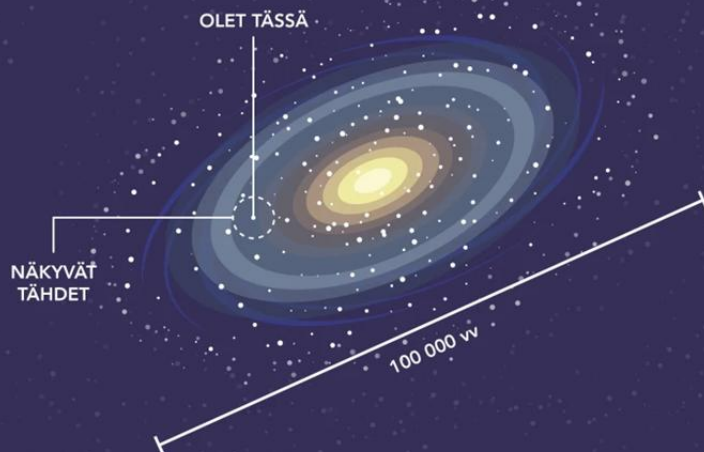
Neptunus

Elektroni

Vety-ydin
1 cm
Aurinko

Naapuritähti
Moskovassa

LINNUNRATA JA MAAILMANKAIKKEUS



Karkea tulkinta avaruuden lähirakenteesta.

Linnunrata on paikallisen tyhjyyden reunamaastossa.

Yhden nuolen pituus on tässä kartassa noin 200 miljoonaa valovuotta.

Ajaudumme Neitsyen galaksijoukkoa (Virgo) kohti.

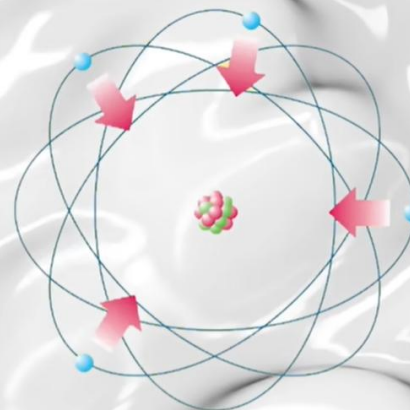
NELJÄ PERUSVOIMAA

Pitää meidät
maan pinnalla
ja planeetat
Auringon
ympärillä

GRAVITATION



ELECTROMAGNETISM



Magneetti kerää
rautanauloja ja
atomin elektronit
kiertävät ydintä

STRONG FORCE



Vahva voima
pitää atomin
ytimen koossa

WEAK FORCE



Heikko voima
synnyttää
radioaktiivisuuden
eli muuttaa
alkuaineen
toiseksi tai eri
isotoopiksi

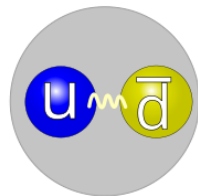


PROTONI, NEUTRONI JA ELEKTRONI

Aine ja me ihmiset
koostumme atomeista.

Atomit koostuvat
kvarkeista,
elektroneista ja
neutriinoista.

Mesonit

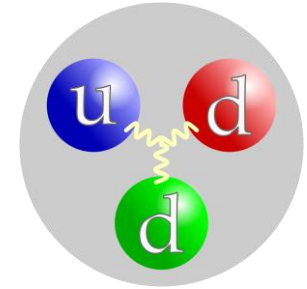


Neutroni

- Massa
- Säde

$$1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

$$1,6 \times 10^{-15} \text{ m}$$

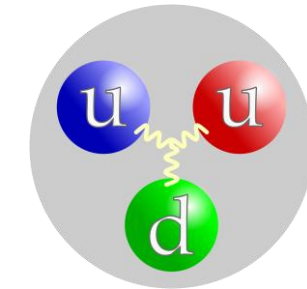


Protoni

- Massa
- Säde

$$1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

$$0,84 \times 10^{-15} \text{ m}$$

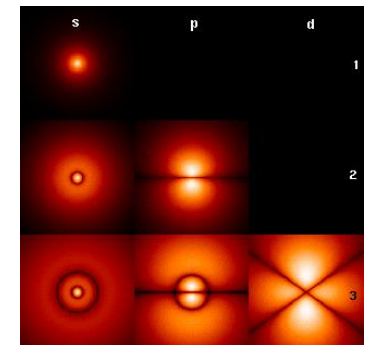


Elektroni

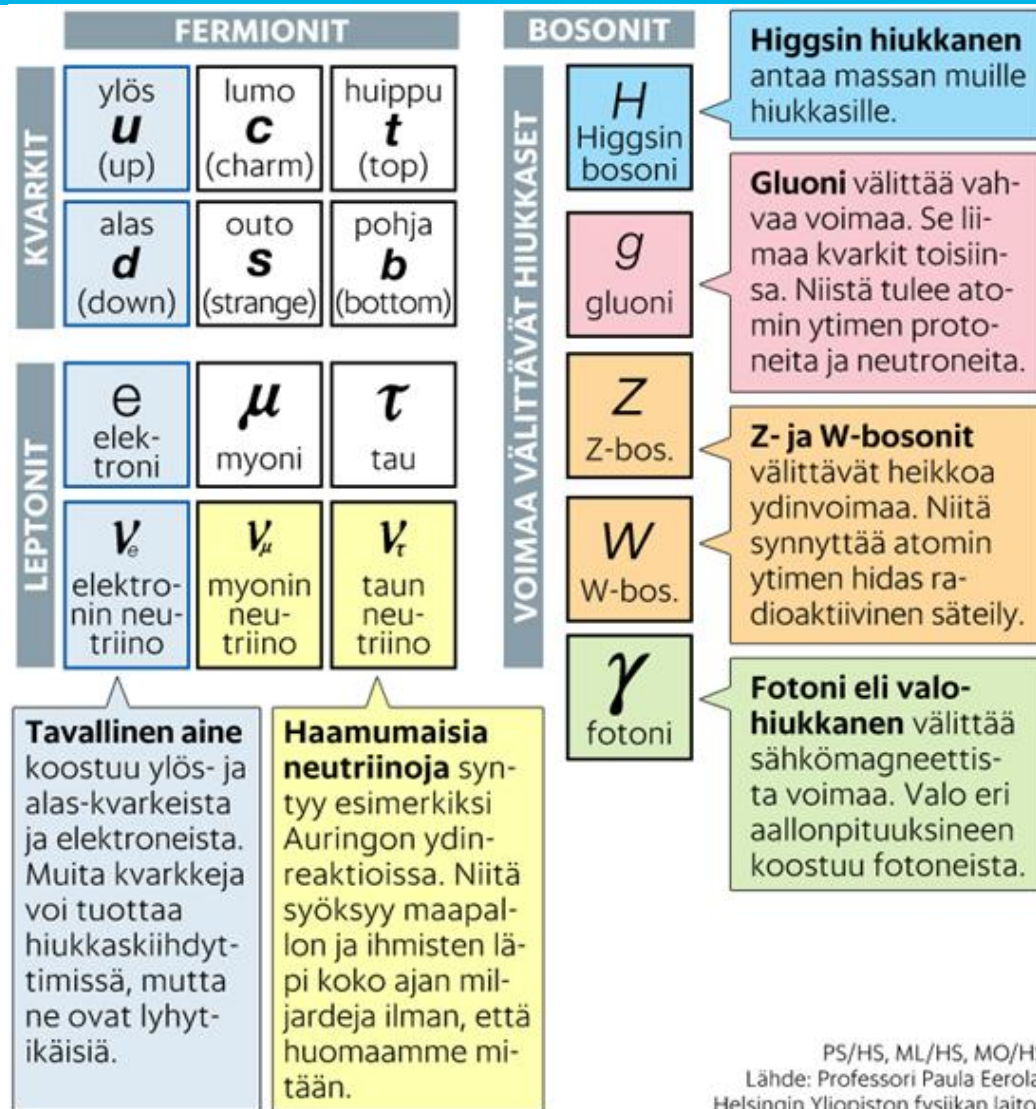
- Massa
- Säde (?)

