

Maailmankaikkeuden rakenteet

Perusvuorovaikutukset

- Kaikki havaitut fysikaaliset ilmiöt galaksien törmäyksistä kvarkkien välisiin sidosvoimiin voidaan selittää perusvuorovaikutusten avulla
 - Gravitaatiovuorovaikutus
 - Sähkömagneettinen vuorovaikutus
 - Vahva vuorovaikutus
 - Heikko vuorovaikutus
- Tavoitteena suuri yhtenäisteoria

Gravitaatiovuorovaikutus

- Newtonin gravitaatiolaki v. 1684:

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

missä $G = 6,67259 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$
= gravitaatiovakio

- Etävoima
- Hallitsee taivaankappaleiden ja galaksien liikkeitä
- Sijoitetaan gravitaatiolakiin $m_1 = M = \text{maan massa}$ ja $r = R = \text{maan säde} \rightarrow \text{Painovoima}$

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} = G \frac{M \cdot m}{R^2} = 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot m,$$

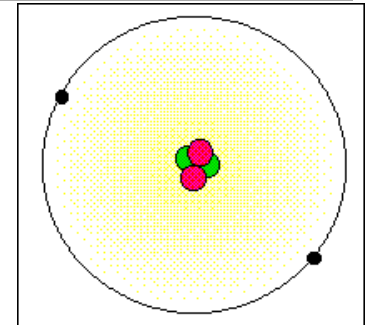
$$\Rightarrow g = \frac{G \cdot M}{R^2}$$

Sähkömagneettinen vuorovaikutus

- Benjamin Franklin havaitsi 1700-luvulla, että sähkövarausta oli kahta eri ”lajia”; positiivinen ja negatiivinen
 - Erimerkkiset varaukset vetivät toisiaan puoleensa ja samanmerkkiset hylkivät
- Charles Coulomb: $F = k \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$
- Etävoima
- Sähköiset ja magneettiset voimat ovat saman vuorovaikutuksen eri ilmenemismuotoja

Vahva vuorovaikutus

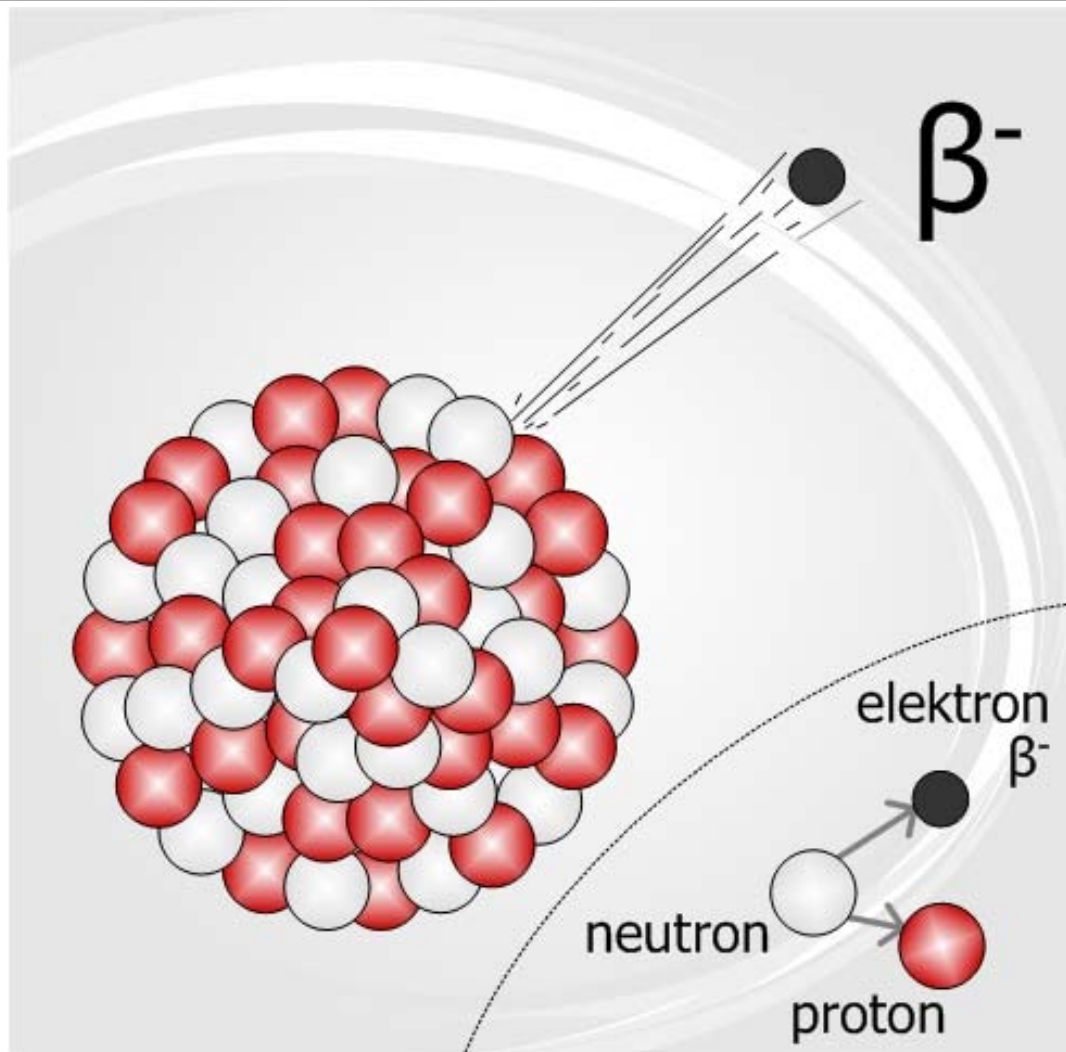
- Atomin ytimen koossa pitävä voima
- Ytimen hiukkaset koostuvat kvarkeista
- Kantama hyvin lyhyt ($\sim 10^{-15}\text{m}$)
- Ydinreaktoreissa tuotettu energia on vahvan vuorovaikutuksen potentiaalienergiaa



