

◀	Tartalom	Fogalmak	Törvények	Képletek	Lexikon	▶
---	----------	----------	-----------	----------	---------	---

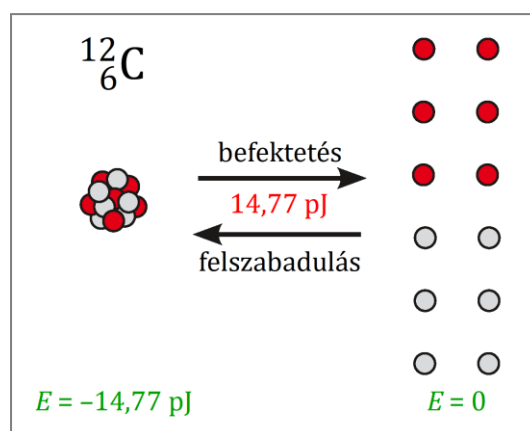
Az erős kölcsönhatás. Az atommag kötési energiája

Láttuk, hogy a hidrogént kivéve (ahol a mag egyetlen protonból áll) az atommag több protont is tartalmaz. Ezek azonos töltésűek, tehát kölcsönösen taszítják egymást. Emiatt ki kellene löködniük a magból, a tapasztalatok szerint azonban az atommagok stabilak. Az atommag egybentartását nem okozhatja a gravitációs kölcsönhatás, mert két proton között ható gravitációs vonzóerő mindig kisebb, mint az elektromos taszítóerő.

A magok stabilitását csak az elektromos kölcsönhatásnál sokkal erősebb kölcsönhatás biztosíthatja. Az atommag nukleonjai között fellépő, vonzásban megnyilvánuló kölcsönhatást erős kölcsönhatásnak nevezzük. Részletes vizsgálatok szerint az erős kölcsönhatás legfontosabb tulajdonságai a következők:

- A gravitációs és az elektromos kölcsönhatásnál lényegesen erősebb.
- Az erős kölcsönhatás proton-proton, neutron-neutron és proton-neutron között is létrejöhethet.
- Erőssége független a nukleonok elektromos töltésétől.
- Mindig vonzást eredményez.
- Rendkívül rövid hatótávolságú ($1,4 \cdot 10^{-15}$ m), gyakorlatilag csak a szomszédos nukleonok között lép fel.

Az erős kölcsönhatás összetartja az atommagot, ezért az atommag szabad nukleonokra történő szétbontásakor munkát kell végezni. Az atommagból kiszakított (nyugvó) nukleonok energiáját célszerű nullának választani. Mivel a mag nukleonjai szabad állapotba csak energiafelvétellel juthatnak, tehát a magban levő nukleonok energiája negatív. Például a szén

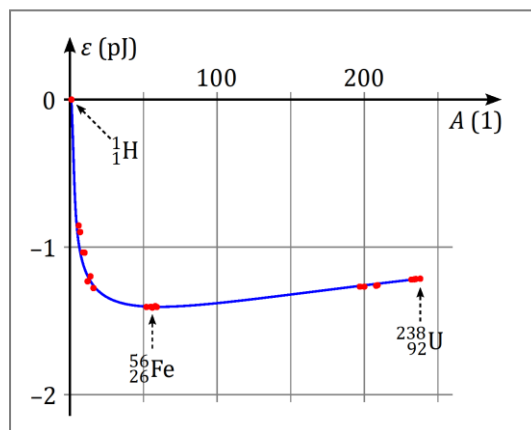


12 tömegszámú izotópjában a mag energiája $-14,77$ pJ, ezért egy ilyen atommag szabad nukleonokra történő szétbontásához $14,77$ pJ munkát kell végezni. Ha viszont 6 szabad

protonból és 6 szabad neutronból egy ilyen atommag képződik, akkor a folyamatban 14,77 pJ energia szabadul fel. (Ez az atommag, illetve környezetének felmelegedését eredményezi.)

Az atommagot felépítő, egymáshoz kötött nukleonok energiáját kötési energiának nevezzük. A fentiek alapján tehát a kötési energia negatív.

Grafikonon ábrázoltuk az egy nukleonra jutó kötési energiát a tömegszám függvényeként. A grafikon a kezdeti szakaszon meredeken csökken, az 56-os tömegszámú vasnál éri el a minimumát, majd innen kezdve enyhén emelkedik. Az egy nukleonra jutó kötési energia tehát a vas atommagjában a legkisebb, azaz a nukleonok ebben a magban vannak a legmélyebb energiájú állapotban. Eszerint a vas atommagjában kötődnek legerősebben a nukleonok egymáshoz, tehát a vasatom magja a legstabilabb.



