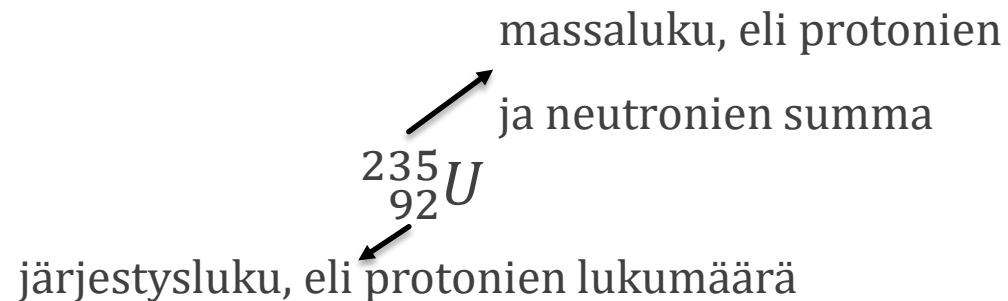


# Aine ja säteily

Ydin ja ydinenergia

# Atomin ydin

- ▶ Atomin ytimet muodostuvat **protoneista** ja **neutroneista**, jotka itsessään koostuvat **kvarkeista**. Kvarkit pysyvät kasassa **vahvan vuorovaikutuksen** aikaansaaman **värivoiman** ansiosta. Värivoiman jäännösvoima, **ydinvoima**, pitää protonit ja neutronit ytimessä.
- ▶ Atomissa protonien lukumäärä määrää aineen **järjestysluvun**.
- ▶ Jos saman alkuaineen atomeilla on eri määrä neutroneja, kyseessä on aineen eri **isotoopit**.
- ▶ Ydin, jossa on tietty määrä protoneja ja neutroneja kutsutaan **nuklidiksi**.



- ▶ Kun protonit ja neutronit muodostavat atomien ytimiä, ne vapauttavat energia suuret määrät. Vapautuva energia voidaan laskea ytimen massakadon avulla kaavalla:

$$E = \Delta mc^2$$

- ▶ Esim. Rauta:

- ▶ Raudalla on 26 protonia ja elektronia. Yleisimmän isotoopin massaluku on 56, eli neutroneja on  $56-26=30$ kpl.
- ▶ Protonin massa: 1,0072765u
- ▶ Neutronin massa: 1,0086650u
- ▶ Elektronin massa: 0,00054857990u
- ▶  ${}^{56}\text{Fe}=55,934939\text{u}$

- ▶ Massakato=atomin massa – hiukkasten massa

$$|\Delta m| = |55,934939u - 26m_p - 30m_n - 26m_e| = 0,5284630774u$$

$$u = 1,6605389 \cdot 10^{-27}kg$$

$$\Rightarrow |\Delta m| = 8775335 \cdot 10^{-28}kg$$

- ▶ Suhteellinen massakato:

$$\frac{0,5284630774u}{55,934939u} \cdot 100\% = 0,944 \dots \% \approx 0,9\%$$

- ▶ Tämä ytimen massakato voidaan ilmaista ytimen **sidosenergian** avulla.

$$E_B = \Delta mc^2$$

- ▶ **Sidososuuden** avulla ilmaistaan, kuinka paljon sidosenergiaa ytimessä on yhtä nukleonia kohti.

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

- ▶ Mitä suurempi sidososuus, sitä enemmän energiaa sidoksissa on, ja sitä vakaampi ydin.

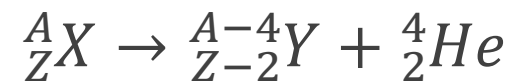
- ▶ Samoin kuin elektronien kohdalla, myös ydin voi olla virittyneessä tilassa. Kun viritystila purkautuu, ydin lähettää **gamma-säteilyä**.
  - ▶ Fotonin energia riippuu viritystilojen ja perustason eroista.