Heikko vuorovaikutus

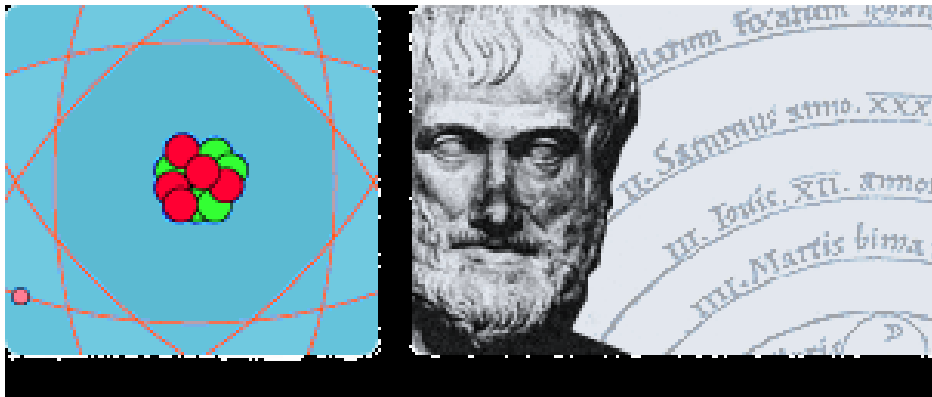
- Edellä mainitut kolme perusvuorovaikutusta eivät vielä riitä selittämään kaikkia radioaktiivisten ydinten hajoamisessa tapahtuvia ilmiöitä.
- Hyvin lyhyt kantama
- Voidaan havaita vain sellaisissa hiukkasreaktioissa, joissa vahvaa vuorovaikutusta ei esiinny
- Esim. Vapaan neutronin hajoaminen protoniksi ja elektroniksi (beetahajoaminen) $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$
- Tärkeä merkitys tähdissä tapahtuvissa ydinreaktioissa.

β^- -hajoaminen:



Yhtenäisteoria

- Grand Unified Theory eli GUT
 - pyritään yhdistämään kaikki perusvuorovaikutukset
 - Toistaiseksi on pystytty yhdistämään sähkömagnetismi ja heikko vuorovaikutus sähköheikoksi vuorovaikutukseksi.



