

Aineen rakenteesta

Tapio Hansson

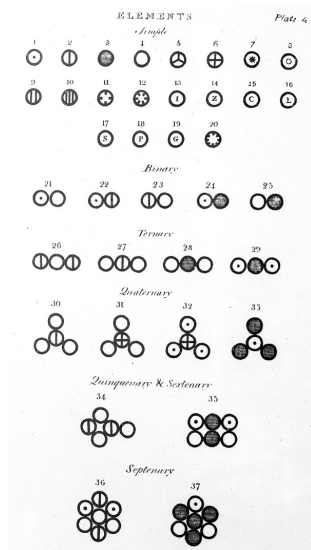
Ykköskurssista jo muistamme...

- ▶ Atomin käsite on peräisin antiikin Kreikasta. Demokritos päätteli alunperin, että jatkuva aine ei voi koostua äärettömän pienistä alkeisosasista → tarvitaan pienin osanen, atomi.
- ▶ Alkuperäisiä Empedoklesin alkuaineita oli maa, vesi, tuli ja ilma. Joskus myös ”avaruus” eli eetteri. Itäisissä maissa saattoi olla myös puu ja metalli.
- ▶ Aristoteleen myötä nämä alkuaineet pysyttelivät valtakäsityksenä aina 1800-luvulle asti.



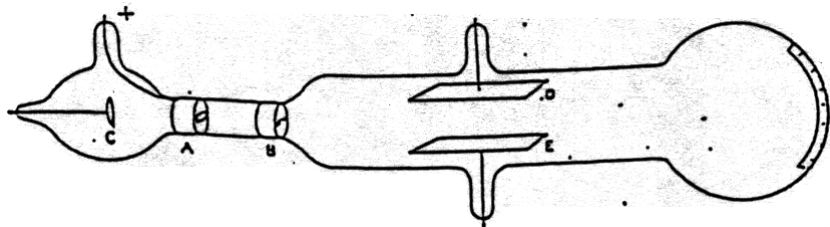
... mm. tämän

- ▶ John Dalton hoksasi, että kemialliset yhdisteet koostuvat alkuaineista aina tietyissä kokonaislukusuhteissa. Näin alkoi muodostua ensimmäinen jaksollinen järjestelmä.
- ▶ J.J. Thomson löysi elektronin, mikä tarkoitti sitä, että atomissa on positiivisia ja negatiivisia varauksia. Vuoden 1900 tienoolla ajateltiin atomin olevan pallukka jossa on vähän positiivisia ja negatiivisia osasia.
- ▶ Sitten Rutherford teki kokeensa ja atomi ei ollutkaan enää jakamaton.



J. J. Thomsonin tutkimukset

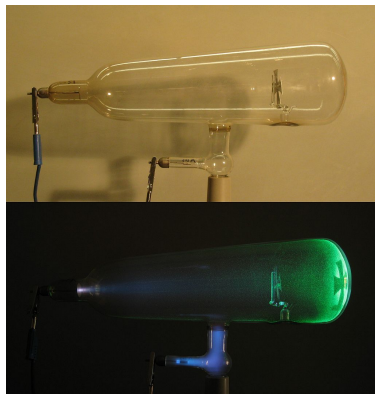
Kuva: public domain



- ▶ Thomson tutki katodisädeputkia. Lämmitetyltä hehkukatodilta lähtee säteilyä, kun tyhjiöputkeen kytketään jännite.
- ▶ Säteiden suunta muuttuu sekä sähkö- että magneettikentässä.
- ▶ Thomsonin mittauksen mukaan hiukkaset joita katodilta lähtee ovat n. 1000 kertaa vetyatomia kevyempiä.

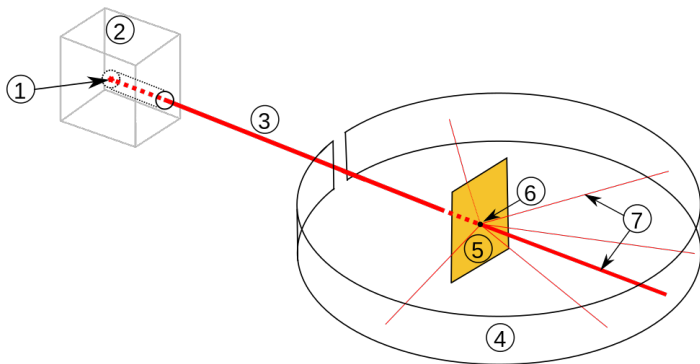
Rusinapullamalli

- ▶ Thomson selvitti myös, että katodisäteet ovat identtisiä riippumatta siitä, mistä materiaalista ne ovat peräisin.
- ▶ Atomien sisällä täytyy siis olla pienempiä rakennneosia!
- ▶ Hiukkaset olivat tietysti elektroneja, joita Thomson kutsui korpuskeleiksi.
- ▶ Thomson kehitti ns. rusinapullamallin atomille, jossa pienet negatiiviset elektronit ovat positiivisen massan sisällä.