$$9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$2,81 \times 10^{-15} \text{ m}$$



HIUKKASFYSIIKAN STANDARDIMALLI



Higgsin bosoni löydettiin Sveitsissä CERNin Suuressa hadronitörmäyttimeissä (Large Hadron Collider, LHC) 2012. Peter Higgs sai Nobelin 2013.

VAHVA YDINVOIMA

Atomin ytimessä protonien välillä on hyvin voimakas sähköinen poistovoima ja protonit ja neutronit ovat nopeassa liikkeessä. Silti atomiydin pysyy koossa.

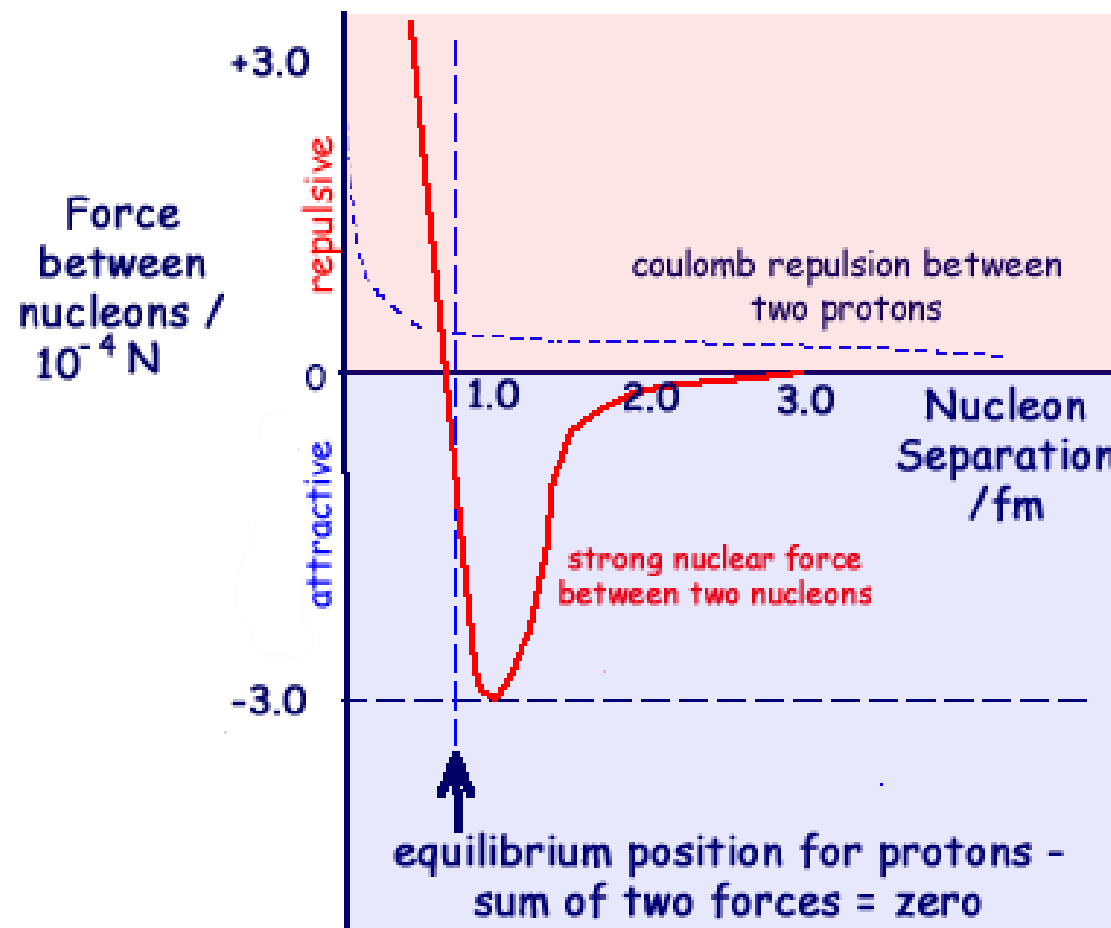
Vahva vuorovaikutus sitoo kvarkit protoneiksi ja neutroneiksi, mutta lisäksi tämän voiman niin sanottu jäännösvoima sitoo protonit ja neutronit toisiinsa atomiytimiksi.

Vahva vuorovaikutus on vahva, sen tiedämme ydinvoimaloista ja ydinpommeista. Fissiossa energiaksi muuttuu $\sim 0,1 \%$ massasta. 1 g materiaa ~ 20 TNT.

PROTONIT, NEUTRONIT JA ATOMIYTIMET

Protonit, neutronit ja atomiytimet pitää koossa **gluonien** välittämä **vahva vuorovaikutus**

