

Ydinvoima ja atomimassayksikkö

- Nukleonien välistä voimaa, joka pitää ytimen koossa, kutsutaan ydinvoimaksi
- Tämä voima on vahvan vuorovaikutuksen aiheuttama. Ilmenee ns. värivarauksellisten hiukkasten (kvarkkien) välillä.
 - Hyvin lyhyt kantama, n. 2 fm
- Yhtäläinen vaikutus sekä protoneihin että neutroneihin
 - Protonien välillä vaikuttaa lisäksi sähköinen poistovoima
- Vahva vuorovaikutus on vetovoima välillä 0,4 – 2 fm, mutta hyvin lyhyillä etäisyyksillä (alle 0,4 fm) vahvasti hylkivä voima.
- Atomimassayksikkö $1 \text{ u} = 1/12$ hiili-12 isotoopin massasta.
$$1 \text{ u} = 1,6605402 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$
- Taulukkokirjassa on atomimassayksiköitä alkuaineiden eri isotoopeille. Lukema vastaa kyseisen isotoopin moolimassaa M .

Yo-tehtävä S2016/9a

Vertaile atomeja $^{18}_7\text{N}$, $^{20}_7\text{N}$, $^{16}_8\text{O}$, $^{18}_8\text{O}$, $^{18}_9\text{F}$. (3 p.)

i) Mitkä atomit ovat keskenään isotooppeja?

ii) Millä atomeilla on keskenään samanlaiset ytimet?

iii) Millä atomeilla on keskenään samanlaiset emissiospektrit?

- i) Isotooppeja keskenään ovat $^{18}_7\text{N}$ ja $^{20}_7\text{N}$. Näillä typen isotoopeilla on sama järjestysluku $Z = 7$, mutta neutroneja eri määrä ($N = 11$ tai $N = 13$). Vastaavasti hapen isotooppeja ovat $^{16}_8\text{O}$ ja $^{18}_8\text{O}$. ($Z = 8, N = 8$ tai $N = 10$).
- i) Kaikki ytimet ovat erilaisia, koska kaikissa on eri massaluvun ja järjestysluvun yhdistelmä.
- ii) Emissiospektri syntyy atomin elektroniverhon viritystilojen purkautuessa. Ytimen neutroniluku N ei vaikuta tähän, joten saman alkuaineen eri isotoopeilla on samanlainen emissiospektri. Vastaus on siis $^{18}_7\text{N}$ ja $^{20}_7\text{N}$ sekä $^{16}_8\text{O}$ ja $^{18}_8\text{O}$.

$$E = mc^2$$

- Einsteinin *erityisen (suppean) suhteellisuusteorian* perusoletukset ovat
 - suhteellisuusperiaate: fysiikan lait ovat samat jokaisessa tasaisesti liikkuvassa koordinaatistossa
 - valon nopeus tyhjiössä c on aina vakio, eikä riipu valon lähteen nopeudesta
- Näiden oletusten seurauksena Einstein todisti massan ja energian välisen yhteyden (ekvivalenssin) $E = mc^2$
 - massa on siis eräs energian esiintymismuoto
 - massan muutokset on huomioitava tarkasteltaessa energian säilymistä ydinreaktioissa
 - kaavalla voidaan laskea yhden atomimassayksikön vastaavan energiamäärää $1,4924191 \cdot 10^{-10} \text{ J} \approx 931,49 \text{ MeV}$

$$1 \text{ u} \approx 931,49 \frac{\text{MeV}}{c^2}$$

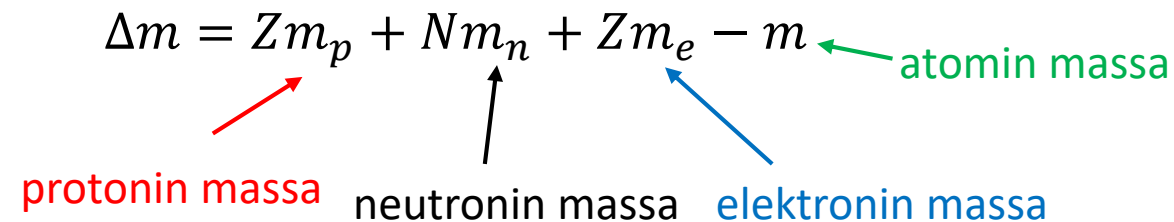
Sidosenergia ja massavaje

- Ytimeen sitoutuneena nukleoneilla on pienempi potentiaalienergia kuin vapaana
 - Analogiamalli:
Pallot kuopassa (vakaampi tila) ja pallot erillään kuopan reunoilla (epävakaa tila)
 - Potentiaalienergia on peräisin vahvasta vuorovaikutuksesta
 - Tämä *vapautunut* energia vastaa energiamäärää, joka tarvitaan ytimen nukleonien erottamiseen toisistaan = ytimen *sidosenergia* E_B
- Ytimen muodostuessa vapautunut energiamäärä E_B ilmenee *massavajeena* Δm .
 - Ytimen massa on pienempi kuin nukleonien massa erillään.