kuva:D-Kuru/Wikimedia Commons,
CC-BY-SA-3.0-AT

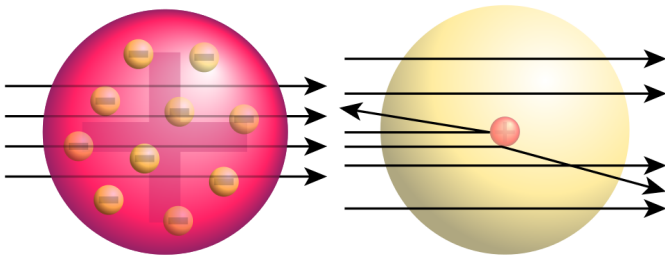
We must go deeper!



kuva: public domain

Rutherfordin kokeessa löydettiin atomin ydin.

Rutherfordin atomimalli



kuva: public domain

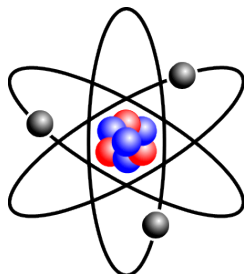
Thomsonin mallin mukaan alfahiukkasten radoissa ei pitäisi olla suuria poikkeamia, kun niitä ammutaan kultakalvoon. Rutherfordin kokeessa niiden kuitenkin havaittiin kääntyvän jopa takaisin tulosuuntaansa.

Vieläkö tämä jatkuu?

- ▶ Elektronit ovat jo oikeita alkeishiukkasia (Hurraa!)
- ▶ Mutta ydin on valitettavan helppo pilkkoa vielä osiin. Tätä hyödynsi jo Rutherford kokeessaan, tietämättään tosin että oli jo pilkkomassa vasta löytämänsä ydintä.
- ▶ Paitsi, että ytimiä voi pilkkoa, niistä löytyy kahdenlaisia rakennuspalikoita: protoneja ja neutroneja.
- ▶ Hiukkaskiihdyttimien avulla voitiin protoneja ja neutroneja tutkia vastaavalla tavalla kuin Rutherfordin kokeessa tutkittiin atomeja.
- ▶ 60-luvun alussa saatiin ensimmäiset kokeelliset viitteet kvarkeista. Nobel-palkinto jaettiin aiheesta vuonna 1990.

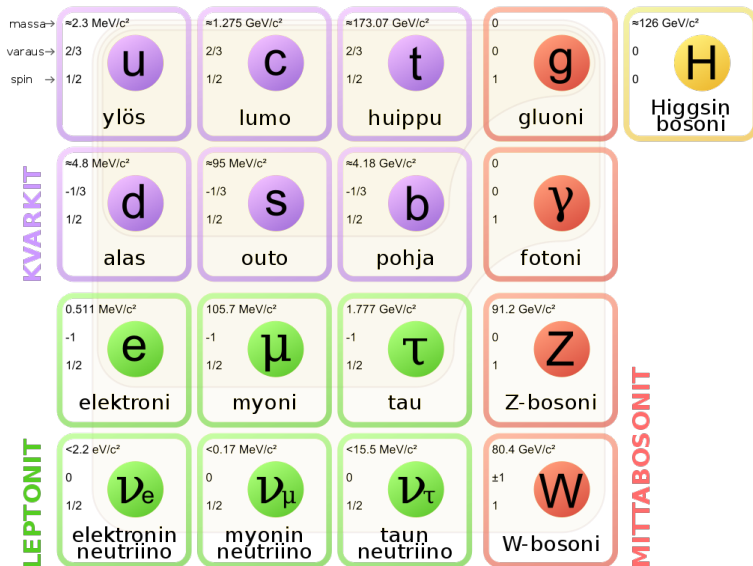
Bohrin selityksiä

- ▶ Rutherfordin atomimallissa negatiiviset elektronit ovat positiivisen ytimen ympärillä.
- ▶ Niels Bohr postuloi, että elektronit voivat olla vain tietyillä etäisyyksillä atomin ytimestä, ja kiertävät sitä, kuten planeetat Aurinkoa.
- ▶ Arnold Sommerfeld teki radoista elliptisiä, mutta tähän loppuvat klassisen mekaniikan kyvyt atomin rakenteen selittämiseen. Tämän mallin ongelmat ratkeavat vasta kvanttimekaniikalla.



kuva: public domain

Ja sitten löytyi vielä muutakin



kuva: By MissMJ -

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Standard_Model_of_Elementary_Particles.svg, CCBY-SA3.0

Se oli siinä, jos standardimalliin on uskomista

- ▶ Mikään ei periaatteessa takaa, etteikö Standardimallin takaa löytyisi vielä fundamentaalimpikin teoria.
- ▶ Higgsin hiukkasen löytyminen 2012 tosin vahvisti teorian asemaa huomattavasti.
- ▶ Gravitaation sisällyttäminen on kuitenkin vielä tekemättä, ja ilman sitä standardimallia ei voida pitää kovin täydellisenä.
- ▶ Higgsin hiukkasia etsitään tänäpäivänä lisää kuumeisesti. Jos niitä löytyy useampia erilaisia, on standardimallissa jälleen korjattavaa.
- ▶ Standardimalli ei myöskään oikein selitä hiukkas-antihhiukkasepäsymmetriaa, eikä ennusta hiukkasten massoja.

