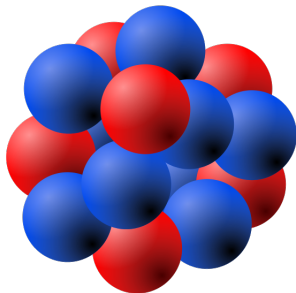


FY7 Ydinfysiikkaa

Tapio Hansson

Ydin

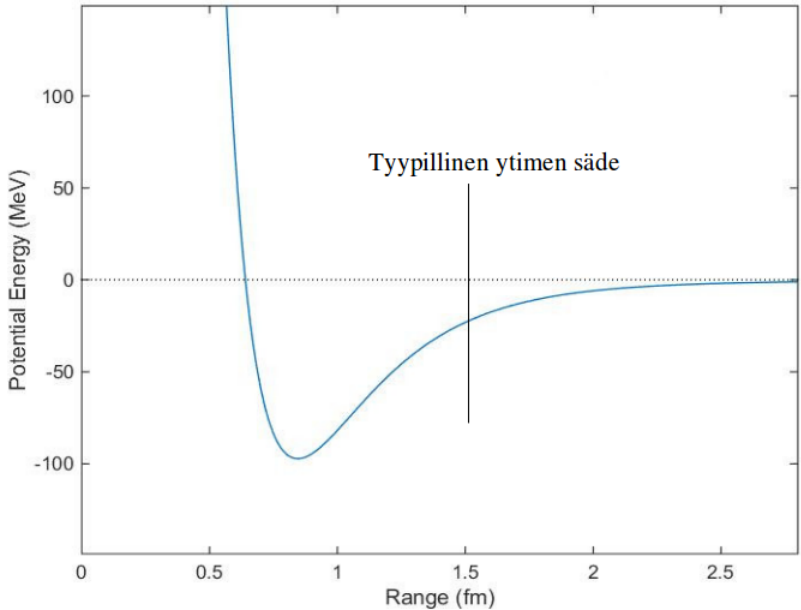
- ▶ Ydin on atomin mittakaavassa äärimmäisen pieni. Sen koko on muutaman femtometrin luokkaa (10^{-15} m), kun taas koko atomin halkaisija on ångströmin luokkaa (10^{-10} m).
- ▶ Ydinhiukkasia, protoneja ja neutroneja kutsutaan nukleoneiksi.
- ▶ Jos esimerkiksi vety-ydin olisi halkaisijaltaan n. 2 mm, olisi elektronin todennäköisin sijainti 38 metrin päässä siitä.



kuva: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nucleus_drawing.svg

Ytimen vuorovaikutukset

- ▶ Ytimessä vaikuttavista voimista merkittävimmät ovat sähköinen hylkimisvoima protonien välillä ja vahvan vuorovaikutuksen aiheuttama voima, joka vaikuttaa etäisyydestä riippuen joko hylkivänä tai sitovana.
- ▶ Nukleonit koostuvat kvarkeista joiden välillä vahva vuorovaikutus vaikuttaa. Voimasta jää niinsanottu jäännösvoima, joka ulottuu nukleonin ulkopuolelle ja sitoo näin ytimen kasaan.
- ▶ Sähköinen voima on verrattain pieni, joten vahva vuorovaikutus määrää enimmäkseen ytimen sidosvoiman käyttäytymisen.
- ▶ Gravitaatiolla ei ole merkitystä ytimen kokoluokassa ja heikko vuorovaikutus aiheuttaa usein ytimen hajoamisen, mutta se ei vaikuta jatkuvasti.

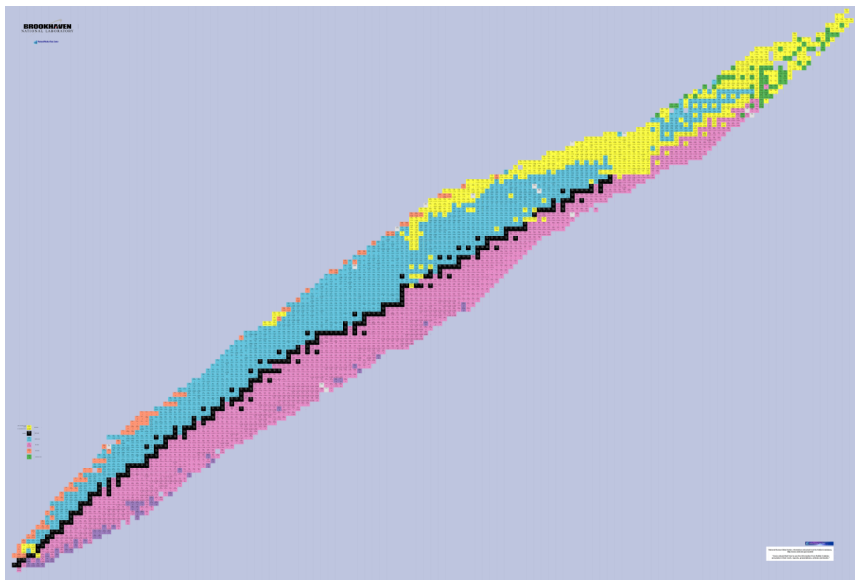


Ytimien luokittelu ja merkinnät

- ▶ Protonien määrä ytimessä määrää mitä alkuainetta ydin on. Tätä lukumäärää merkitään kirjaimella Z ja kutsutaan *järjestysluvuksi*.
- ▶ Neutronien lukumäärää kuvaa *neutroniluku* N . Saman alkuaineen ytimissä voi olla eri määriä neutroneja.
- ▶ Ytimiä, joilla on sama määrä protoneja, mutta eri määrä neutroneja kutsutaan *isotoopeiksi*.
- ▶ Tietyllä *ydinlajilla* on aina sama *massaluku* A , eli järjestysluvun ja neutroniluvun summa.