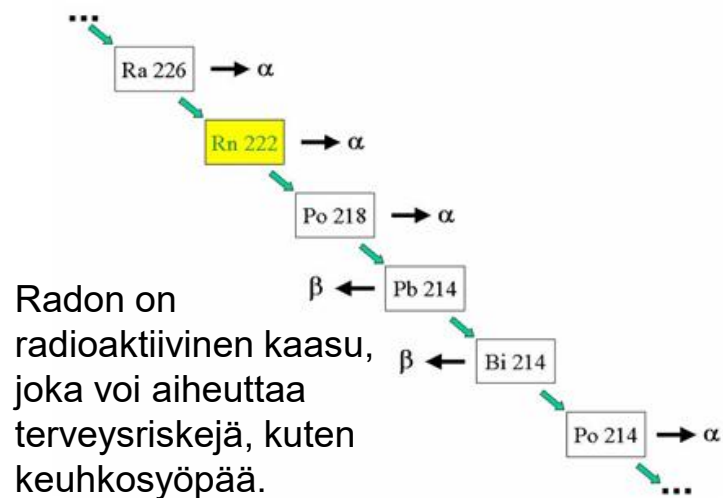
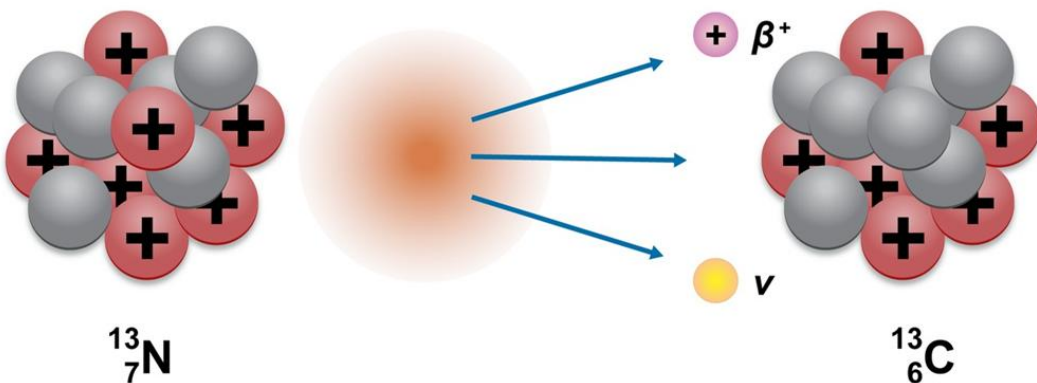
Vahva vuorovaikutus on sikäli erikoinen, että se kasvaa etäisyyden suhteessa. Lähellä toisiaan kvarkit voivat liikkua lähes vapaasti, kaukana toisistaan ne ovat hyvin vaikeasti työnnettävissä poispäin toisistaan.



HEIKKO YDINVOIMA

Luonnon radioaktiivisuus ja sen synnyttämät beta- ja alfasäteily ovat heikon voiman aiheuttamia.

Heikko voima muuttaa yhden aineen toiseksi. Ilman heikkoa voimaa ei olisi kaikkia maailman alkuaineita.



Radon on radioaktiivinen kaasu, joka voi aiheuttaa terveysriskejä, kuten keuhkosyöpää.



Yleisesti hiukkasten havaitseminen palovaroittimessa perustuu sen sisältämään heikkoon, noin 40 kilobecquerelin amerikkium-241 alfasäteilylähteeseen.

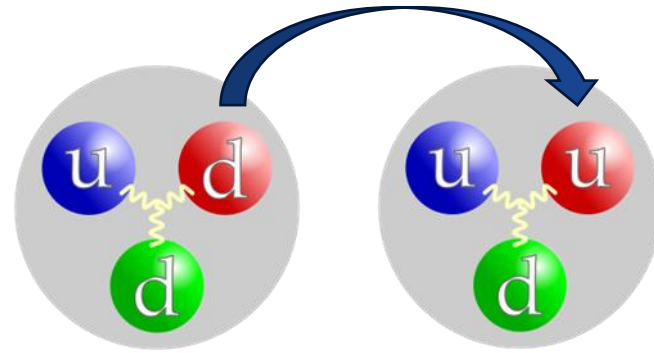
HEIKKO YDINVOIMA

Heikko voima on harvinainen tapahtuma, siksi se on "heikko".

Z ja W bosonit syntyvät, kun kvarkki muuttuu toiseksi kvarkiksi
Z ja W bosonit pystyvät kulkemaan vai $1/1000$ protonin
läpimitasta.

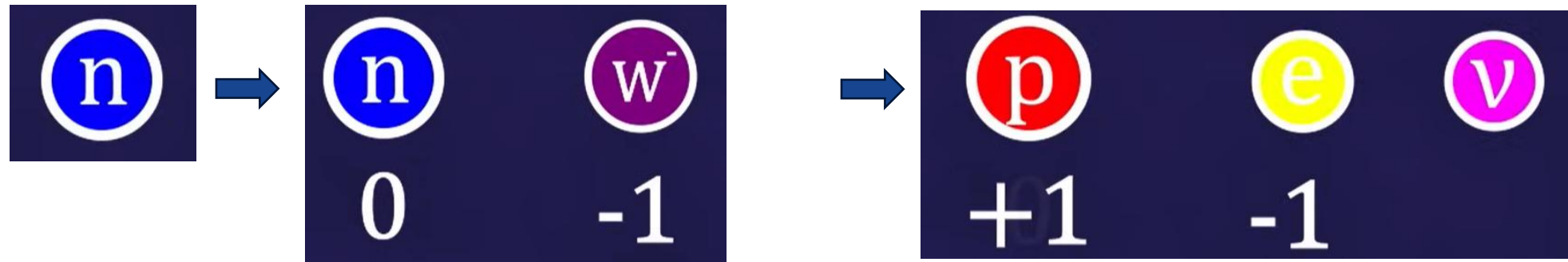
Protonien ja neutronien pitää olla erittäin lähellä toisiaan, että
heikko ydinvoima pystyy vaikuttamaan niiden välillä.

HEIKKO YDINVOIMA



neutroni $\rightarrow$ protoni

Elektroni on beta-säteilyä



SÄHKÖMAGNETISMI

Tanskalainen fyysikko Hans Christian Ørsted havaitsi, että johdossa kulkeva sähkövirta synnyttää ympärilleen magneettikentän.

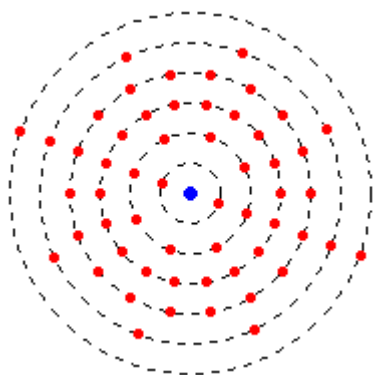
Käänteisen ilmiön, magneettikentän indusoiman sähkövirran, havaitsi englantilainen fyysikko Michael Faraday.

James Clerk Maxwell kokosi sähköä ja magnetismia koskevat erilliset lait 1860-luvulla yhtenäiseksi teoriaksi, joka ennusti sähkömagneettisten aaltojen olemassaolon ja viittasi siihen, että myös valo on sähkömagneettista säteilyä.

Heinrich Hertz osoitti kokeellisesti Maxwellin teorian ennustamien radioaaltojen olemassaolon vuonna 1888.