Eikö tämäkään vielä riitä?

- ▶ Standardimallia yritetään pitää pohjana ns. suurelle yhtenäisteorialle (GUT, grand unified theory).
- ▶ Muitakin vaihtoehtoja on, esim. 80-luvulla innostusta herättänyt säieteoria, supersymmetriateoria ja silmukkakvanttipainovoima.
- ▶ Säieteorialla on useita variantteja, esim. M-teoria.
- ▶ Nämä teorit ovat niin sanottuja kaiken teorioita, jotka periaatteessa selittävät koko fyysisen maailmankaikkeuden.
- ▶ Niiden kokeellinen testaaminen on toistaiseksi poikkeuksellisen mahdotonta.
- ▶ Aiheeseen liittyvä xkcd: <https://xkcd.com/485/>

Kvarkeista tarkemmin

- ▶ Kvarkkeja on kolme paria: ylös (u) ja alas (d), outo (s) ja lumo (c) sekä huippu (t) ja pohja (b).
- ▶ Jokaisella kvarkilla toki edelleen antikvarkkinsa, näitä vain ei tavata kotiolioissa.
- ▶ Kvarkkien sähkövaraus on erikoinen, varaukset ovat nimittäin murtolukuja.
- ▶ Ylös, huippu ja lumo omaavat sähkövarauksen $\frac{2}{3}$ ja alas, pohja ja outo sähkövarauksen $-\frac{1}{3}$.
- ▶ Kvarkit eivät voi esiintyä yksinään, ne muodostavat joko kolmikoita tai pareja. Kvarkkikombinaatioista mahdollisia ovat vain ne, joista muodostuu kokonaislukuinen sähkövaraus.
- ▶ Tavallisessa aineessa tavataan vain u- ja d-kvarkkeja.

Leptoneista

- ▶ Leptonit ovat alkeishiukkasia, jotka esiintyvät yksinään. Tavallisessa aineessa tavataan vain elektroneja.
- ▶ Elektronien lisäksi on τ -leptoni ja myoni. Lisäksi jokaista näistä vastaa lähes massaton neutriino, jotka ovat myös leptonneja.
- ▶ τ -leptonit ja myonit eivät ole vakaita (vaikka ovat alkeishiukkasia), vaan normaaliolosuhteissa ne hajoavat hyvin nopeasti vastaavaksi antineutriinoksi, sekä mahdollisesti kvarkki-antikvarkkipariksi tai kevyemmiksi leptoneiksi.
- ▶ Leptonit jaetaan kolmeen perheeseen. Esim. Elektronin perheeseen kuuluu elektroni ja elektronin neutriino.

Neutriinoista

- ▶ Neutriinojen massat ovat mitättömän pieniä, mutta niiden valtavan lukumäärän vuoksi ne ovat kuitenkin huomioitavan kokoluokan osa massallista maailmankaikkeutta.
- ▶ Neutriinot vuorovaikuttavat erittäin heikosti muun aineen kanssa, ja suurin osa niistä paahtaakin maapallon läpi täysin huomaamatta.
- ▶ Esimerkiksi japanilaisessa Super Kamiokande-ilmaisimella neutroneja on pyritty ja onnistuttukin tunnistamaan.
- ▶ Auringosta tulee, siellä tapahtuvien reaktioiden johdosta, suuri määrä neutriinoita. Havainnot eivät aluksi osuneet kohdalleen, mutta kun ymmärrettiin, että neutriinot vaihtavat perhettä omia aikojaan, alkoi teoria käydä järkeen. (Neutriino-oskillaatio)

Mitä näistä saadaankaan aikaan

- ▶ Kaikkia kvarkeista koostuvia hiukkasia sanotaan yleisesti hadroneiksi.
- ▶ Hadronit jaetaan kahteen osaan: baryoneihin ja mesoneihin.
- ▶ Baryonit koostuvat kolmesta kvarkista, kuten protoni tai neutroni.
- ▶ Mesonit sen sijaan koostuvat kvarkista ja antikvarkista, kuten pioni, joka koostuu ylös-kvarkista ja antialas-kvarkista.
- ▶ Hadronien massasta suurin osa on itseasiassa niissä olevien kvarkkien liike- ja potentiaalienergiaa ja vain pieni osa kvarkkien omaa massaa.
- ▶ Lista baryoneista:
https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_baryons
- ▶ Lista mesoneista:
https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_mesons