Maailmankaikkeuden rakenne

Galaksit

- Tähdet ja tähtienvälinen aine eivät ole avaruudessa kaikkialle tasaisesti jakautuneina, vaan ne muodostavat suuria kokonaisuuksia, galakseja
 - Suurimmissa galakseissa on biljoonia tähtiä
 - Ulkonäkönsä ja fysikaalisten ominaisuuksiensa perusteella galaksit jaetaan spiraaligalakseihin, elliptisiin ja epäsäännöllisiin galakseihin.
- Aurinkokuntamme sijaitsee Linnunradan galaksissa joka on muodoltaan spiraaligalaksi.

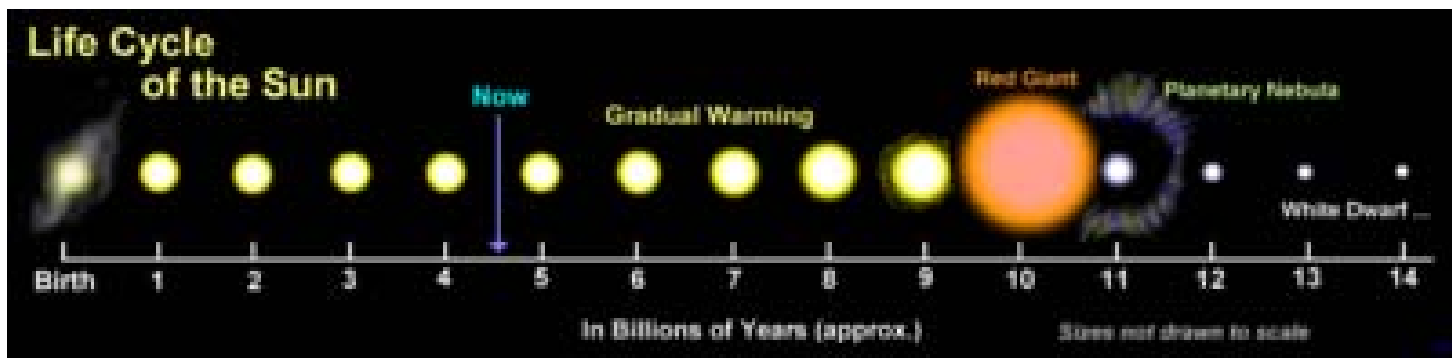


Kvasaarit

- ❑ Hyvin kaukaisia kohteita, jotka säteilevät paljon voimakkaammin kuin normaalit galaksit.
- ❑ Löydettiin vuonna 1963.
- ❑ Kirkkaus vaihtelee nopeasti, jopa muutamassa vuorokaudessa.
- ❑ Luultavasti jonkin tyyppisten galaksien ytimien lyhyt ja aktiivinen kehitysvaihe.

Tähdet

- ❑ Syntyvät tähtien välisestä aineesta, joka on enimmäkseen vetyä ja heliumia.
- ❑ Tähtien ytimessä tapahtuu vedyn fuusiota
- ❑ Energiaa vapautuu tähdestä säteilynä, niin näkyvänä valona kuin lämpö- ja hiukkassäteilynäkin.
- ❑ Auringon jälkeen meitä lähin tähti, Proxima Centauri, sijaitsee n. 270 000 kertaa kauempana kuin Aurinko.



Supernova

- ❑ Tähten räjähdys
- ❑ Päättää raskaan tähden kehityksen.
- ❑ Harvinainen maailmankaikkeuden ilmiö; niitä ei tapahdu yhdessä galaksissa edes joka vuosisata.
- ❑ Supernovien ajatellaan laukaisevan uusien tähtien ja aurinkokuntien synnyn.
 - Olemme kaikki tähtien lapsia