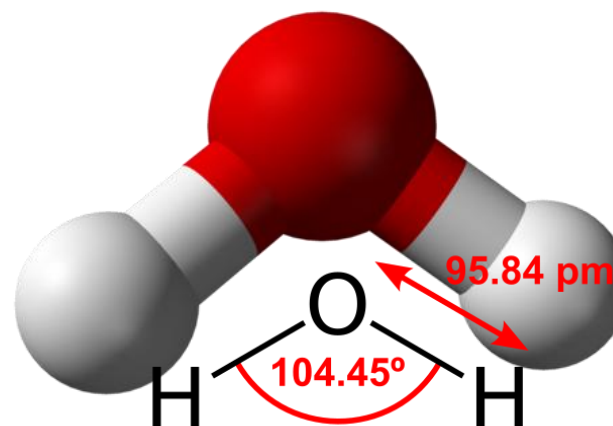
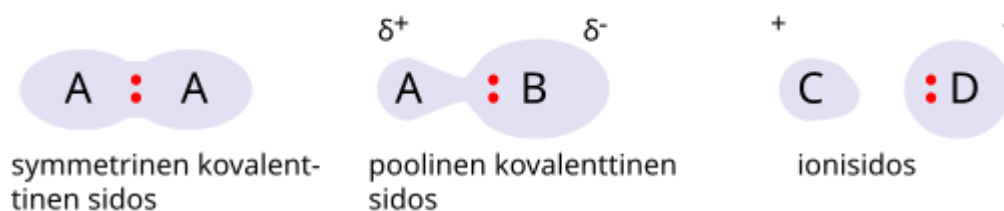
SÄHKÖMAGNEETTINEN VUOROVAIKUTUS

Sähkömagneettinen vuorovaikutus sitoo negatiivisesti varatut elektronit positiivisesti varatun atomiytimen ympärille, ja mahdollistaa erilaisten kiinteiden ja nestemäisten aineiden muodostumisen.



Jokaisella kuorella voi olla korkeintaan $2n^2$ elektronia, missä n on kuoren järjestysnumero. Ensimmäisen kuoren elektronien maksimimäärä on siis kaksi, toisen 8, kolmannen 18 ja niin edelleen.
Kuvassa bariumatomi.

Sidoksen ioniluonne kasvaa



Hapen järjestysluku 8, vedyn 1.

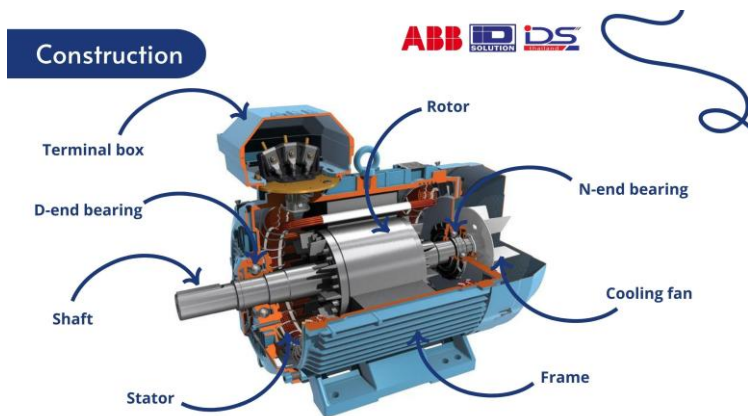
Kovalenttinen sidos on vahva. Sen tiedämme tarvittavasta tuulivoimasta, kun sähkön avulla vettä hajotetaan vedyksi ja hapeksi.

Vedyt "jakavat" elektronit keskenään, ensimmäisellä kuorella molemmilla 2 elektronia.

Happi ja vedyt "jakavat" elektronit keskenään.
Hapen ensimmäisellä kuorella 2, toisella kuorella 8 elektronia

SÄHKÖMAGNEETTINEN VUOROVAIKUTUS

Sähkömoottorit, sähkön tuotanto ja siirto, valokaapelit, radiot, lankapuhelin, tutkat,...

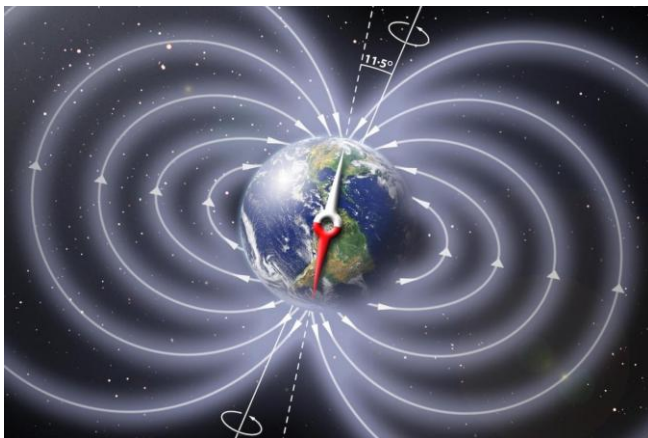


MAGNEETTI

Magnetoituvia aineita: rauta, nikkeli, koboltti, lisäksi luonnossa esiintyy joitain rautapitoisia malmeja.

Magneettikenttä muodostuu magneetissa, kun malmin yksittäisten atomien magneettiset momentit järjestäytyvät samansuuntaisesti esimerkiksi ulkoisen magneettikentän ohjaamina. Magneettisesta malmista voidaan tulkita sen synty aika ja -paikka sekä magneettikentän suunta.

Ferromagneettiset kappaleet magnetoituvat toisen magneetin lähellä. Ns. magneettisesti kovissa aineissa, kuten teräksessä, näin aikaansaatu magneettisuus on pysyvää, magneettisesti pehmeissä aineissa se taas heikkenee nopeasti, kun ulkoinen magneettikenttä on poistettu. Magneettisuus voidaan poistaa esimerkiksi lämmittämällä tai kuumentamalla sitä,