$$A = Z + N$$

Ytimien luokittelu



kuva: public domain

Ytimien luokittelu ja merkinnät

- ▶ Jokaisella alkuaineella on oma kemiallinen merkkinsä, jota käytetään myös ytimiä merkitessä.
- ▶ Ytimen tunnus on muotoa



jossa X on alkuaineen kemiallinen tunnus, Z järjestysluku, A massaluku ja N neutroniluku.

- ▶ Esimerkiksi radiohiiliajoituksessa käytettävän hiili-14:n merkintä on



- ▶ Neutroniluku on yleensä tapana jättää merkitsemättä, ja toisinaan myös järjestysluvun oletetaan selviävän kemiallisesta tunnuksesta.



Ytimen koko

- ▶ Jokainen nukleoni vie hieman tilaa, joten mitä raskaampi alkuaine on kyseessä, sitä kookkaampi on myös ydin.
- ▶ Nukleonit asettuvat kolmeen ulottuvuuteen mahdollisimman tiiviisti, jolloin ytimen säde kasvaa likimääräisesti verrannollisesti massaluvun kuutiojuureen.

$$r \approx r_0 \sqrt[3]{A}$$

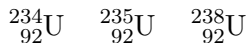
- ▶ Ydin on likimain pallon muotoinen, ja pallon tilavuus on verrannollinen säteen kuutioon, joten ytimen tilavuus suoraan verrannollinen massalukuun.

$$V \approx \frac{4}{3}\pi r_0^3 A$$

- ▶ Molemmat ylläolevista kaavoista ovat varsin karkeita malleja ytimelle, mutta toimivat kohtalaisen hyvin kaikille ydinlajeille.

Isotoopit

- ▶ Alkuaineen isotoopit ovat tietyn alkuaineen ytimen versioita, joissa on erimäärät neutroneja. Esim.



- ▶ Isotooppeja voi olla jopa kymmeniä, mutta yleensä korkeintaan muutama on vakaita ja loput hajoavat radioaktiivisesti.
- ▶ Isotooppeja ei voi erottaa kemiallisesti toisistaan, sillä kemialliset ominaisuudet riippuvat vain elektronirakenteesta.
- ▶ Erimassaisia ytimiä voidaan erotella kuitenkin esimerkiksi massaspektrometrin avulla.

Atomimassayksikkö u

- ▶ Koska ytimien massat ovat niin pieniä, on kätevämpää käyttää atomimassayksikköä, jolloin ytimien massan ja massaluvun välille tulee likimääräinen yhteys.
- ▶ Atomimassayksiköksi on sovittu $\frac{1}{12} {}^{12}_6\text{C}$:n massasta.
- ▶ Vapaiden nuklidien massat ovat hieman yli yhden u:n.
- ▶ $1 m_p = 1,0072765 \text{ u}$ ja $1 m_n = 1,0086650 \text{ u}$.
- ▶ Kilogrammoina atomimassayksikkö on

$$1 \text{ u} = 1,6605655 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Massan ja energian ekvivalenssi

- ▶ Einsteinin kuuluisa kaava kertoo, miten aineen massa on yksi energian muoto:

$$E = mc^2$$

missä E on massaan m liittyvä energia ja c valonnopeus.

- ▶ Yhtä atomimassayksikköä vastaa energia

$$1 \text{ u} = 931,494 \frac{\text{MeV}}{c^2} \Leftrightarrow 1 \text{ u}c^2 = 931,494 \text{ MeV}$$

- ▶ Vastaavasti yhtä kilogrammaa vastaa energia

$$E = 1 \text{ kg} \cdot (299792458 \text{ m/s})^2 \approx 8,9835 \cdot 10^{14} \text{ J}$$

Massavaje

- ▶ Atomytimen rakenneosien yhteenlaskettu massa irrallisina osina on suurempi kuin ytimen massa.
- ▶ Osa ydinhiukkasten massan energiasta muuntuu ytimen sidosenergiaksi.
- ▶ Tätä erotusta kutsutaan *massavajeeksi*.
- ▶ Laskukaava:

$$\Delta m = Zm_p + Nm_n + Zm_e - m_{atomi}$$

- ▶ Elektronit tulee muistaa ottaa laskuihin mukaan, sillä taulukoista löytyy ainoastaan neutraalien atomien massoja.

Sidosenergia ja sidososuus

- ▶ Ytimen sidosisenergia E_b muodostuu massavajetta vastaavasta energiasta

$$E_b = \Delta mc^2$$

- ▶ Tämä energia vaaditaan hajottamaan ydin kokonaan rakenneosiinsa.
- ▶ Sidososuus b on suure, joka kuvaa kuinka tiukasti ydin on sitoutunut yhteen. Se saadaan jakamalla sidosisenergia massaluvulla

$$b = \frac{E_b}{A}$$

- ▶ Sidososuus kertoo keskimääräisen energian, jolla nukleonit ovat sitoutuneet ytimeen.

Sidososuus isotoopeittain