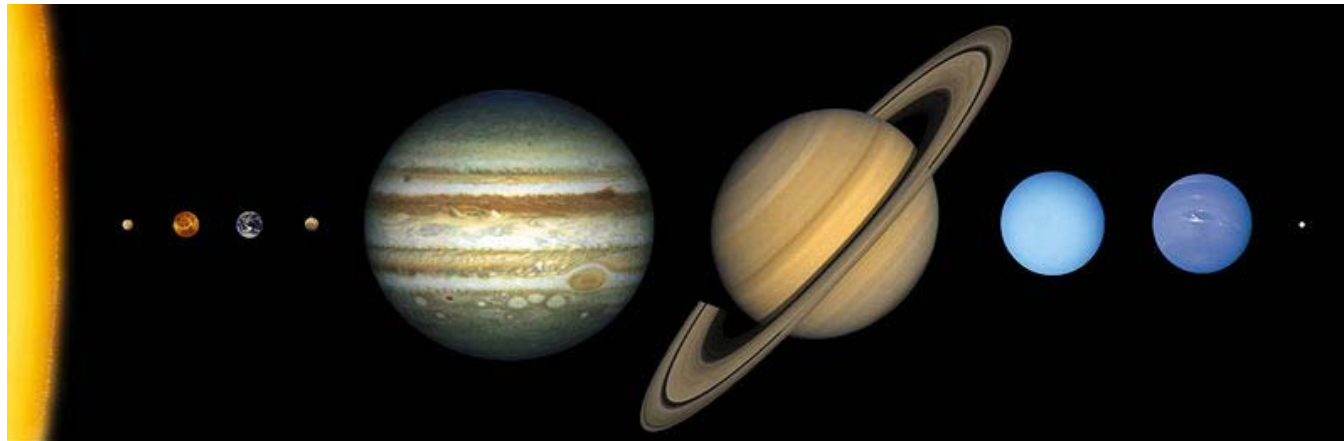


Musta aukko

- ❑ Supernovan räjähdysen seurauksena syntyy neutronitähti tai mahdollisesti musta aukko, tähden massasta riippuen.
- ❑ Mustan aukon tiheys ja massa ovat niin suuret, että sen vetovoima vangitsee kaiken energian ja materian, myös valon.
- ❑ Voidaan havaita vain sen vaikutuksen perusteella, joka niillä on ympäristöönsä.
 - valon taipuminen
 - tähden kiertäminen ympäri ”tyhjää” pistettä
 - voimakas röntgensäteily
- ❑ Galaksien ytimissä uskotaan olevan supermassiivisia mustia aukkoja

Aurinkokunta

- Auringon ja sitä kiertävien planeettojen, kuiden, meteoroidien, asteroidien sekä komeettojen muodostama järjestelmä.
- Aurinkokunnan planeetat ovat Auringosta poispäin lukien Merkurius, Venus, Maa, Mars, Jupiter, Saturnus, Uranus ja Neptunus.
 - Kääpiöplaneetta Pluto
- Ikä noin 4,6 miljardia vuotta



Kolmas kivi auringosta

- ❑ Maan keskietäisyys Auringosta on noin 150 miljoonaa kilometriä (= 1 AU)
- ❑ Maapallon arvellaan syntyneen noin 4,6 miljardia vuotta sitten, kuten koko aurinkokunnankin
- ❑ Maan kiertoaika Auringon ympäri on 365 vuorokautta, viisi tuntia, 48 minuuttia ja 46 sekuntia.
- ❑ Maalla on yksi kiertolainen: Kuu.



Maailmankaikkeuden tutkimus

- ❑ Esko Valtaojan esitelmä maailmankaikkeuden tutkimuksesta:

<http://www.ursa.fi/yhd/komeetta/eskovaltaoja.htm>

- ❑ Vesa Muhosen esitelmä Maailmankaikkeus nyt:

<http://www.ursa.fi/yhd/komeetta/muhonen.htm>

- ❑ Karl Johan Donnerin esitelmä:

<http://www.ursa.fi/yhd/komeetta/kjdonner.htm>

- ❑ Lisää tietoa ja esitelmiä: <http://www.ursa.fi/>

Aineen rakenne

Atomimallin kehitys

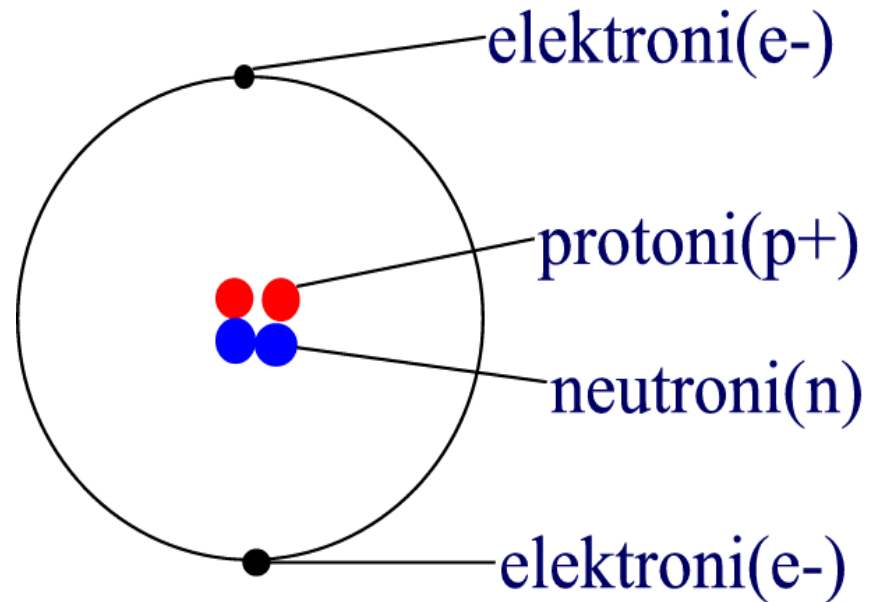
- Demokritos (n. 460 -370 ekr)
 - Aine koostuu atomeista
 - Atomeja äärettömän monta eri lajia
- Aristoteles
 - Teoria atomeista ei ole uskottava
 - Maa, vesi, tuli, ilma
- John Dalton 1808
 - Kemiallisissa reaktioissa aineet yhtyvät aina samoissa suhteissa → Kukin alkuaine koostuu perusosasista eli atomeista, saman alkuaineen atomit samanlaisia

Atomimallin kehitys

- Sir Thomson 1897
 - Elektroni
 - Rusinakakkumalli
- Lordi Rutherford
 - Atomin ydin on varautunut positiivisesti
- Bohrin malli
 - Atomin kansanomainen symboli
- Kvanttimekaniikka 1905-alkaen: Einstein, Planc, de Broglie

Atomi

- Positiivisesti varautunut ydin sisältää protoneja ja neutroneja
- Negatiivisesti varautunut elektroniverho kiertää ydintä.
- Protonit + neutronit = nukleonit
 - Koostuvat kvarkeista
 - aineen pienin rakenneosanen (nykytietämyksen mukaan)



Perushiukkaset

- Aineen perusrakenneosia, joista muut hiukkaset muodostuvat ja joita ei voida jakaa pienempiin osiin.
- Jaotellaan **leptoneihin (6)** ja **kvarkkeihin (6)**
 - Kvarkit vuorovaikuttavat ne värivoiman kautta.
 - ylös (u), alas (d), outo (s), lumo (c), totuus (t) ja kauneus (b)
 - Leptonit eivät vuorovaikuta värivoiman kautta.
 - elektroni, elektronin neutriino, myoni, myonin neutriino, tau, taun neutriino
- Lisäksi bosoneita eli välittäjähiukkasia
 - fotoni, (gravitoni, higgsin hiukkanen)

Miten hiukkasia tutkitaan?

- ❑ Atomeja ei voida tutkia optisilla mikroskoopeilla, koska valon aallonpituus asettaa rajat tarkkuudelle
- ❑ Elektronimikroskooppi: aallonpituus kääntäen verrannollinen liikemäärään

→ Hiukkaskiihdyttimet

- ❑ Hiukkanen kiihdytetään sähkökentän avulla lähelle valon nopeutta
- ❑ Ohjaillaan magneettien avulla
- ❑ Kiihdytyksen jälkeen annetaan törmätä
- ❑ Tulokset analysoidaan tietokoneella

Euroopan hiukkasfysiikan tutkimuskeskus; Cern.