SÄHKÖMAGNEETTINEN VUOROVAIKUTUS

ELECTRIC FORCES

Opposite signs attract



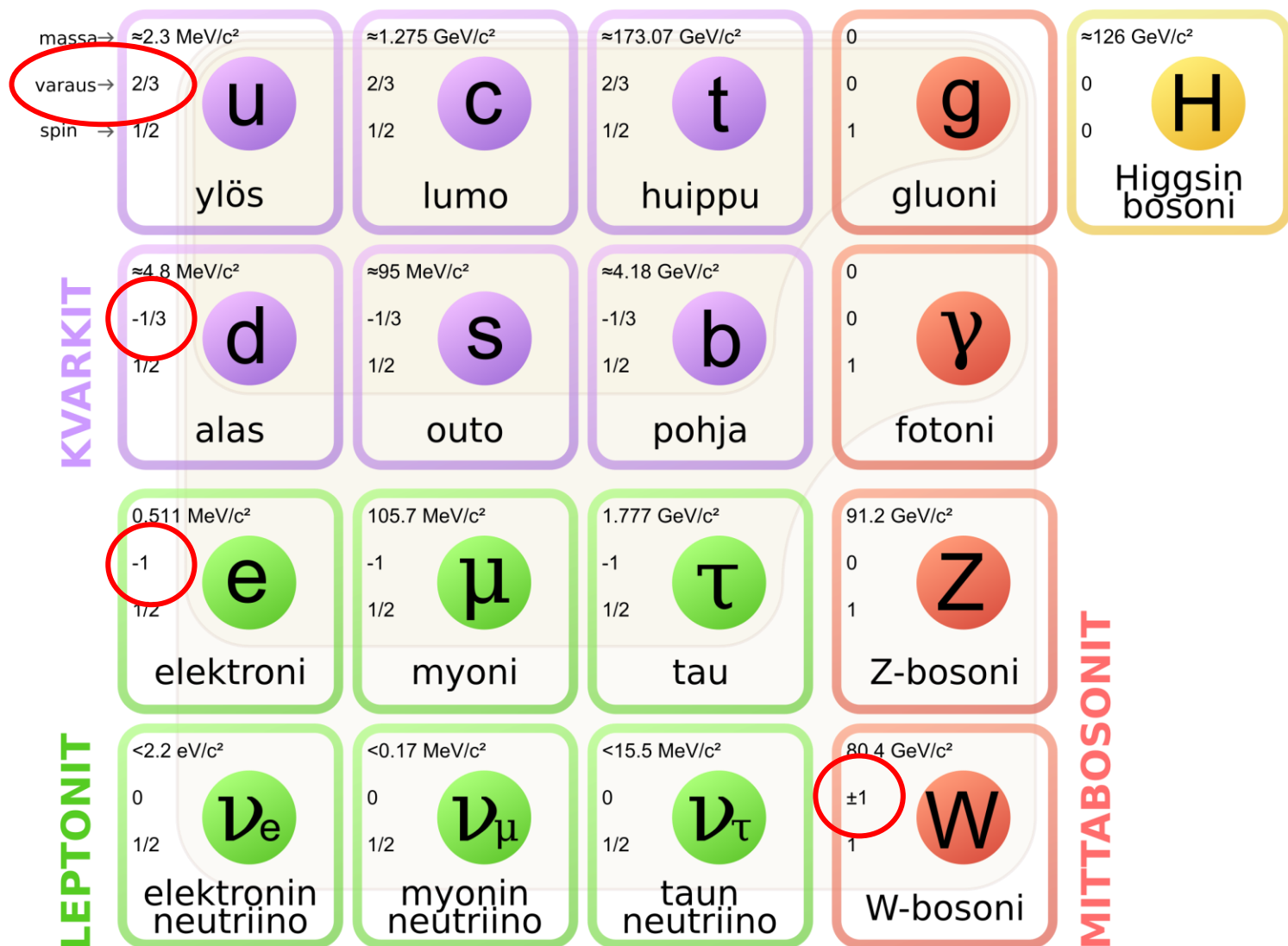
Like signs repel



***Sets of moving charges make
and feel magnetic forces***

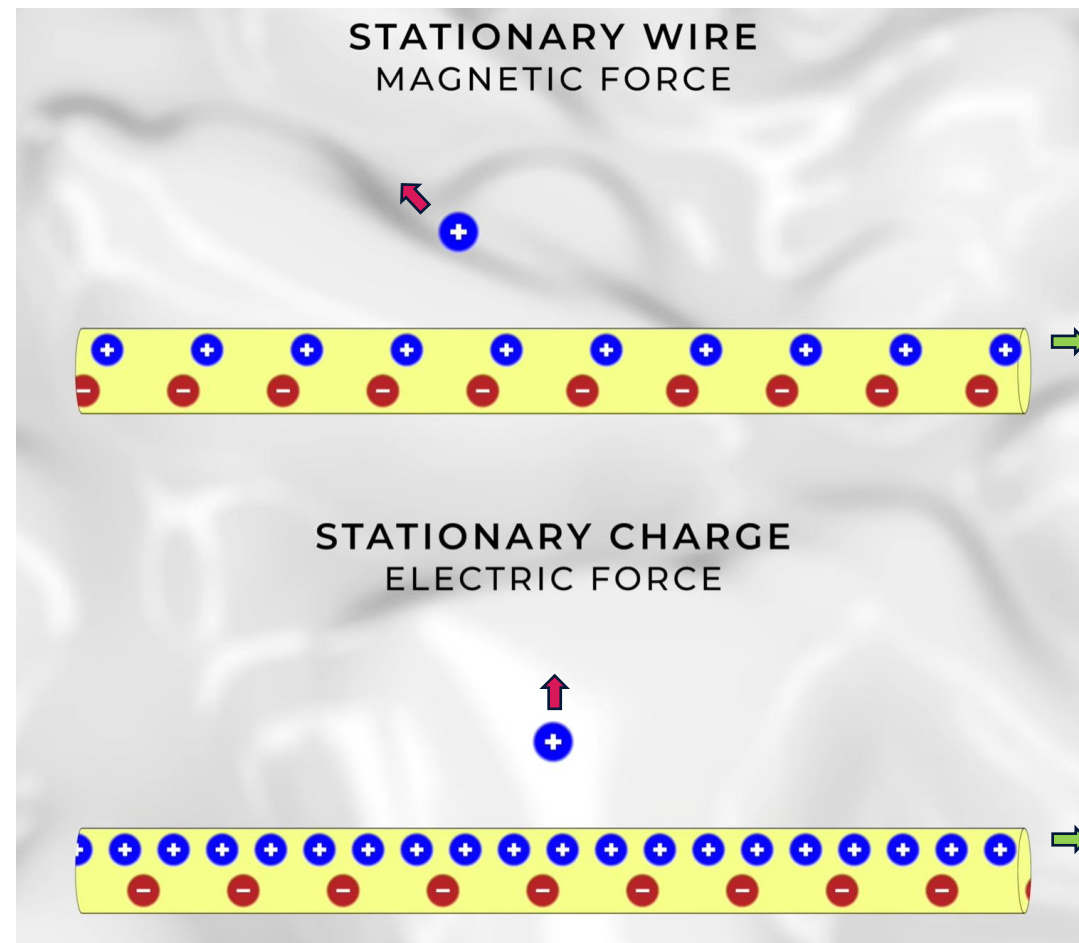
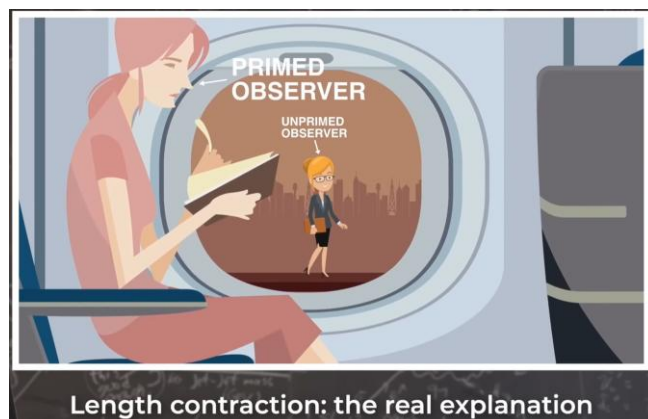
***If both charges are not moving,
then no magnetic forces***

