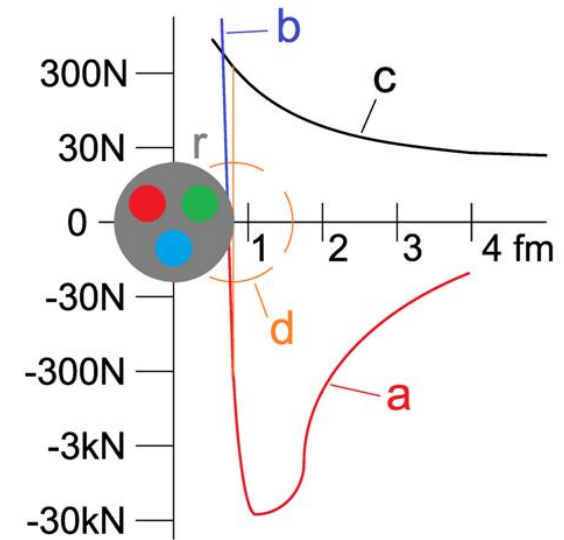


# Ydinvoima

- Nukleonien välistä voimaa, joka pitää ytimen koossa, kutsutaan ydinvoimaksi
- Tämä voima on vahvan vuorovaikutuksen aiheuttama (jäännösvaikutus). Ilmenee ns. värivarauksellisten hiukkasten (kvarkkien) välillä.
- Ydinvoimalla on yhtäläinen vaikutus sekä protoneihin että neutroneihin, mutta protoneihin vaikuttaa myös hylkivä sähköinen voima.
- Ydinvoima on vahva vetovoima välillä 0,8 – 2 fm, mutta hyvin lyhyillä etäisyyksillä erittäin voimakkaasti hylkivä voima.

Ytimen kahden protoniin vaikuttavat voimat etäisyyden funktiona:



*a* = puoleensa vetävä ydinvoima

*b* = hylkivä ydinvoima

*c* = hylkivä Coulombin voima

*d* = protonin tasapainoasema

# Sidosenergia ja massavaje

- Ytimeen sitoutuneena nukleoneilla on pienempi potentiaalienergia kuin vapaana
  - Analogiamalli: Pallot kuopassa (vakaampi tila) ja pallot erillään kuopan reunoilla (epävakaata tila). Systemi pyrkii kohti minimienergiatilaa (kuopan pohjalle).
  - 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*  $\Delta m$ .
  - Ytimen massa on pienempi kuin nukleonien massa erillään.

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

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

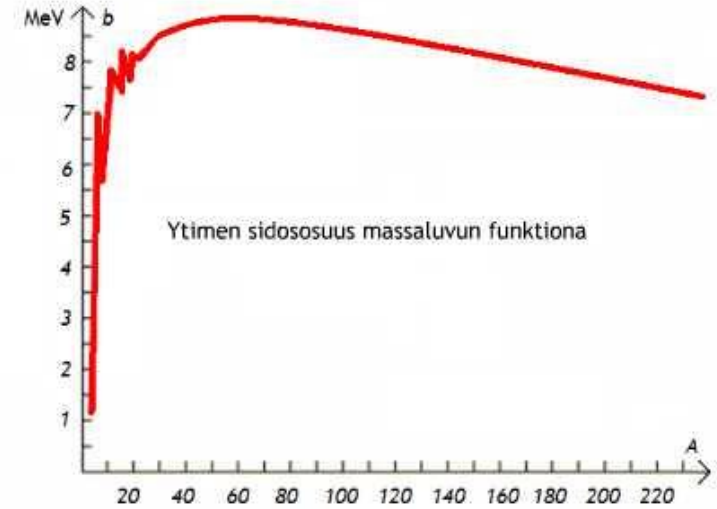
protonin massa      neutronin massa      elektronin massa      atomin massa

# Sidososuus

- *Sidososuus*  $b$  on sidosenergia nukleonia kohti:

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

- Keskiraskaiden ytimien sidosuus on suurin
  - keskiraskaat ytimet ovat rakenteeltaan lujimpia
  - Rauta-56 isotoopilla on vähiten massaa per nukleoni
  - Nikkeli-62 isotoopilla on kuitenkin suurin sidosuus (8,7945 MeV)
- *Fuusiossa* kevyet atomiytimet yhdistyvät raskaammiksi (kohti keskiraskaita)
- *Fissiossa* raskaat ytimet hajoavat kevyemmiksi (myös kohti keskiraskaita)
- molemmissa tapauksissa sidosuus kasvaa eli (vahvan vuorovaikutuksen) potentiaalienergiaa (ydinenergiaa) vapautuu



**Esimerkki:** Määritä hiili-12 isotoopin massavaje, sidosenergia ja sidososuus.

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

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

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

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

$$1.642933614 \text{E-28} \cdot \text{kg}$$

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

Massavajetta vastaava sidosenergia on

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

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

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

Sidososuus on

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

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

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