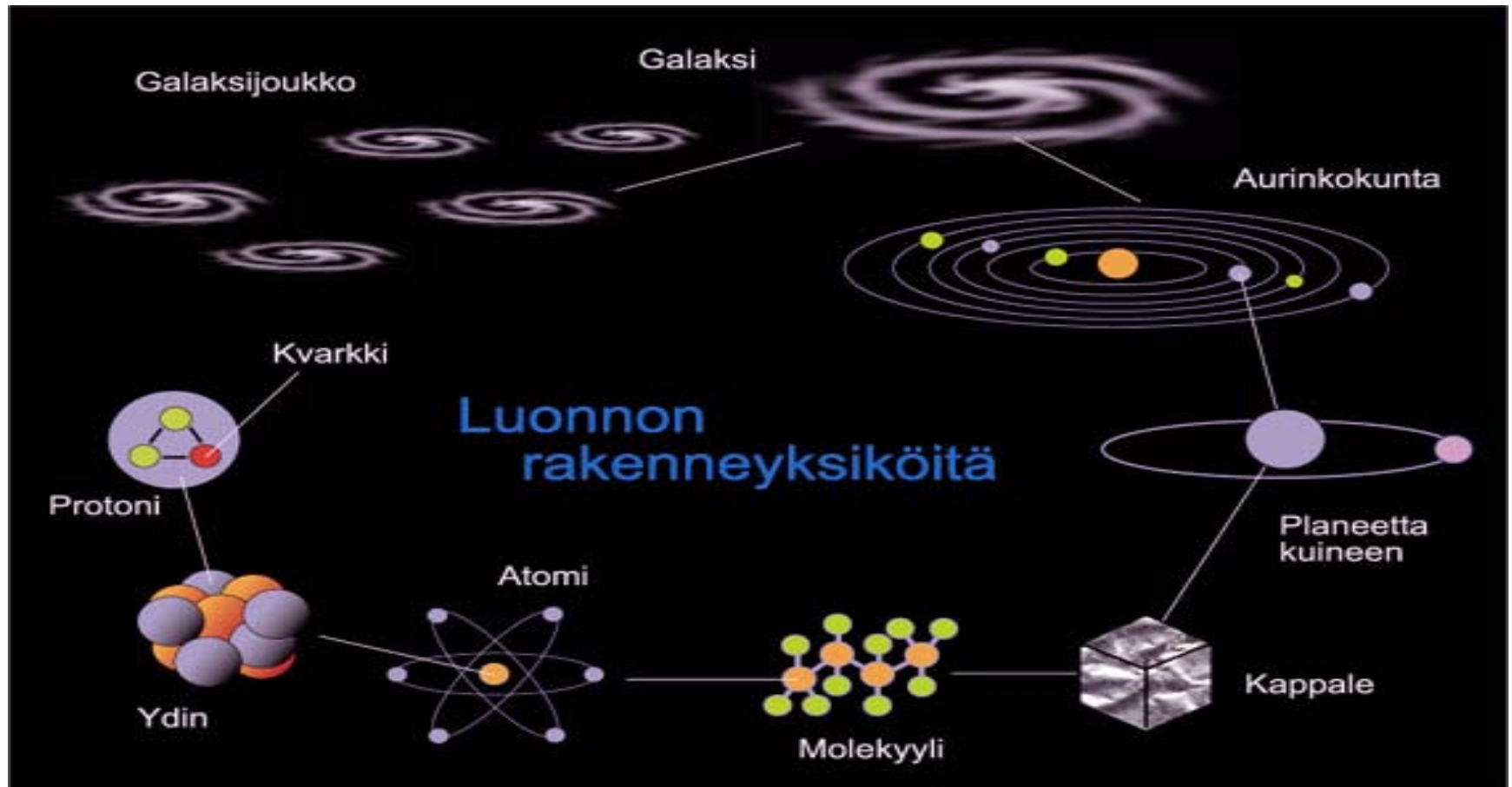
- CERNin uusi LHC (Large Hadron Collider) tulee olemaan törmäysenergialtaan maailman suurin hiukkaskiihdytin.
- Valmistumassa ja tavoitteena on aloittaa hiukkassuihkujen testaus maanalaisessa 27 kilometrin mittaisessa tunnelissa huhtikuussa.
- Riikkoutui koekäytössä syksy 2008, uusi käynnistys loppuvuodesta 2009
 - Higgsin hiukkanen
 - Maailmankaikkeuden synnyn tutkiminen (faasinmuutos hadroniaineesta kvarkki-gluoniplasmaan, aineen uuteen olomuotoon, jossa se on ollut maailmankaikkeuden ensisekunnin murto-osien ajan)
 - Aika-avaruuden madonreiät



Hiukkasten löytymisen historiaa

- Fotoni ja valon aalto- hiukkasluonne 1905
- Positroni (elektronin antihiukkanen) 1932 kosmisista säteistä
- Neutroni 1932
- Neutriino 1956 ydinreaktorin lähettämästä säteilystä.
- Myoni, pioni kosmisista säteistä.
- Hiukkaskiihdyttimillä nopeassa tahdissa lisää uusia hiukkasia.