# Ydinsäteily

- ▶ Kaikki ytimet eivät ole vakaita, jolloin ne voi "hajota" muiksi ytimiksi. Eri isotoopit ovat vakaita ja osa epävakaita.
- ▶ Ytimen vakautta voidaan "muokata" radioaktiivisen hajoamisen avulla.
  - ▶ Alfahajoaminen
  - ▶ Beetahajoamine
  - ▶ Elektroninsieppaus
- ▶ Hajoamisen jälkeen ytimen [sidossuus](#) kasvaa.

►  **$\alpha$ -hajoaminen:**

- Ytimestä irtoaa  $\alpha$ -hiukkanen eli heliumin ydin  ${}^4_2\text{He}^{2+}$
- Hajoamisen yhteydessä ytimen massaluku pienenee neljällä ja järjestysluku kahdella



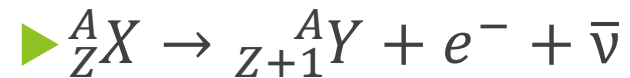


►  $\beta$ -hajoaminen:

► Joko neutroni muuttuu ytimessä protoniksi ( $\beta^-$  - hajoaminen) tai protoni neutroniksi ( $\beta^+$  - hajoaminen).

► Hajoamisessa ytimestä vapautuu 2 hiukkasta:

►  $\beta^-$  →elektroni ja antineutriino

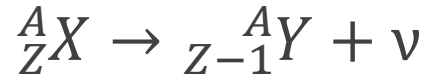


►  $\beta^+$  →positroni ja neutriino



► Elektronin sieppaus:

- Tyypillinen raskailla alkuaineilla.
- Protoni sieppaa elektronin sisimmältä K-kuorelta, ja muuttuu neutroniksi.



- Kun elektroni putoaa ylemmältä kuorelta syntyneeseen K-kuoren aukkoon, atomi lähettää röntgensäteilyä.

- ▶ Hiukas- ja antihiiukkaspari, kuten elektroni ja positroni, voivat annihiloida toisensa. Tällöin muodostuu 2 gamma kvanttia.
- ▶ Vastaavasti kaksi riittävän energeettistä fotonia ( $E > 1,02\text{MeV}$ ) voivat muodostaa elektroni-positroni parin.

- ▶ Hajoamisen yhteydessä muodostunut tytärystin saattaa jäädä viritystilaan.
- ▶ Viritystilan purkautuessa ydin lähettää korkea energistä gammasäteilyä.

# Hajoamisenergia

- ▶ Hajoamisen yhteydessä osa emoytimen massasta muuntuu energiaksi. Tämä energia jakautuu muodostuvalle tytärtytimelle, mahdollisesti vapautuneille hiukkasille ja vapautuneille fotoneille.
  - ▶ Massakatoa laskiessa on huomioitava kaikkien muodostuneiden hiukkasten massa, ei ainoastaan tytärtytimen ja emoytimen massaeroa!
- ▶ Ytimen hajotessa kokonaisenergia ja liikemäärän täytyy säilyä.
  - ▶ Alun perin beetahajoamisessa vaikutti siltä, että energia ja liikemäärä eivät säilyneet, koska vapautuneen elektronin nopeus vaihteli merkittävästi. Myöhemmin tämä ongelma ratkesi, kun löydettiin neutriinot.

- ▶ Hajoamisen yhteydessä vapautuva energia:

$$Q = \Delta mc^2 = [m(\text{hiukkaset alussa}) - m(\text{hiukkaset lopussa})]c^2$$

- ▶ Jos ydin ei jää viritystilaan, niin tämä vapautunut energia jakautuu alfahajoamisessa tytärytimen ja alfa-hiukkasen liike-energiaksi.

$$Q = \frac{1}{2}m_\alpha v_\alpha^2 + \frac{1}{2}m_{\text{tytär}} v_{\text{tytär}}^2$$

- ▶ Liikemäärän säilymisen vuoksi tytärytimen ja alfa-hiukkasella on yhtä suuri liikemäärä.

$$m_\alpha v_\alpha = m_{\text{tytär}} v_{\text{tytär}}$$

- ▶ Koska alfa-hiukkanen on paljon kevyempi kuin tytärydin, niin se saa suurimman osan vapautuneesta energiasta liike-energiakseen.

