

FY7 Energia radioaktiivisessa hajoamisessa

Tapio Hansson

Reaktioenergia

- ▶ Ydinreaktioissa vapautuu energiaa, joka on ollut sitoutuneena ytimen massaan.
- ▶ Koska sidossuudet vaihtelevat, on lopputuotteiden massa toisinaan pienempi kuin lähtöaineiden, jolloin erotuksen verran energiaa vapautuu.
- ▶ Tällöin voi tapahtua spontaani ydinreaktio.
- ▶ Vapautuva energia vastaa siis *reaktion massavajetta*

$$Q = \Delta mc^2$$

- ▶ Vapautuva energia muuntuu käytännössä reaktiotuotteiden liike-energiaksi, mikä nostaa aineen lämpötilaa.
- ▶ Tätä lämpöenergiaa muunnetaan ydinvoimalan höyryturbiineilla sähköksi.

Energian säilyminen α -hajoamisessa

- ▶ α -hajoamisessa ydin hajoaa käytännössä kahteen osaan. Vapautuva reaktioenergia siirtyy suoraan tuotteiden liike-energiaksi

$$Q = \frac{1}{2}m_T v_T^2 + \frac{1}{2}m_\alpha v_\alpha^2$$

Alaindeksi T viittaa tytärtimeen.

- ▶ Myös liikemäärä säilyy reaktiossa, joten reaktioenergia jakautuu reaktiotuotteille liikemäärän säilymislain mukaisesti

$$m_T \bar{v}_T - m_\alpha \bar{v}_\alpha = 0$$

- ▶ Tutkimuksissa havaitaan, että ytimen energiatilat ovat kvantittuneet, sillä α -hiukkanen voi saada vain tiettyjä energia-arvoja.

Esimerkki: $^{238}_{92}\text{U}$ α -hajoaminen

Massavaje

$$\begin{aligned}\Delta m &= \left[m(^{238}_{92}\text{U}) - 92m_e \right] - \left[m(^{234}_{90}\text{Th}) - 90m_e + m(^4_2\text{He}) - 2m_e \right] \\ &= m(^{238}_{92}\text{U}) - m(^{234}_{90}\text{Th}) - m(^4_2\text{He}) \\ &= 238,050784 \text{ u} - 234,043593 \text{ u} - 4,0026033 \text{ u} \\ &= 0,0045877 \text{ u}\end{aligned}$$

Reaktioenergia

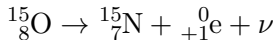
$$\begin{aligned}Q &= \Delta mc^2 = 0,0045877 \text{ uc}^2 \\ &= 0,0045877 \cdot 931,49432 \frac{\text{MeV}}{c^2} c^2 \\ &\approx 4,3 \text{ MeV}\end{aligned}$$

Energia β -hajoamisessa

- ▶ β -säteilyn energiajakauma on jatkuva.
- ▶ Hajoamistuotteena syntyy kolme hiukkasta, joten energia voi jakautua hyvin monella tavalla.
- ▶ Tytärydin on niin raskas verrattuna elektroniin, että liike-energia jakautuu lähestulkoon kokonaan elektronin ja neutriinin kesken.
- ▶ β -hiukkasen liike-energia voi vaihdella nollan ja koko reaktioenergian välillä.
- ▶ β -säteily vuorovaikuttaa myös aineen elektroniverhon kanssa.
- ▶ Sen kantama vaihtelee johtuen vaihtelevista lähtöenergioista, ja erilaisista vuorovaikutuksista, kuin α -säteilyllä.

Esimerkki: $^{15}_8\text{O}$ β^+ -hajoaminen

Reaktoioyhtälö



Massavaje

$$\begin{aligned}\Delta m &= \left[m(^{15}_8\text{O}) - 8m_e \right] - \left[m(^{15}_7\text{N}) - 7m_e + m_e \right] \\ &= m(^{15}_8\text{O}) - m(^{15}_7\text{N}) - 2m_e \\ &= 15,003065 \text{ u} - 15,000108 \text{ u} - 2 \cdot 5,485799 \cdot 10^{-4} \text{ u} \\ &= 0,0018598402 \text{ u}\end{aligned}$$

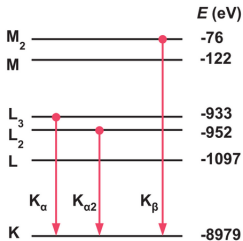
Reaktioenergia

$$\begin{aligned}Q &= \Delta mc^2 = 0,0018598402 \text{ u} c^2 \\ &= 0,0018598402 \text{ u} \cdot 931,49432 \frac{\text{MeV}}{c^2} c^2 \\ &\approx 1,7 \text{ MeV}\end{aligned}$$

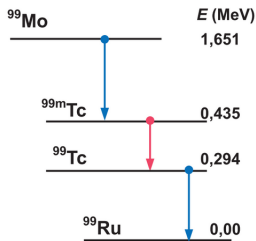
Gammasäteilyn energia

- ▶ Ytimet jäävät radioaktiivisen hajoamisen jälkeen käytännössä aina virittyneeseen tilaan.
- ▶ Tämän viritystilän purkoutuessa ydin emittoi gamma-säteilyä.
- ▶ Osa energiasta menee myös tytärytimen liike-energiaksi, mutta tämä osuus on niin pieni, että se voidaan useimmiten jättää huomiotta.

Kuva A



Kuva B



kuva: YTL, fysiikan ylioppilaskoe kevät 2017

Vasemmalla elektroniverhon siirtymiä, oikealla ytimen energiatilojen siirtymiä.