Maailmankaikkeuden rakenteet



Energia

Energiaa sitoutuu ja vapautuu

Energiaa sitoutuu ja vapautuu

- Ydinenergiaa ja geotermistä energiaa lukuun ottamatta kaikki maan energiavarat ovat sidoksissa aurinkoon
- Energia muuttuu luonnonilmiöissä, mutta sen kokonaismäärä säilyy vakiona → Energian säilymislaki
- Lähes kaikissa prosesseissa osa energiasta muuttuu lämpöenergiaksi → lämpöenergiaa ei voida muuttaa takaisin muuksi energiaksi ilman ulkoista työtä → Energian huononeminen

Energian säilyminen



Energian säilyminen ja muuttuminen



Säteily

Sähkömagneettinen säteily ja hiukkassäteily

Sähkömagneettinen säteily

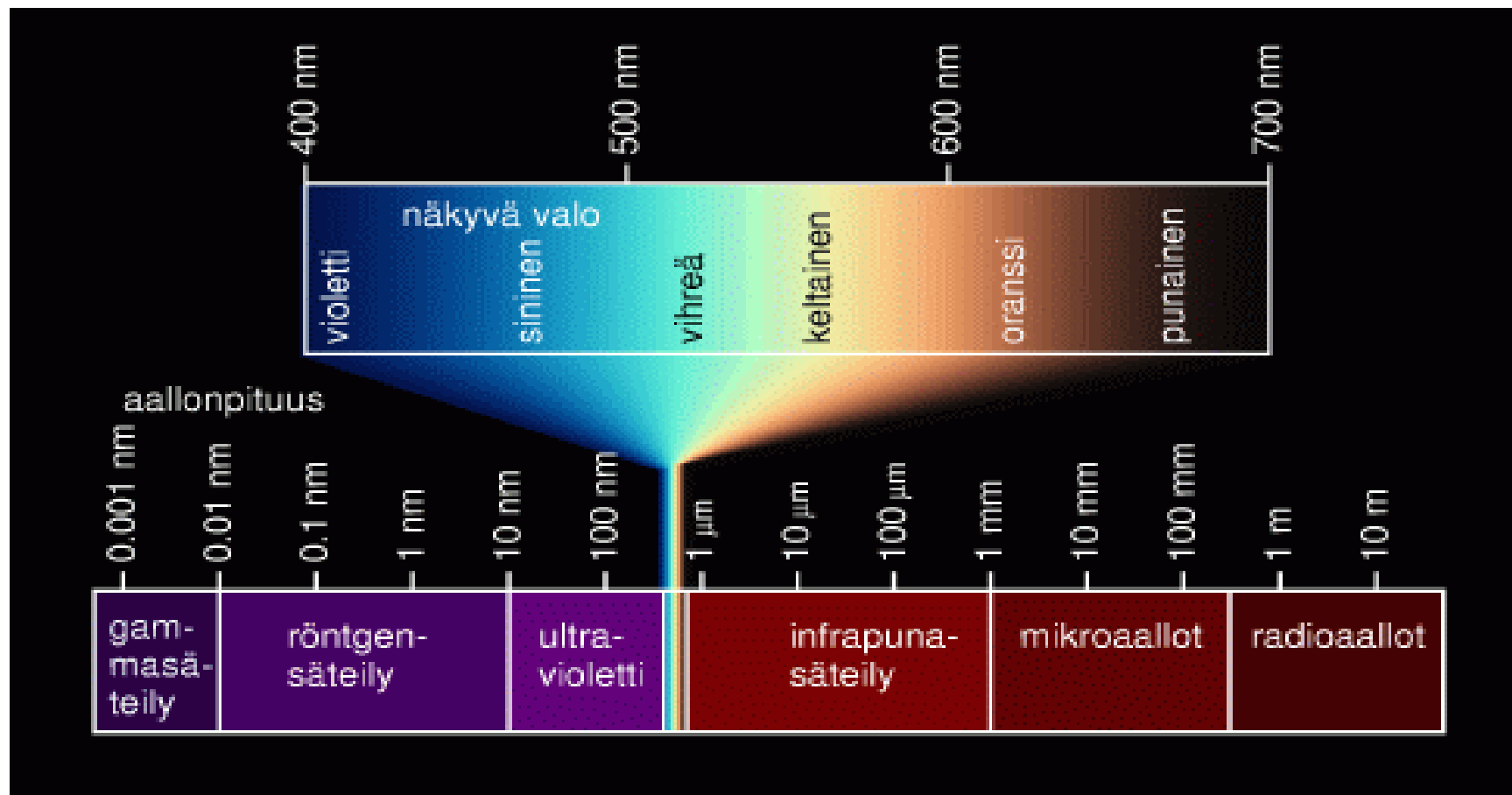
- Aaltoliikettä
- Kun aallonpituus pienenee, säteilyn taajuus ja energia kasvavat.