HIUKKASFYSIIKAN STANDARDIMALLI

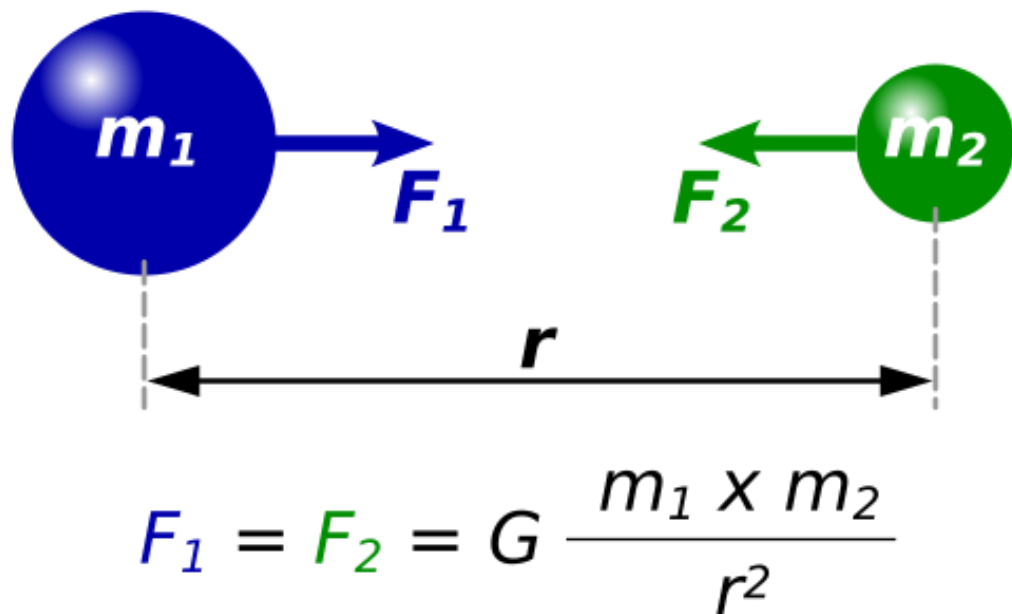


SÄHKÖMAGNEETTINEN VUOROVAIKUTUS

Yleinen suhteellisuusteoria
muuttaa magneettisen voiman
sähköiseksi voimaksi ja
päinvastoin.

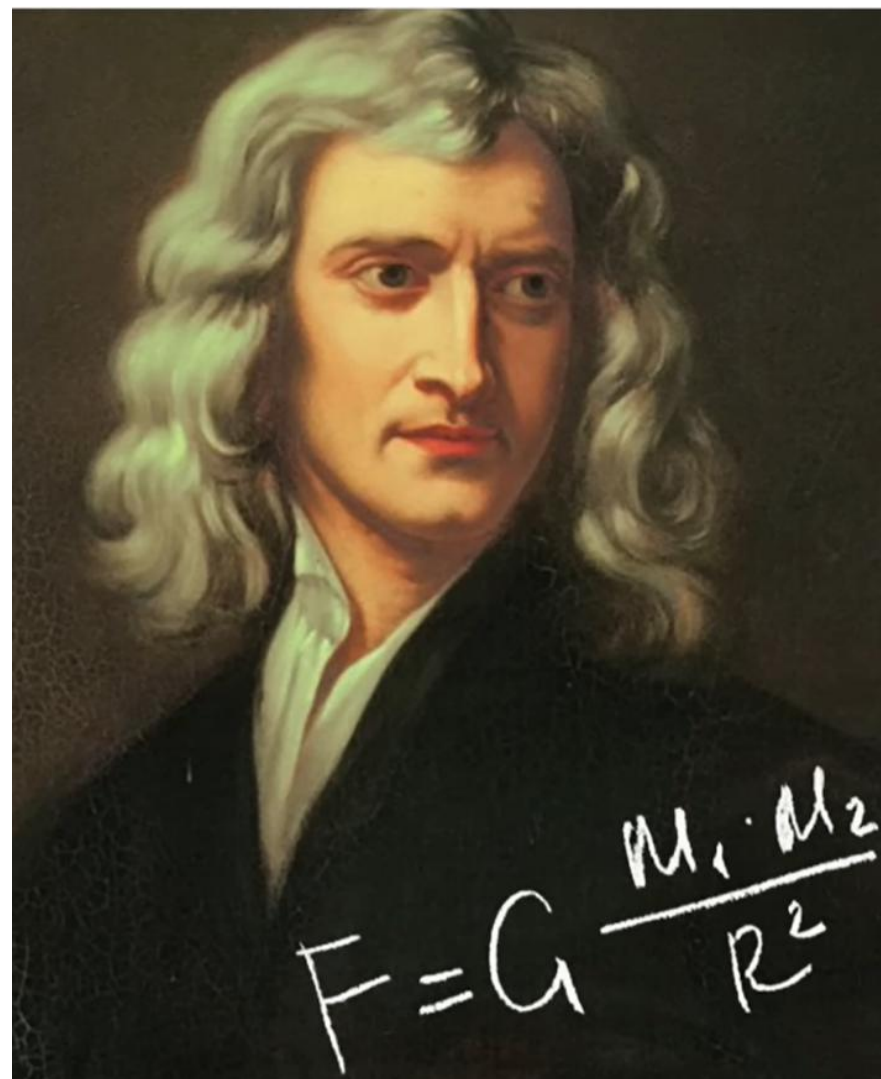


GRAVITAATIO



Newtonin painovoimalaki 1687

Painovoimalla ei ole etenemisnopeutta, se on pysyvästi joka paikassa.