# Hajoamislaki

- ▶ Eri isotoopeilla on eri todennäköisyys hajota radioaktiivisesti tietyssä ajassa.
- ▶ Mitä nopeammin ytimet hajoavat, sitä **aktiivisempi** aine on. Aktiivisuuden yksikkö on becquerel eli 1Bq (hajoamista per sekunti).
- ▶ Aineen aktiivisuus riippuu ydinten määrästä ja kyseisestä isotoopista:

$$A = \lambda N \quad \lambda = \text{hajoamisvakio, } N = \text{isotooppien lukumäärä}$$

- ▶ Koska hajoamisen aktiivisuus riippuu ydinten määrästä, aktiivisuus on eksponentiaalisesti riippuvainen ajasta.

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$$

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

- ▶ Puoliintumisajalla tarkoitetaan sitä aikaa, joka kestää kun tasan puolet isotoopeista on hajonnut.

$$N(T_{1/2}) = \frac{1}{2}N_0 = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}} \Rightarrow T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

- ▶ Puoliintumisaika ei riipu siitä, kuinka paljon ainetta on jäljellä.
  - ▶ Mitä lyhyempi puoliintumisaika, sitä aktiivisempi aine on, ja sitä kautta vaarallisempi.
  - ▶ Mitä pidempi puoliintumisaika, sitä pidemmän aikaa aine säteilee, mutta se ei säteili yhtä voimakkaasti.





# Ydinenergia

- ▶ Nykyään ydinenergiaa tuotetaan fissioreaktion avulla, jossa raskas ydin (esim.  $^{235}_{92}\text{U}$ ) kahdeksi keskiraskaaksi ytimeksi.
  - ▶ Fissio saadaan aikaiseksi pommittamalla raskasta ydintä neutroneilla, jonka seurauksena ytimestä tulee entistä epävakaampi.
  - ▶ Ytimen haljetessa siitä vapautuu uusia vapaita neutroneja, jotka voivat aiheuttaa muiden ydinten halkeamisen.
    - ▶ Mikäli reaktiossa vapautuneet neutronit käynnistävät keskimäärin yli yhden uuden ytimen halkeamisen, käynnistyy kiihtyvä ketjureaktio, eli ydinräjähdys.

- ▶ Fissioreaktiossa (ydinpommissa tai voimalassa) muodostuu uusia aineita, jotka itsessään ovat usein radioaktiivisia. Tämä ydinjäte leviää pommin jäljiltä ympäristöön, ja voimaloissa se täytyy varastoida turvallisesti ja loppusijoittaa pitkäaikaisiin säiliöihin.
- ▶ Ydinjätteen aktiivisuus hiipuu aluksi nopeasti (kun korkeaktiiviset ytimet hajoavat), mutta se säilyy ympäristöä radioaktiivisempana kymmeniä tuhansia vuosia.

- ▶ Toinen tapa tuottaa ydinenergiaa on hyödyntää fuusioreaktiota, jossa kaksi kevyttä ydintä yhdistyy raskaammaksi ytimeksi.
- ▶ Fuusion ongelmana on sen vaatima korkea lämpötila, mitä nykyiset rakenteet eivät kestä.
  - ▶ Yhdistyvät ytimet täytyy saada lähelle toisiaan, jotta fuusio tapahtuu. Ytimet kuitenkin hylkivät toisiaan niiden sähkövarauksen vuoksi.
- ▶ Fuusion avulla energiaa vapautuu tyypillisesti enemmän kuin fissiossa, minkä vuoksi fuusiopommit ovat merkittävästi tehokkaampia kuin fissiopommit.