$$v = \lambda \cdot f = c$$

c = valon nopeus
tyhjiössä = $3,0 \cdot 10^8$ m/s

- Gammasäteilyä (γ) syntyy atomiydinten hajoamisen yhteydessä.
 - Lähettäessään gammasäteilyä ydin ei muutu toisen alkuaineen ytimeksi, vain ytimen energia muuttuu
 - Hyvin läpitunkevaa

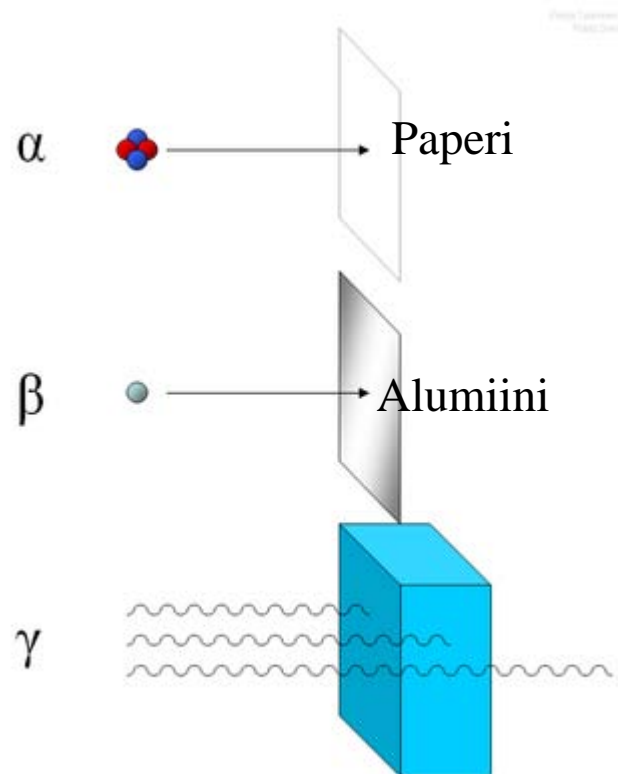
Sähkömagneettisen säteilyn lajit



Hiukkassäteily

- Syntyy radioaktiivisten aineiden hajotessa
 - Radioaktiivinen aine = hajoaa ajan myötä toisiksi aineiksi (vrt. gammasäteily)
 - α , β ja neutronisäteily
- Kosminen taustasäteily on hiukkassäteilyä
- Radioaktiivisia aineita ja γ -säteilyä on kaikkialla.
- Jaetaan ionisoivaan ja ionisoimattomaan säteilyyn.
 - Ionisoiva vaarallista!

Hiukkassäteilyn läpäisevyys



Säteilyn yksiköt

- Aktiivisuus = Hajoamisten lkm. / Aika
 - Yksikkö Bq (becquerel)
 - Esim 1500 Bq = 1500 hajoamista/s
- Puoliintumisaika $T_{1/2}$ = Aika, jolloin näytteen aktiivisuus pienenee puoleen.
 - Esim. Plutoniumin puoliintumisaika on 24 000 vuotta!
- Säteilyannos = Säteilyn biologisten vaikutusten voimakkuus
 - Yksikkö Sv (sievert)
 - Ottaa huomioon säteilylajien erilaisuuden.