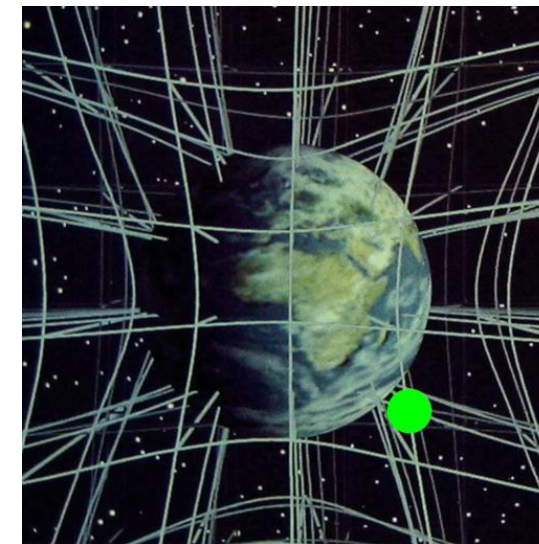
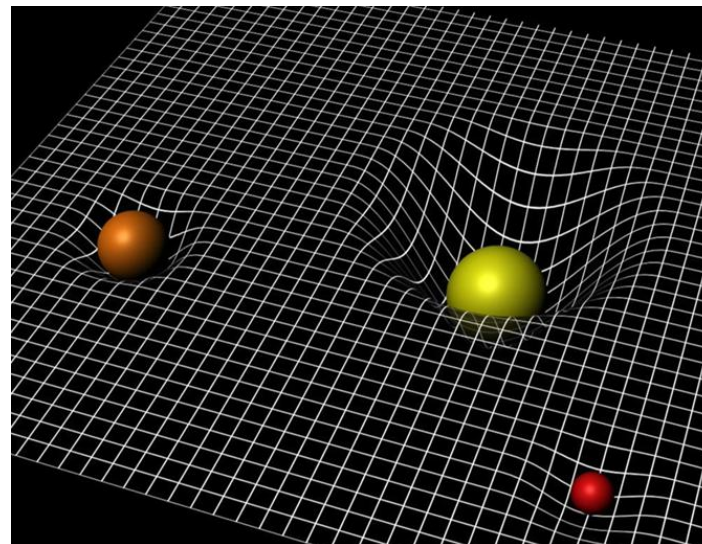
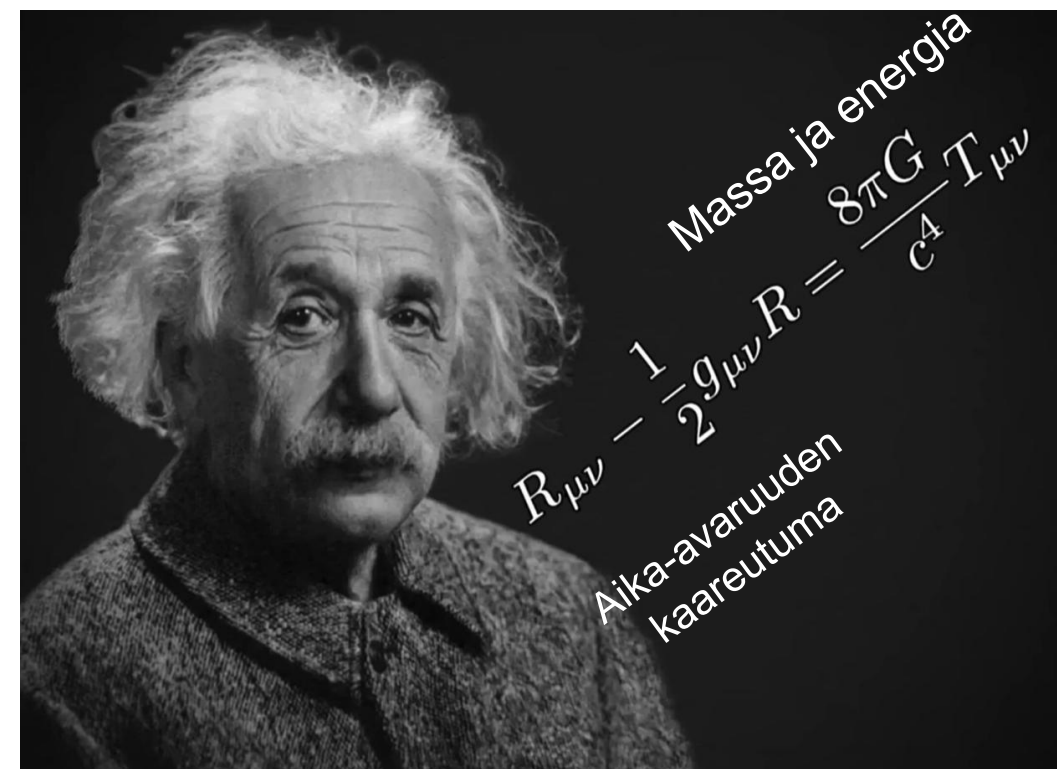


Muuta:

Differentiaali- ja
integraalilaskenta
Valon spektri
Äänen nopeus
Peilikaukoputki
MP
Royal Mint