$$\Delta m = \frac{E_B}{c^2}$$

$$\Delta m = Zm_p + Nm_n + Zm_e - m$$

protonin massa neutronin massa elektronin massa atomin massa

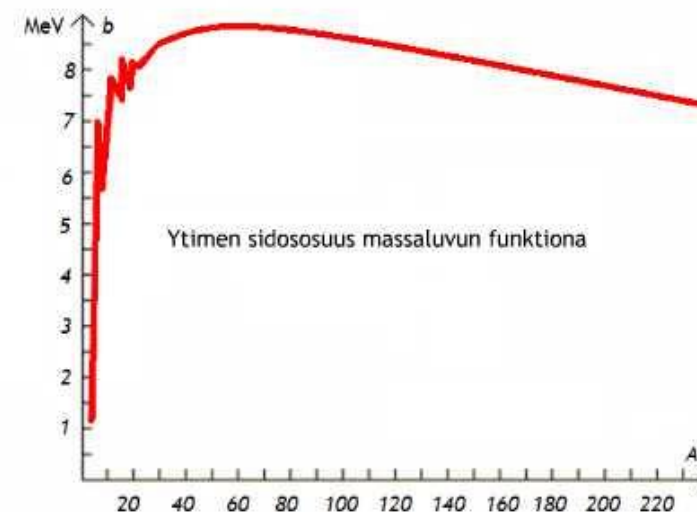
A diagram illustrating the mass defect equation. The equation is $\Delta m = Zm_p + Nm_n + Zm_e - m$. Below the equation, four labels are provided with arrows pointing to specific terms: 'protonin massa' (red) points to Zm_p , 'neutronin massa' (black) points to Nm_n , 'elektronin massa' (blue) points to Zm_e , and 'atomin massa' (green) points to m .

Sidososuus

- *Sidososuus* b on sidosenergia nukleonia kohti:

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

- Keskiraskaiden ytimien sidososuus on suurin
 - keskiraskaat ytimet ovat rakenteeltaan lujimpia
 - Rauta (^{56}Fe) ja nikkeli (^{62}Ni) ovat pysyvimpiä ytimiä
- *Fuusiossa* kevyet atomiytimet yhdistyvät raskaammiksi (kohti keskiraskaita)
- *Fissiossa* raskaat ytimet hajoavat kevyemmiksi (myös kohti keskiraskaita)
- molemmissa tapauksissa sidososuus kasvaa eli (vahvan vuorovaikutuksen) potentiaalienergiaa (ydinenergiaa) vapautuu



t. 8-16, s. 83

a) Ytimen $^{12}_6\text{C}$ massavaje on

$$\Delta m = Z \cdot m_p + N \cdot m_n + Z \cdot m_e - m_C$$

$$= 6 \cdot 1,007276 \text{ u} + 6 \cdot 1,0086649 \text{ u} + 6 \cdot 5,4857991 \cdot 10^{-4} \text{ u} - 12 \text{ u} = 0,09893687946 \text{ u}$$

$$6 \cdot m_p + 6 \cdot m_n + 6 \cdot m_e - 12 \cdot m_u$$

$$1.642933614 \cdot 10^{-28} \cdot \text{kg}$$

$$1.64293361401 \cdot 10^{-28} \cdot \text{kg} \rightarrow \text{u} \quad 0.0989397749 \cdot \text{u}$$

b) Massavajetta vastaava sidosenergia on

$$E_B = \Delta m c^2 \approx 92,16 \text{ MeV}$$

$$0.098939774863229 \cdot \text{u} \cdot c^2 \quad 1.476595094 \cdot 10^{-11} \cdot \text{J}$$

$$1.4765950939123 \cdot 10^{-11} \cdot \text{J} \rightarrow \text{eV} \quad 92161816.78 \cdot \text{eV}$$

c) Sidososuus on

$$b = \frac{E_b}{A} = \frac{92,1618 \text{ MeV}}{12} \approx 7,68 \text{ MeV}$$

$$\frac{92161816.779579 \cdot \text{eV}}{12} \quad 1.230495912 \cdot 10^{-12} \cdot \text{J}$$

$$1.2304959115936 \cdot 10^{-12} \cdot \text{J} \rightarrow \text{eV} \quad 7680151.398 \cdot \text{eV}$$