Uskonto
Okkultiikka
Alkemia

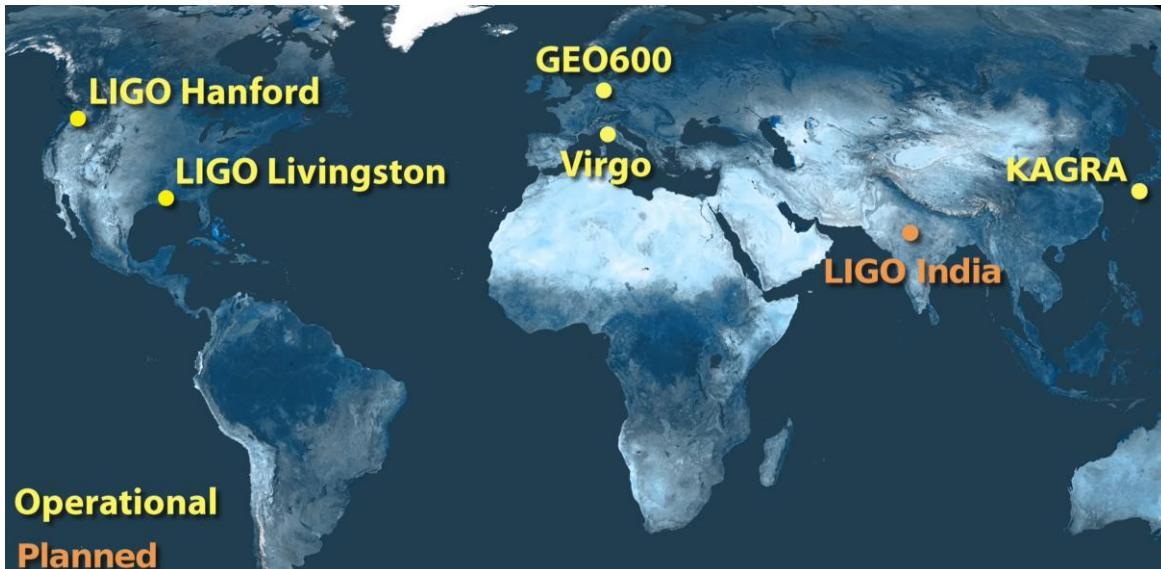
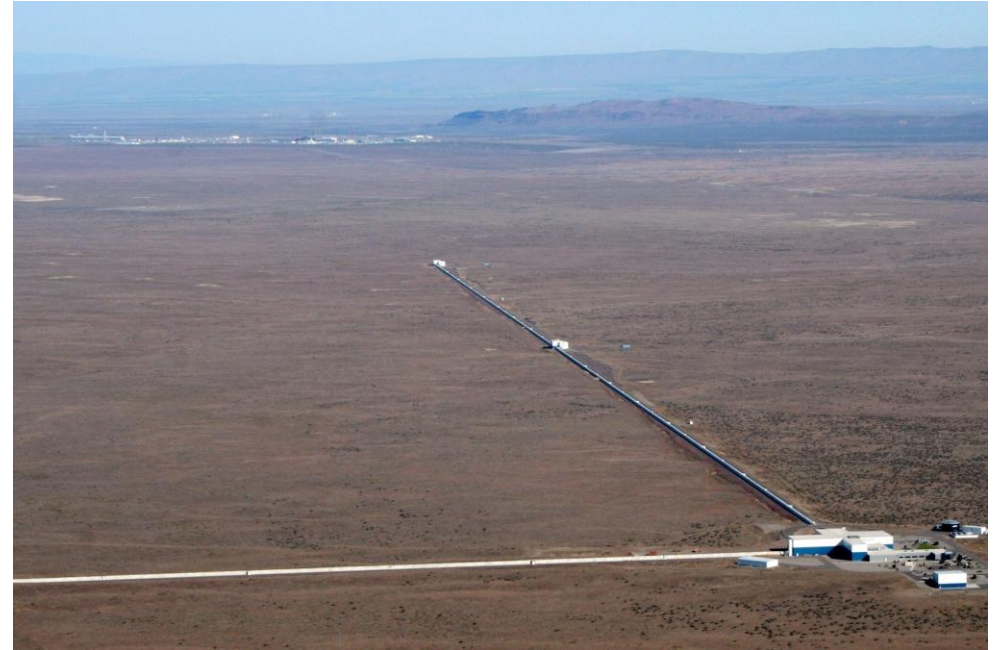
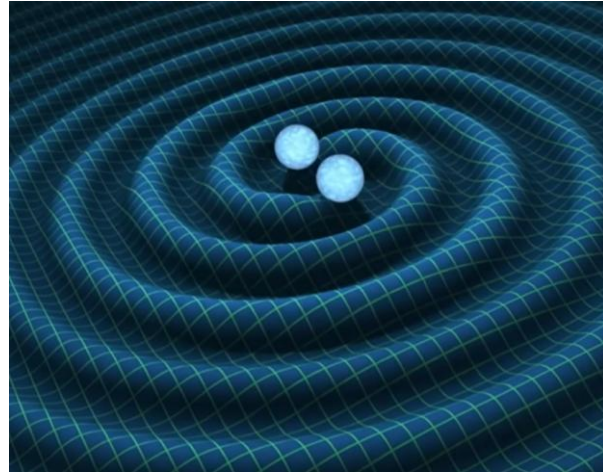
GRAVITAATIO



Einsteinin kenttäyhtälöt 1915 kuvaavat gravitaation massan ja energian aiheuttamana aika-avaruuden kaareutumana.

Mutta missä on gravitoni ???!!!

GRAVITAATIOAALLOT



Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory (LIGO)

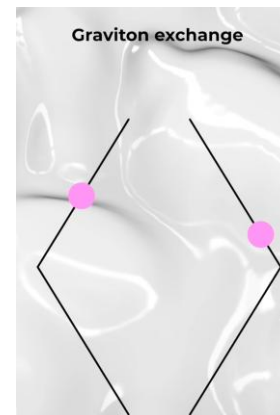
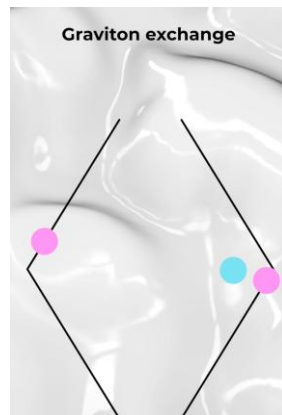
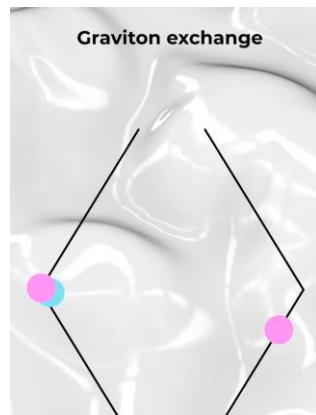
- Kaksi 4 km mittaista putkea L –muodossa
- Mittaustarkkuus 1/1000 protonin läpimitasta
- 2015 kaksi mustaa aukkoa 1,5 mrd valovuoden päässä yhdistyivät ja aiheuttivat ensimmäisen onnistuneen mittauksen

Painovoima-aallot kulkevat valon nopeudella.

GRAVITAATION SELITYKSIÄ ?

Kvanttimekaniikan ja yleisen suhteellisuusteorian yhdistävä ”Kaiken teoria” ?

Gravitoni



Kvanttigravitaatio

- Supersäieteoria (avaruus on värähteleviä jousia)
- Silmukkkakvanttigravitaatio (avaruus on kvantittunut, on pienin etäisyys ja aika)
- Entropiagravitaatio (selittää galaksien pyörintäongelman)

PIMEÄÄ

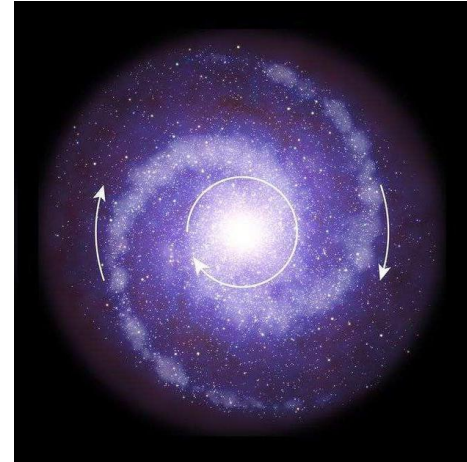
Näkyvä (havaittava) aine 5 %

Pimeä aine 27 %, oikeastaan puuttuva aine

- Rotaationopeus galaksin ympäri on likimain vakio etäisyydestä riippumatta. Koska tähtitiheys laskee jyrkästi galaksin ulko-osia kohti, rotaatiokäyrää "nostaa" jokin näkymätön massa.

Pimeä energia 68 %

- Maailmankaikkeus laajenee kiihtyvällä nopeudella



KYSYMYKSIÄ?

Kysykää, mitä haluatte, minä vastaan mitä sattuu.

Everything will be clear in the next episode of Soap!

Kiitos kiinnostuksesta!