Eszerint a vas atommagjában kötődnek legerősebben a nukleonok egymáshoz, tehát a vasatom magja a legstabilabb.

A vasnál kisebb tömegszámú magokban egy-egy nukleonnak csak néhány szomszédja van, a mag szétbontásához csak ezek vonzását kell legyőzni. Minél nagyobb a tömegszám, annál több szomszédhoz kötődnek a nukleonok, így annál több munkát kell végezni. A könnyű magokban a tömegszám növekedése az egy nukleonra jutó kötési energia csökkenésével jár együtt.

A vasnál nagyobb tömegszámú atommagoknál a protonok közti Coulomb-féle erő segíti a mag szétbontását. Az elektromos kölcsönhatás ugyanis nagy hatótávolságú, a teljes magon belül hat, míg a magerők gyakorlatilag csak a szomszédos nukleonok közt hatnak. Minél nagyobb a tömegszám, annál nagyobb a mag mérete, ezért egyre több olyan nukleon van, amely már kívül kerül az erős kölcsönhatás hatótávolságán. Így a nehéz atommagokban a tömegszám növekedése az egy nukleonra jutó kötési energia növekedésével jár együtt.

Kiegészítés

1. Láttuk, hogy ha a különálló nukleonokból egy atommag jön létre, akkor a rendszer összenergiája csökken. Az $E = m \cdot c^2$ összefüggéssel összhangban azonban az energiacsökkenéssel együtt a tömeg szintén csökken. Emiatt (a hidrogént nem számítva) *bármely atommag tömege kisebb, mint az őt alkotó nukleonok összes tömege*. Például a $^{12}_6\text{C}$ atommagja 6 protonból és 6 neutronból áll. Ennek a 12 nukleonnak az együttes tömege:

$$\begin{aligned}\sum m &= 6 \cdot m_p + 6 \cdot m_n = 6 \cdot (m_p + m_n) = \\ &= 6 \cdot (1,672\,621\,777 \cdot 10^{-27} \text{ kg} + 1,674\,927\,471 \cdot 10^{-27} \text{ kg}) \approx \\ &\approx 20,09 \cdot 10^{-27} \text{ kg}.\end{aligned}$$

Az atomi tömegállandó definíciója alapján viszont a $^{12}_6\text{C}$ atom tömege:

$$m_{\text{C}12} = 12 \cdot m_u = 12 \cdot 1,660\,539\,066\,60 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \approx 19,93 \cdot 10^{-27} \text{ kg}.$$

Ezek alapján a $^{12}_6\text{C}$ atommag kötési energiája meghatározható:

$$\begin{aligned}E_{\text{C}12} &= E_{\text{C}12} - E_{\Sigma} = m_{\text{C}12} \cdot c^2 - \sum m \cdot c^2 = (m_{\text{C}12} - \sum m) \cdot c^2 = \\ &= (19,93 \cdot 10^{-27} \text{ kg} - 20,09 \cdot 10^{-27} \text{ kg}) \cdot \left(2,997\,924\,58 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 \approx \\ &\approx -1,43 \cdot 10^{-11} \text{ J} = -14,3 \text{ pJ}.\end{aligned}$$

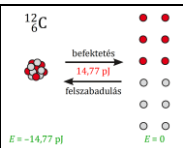
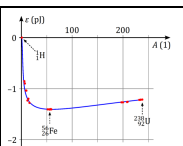
Ebből az egy nukleonra jutó kötési energia a $^{12}_6\text{C}$ atommagban:

$$\varepsilon = \frac{E_{\text{C}12}}{A} = \frac{-14,3 \text{ pJ}}{12} \approx -1,19 \text{ pJ}.$$

Ez gyakorlatilag megegyezik a méréseken alapuló 1,231 pJ értékkel. (Ennek tizenkétszerese a fejezet első ábráján szereplő 14,77 pJ érték.)

2. A $^{12}_6\text{C}$ atommag tömege és az azt alkotó 12 nukleon össztömege közti különbség ad magyarázatot arra [Az atomok felépítése](#) című fejezet *Kiegészítések* 7. pontjában felvetett kérdésre is, hogy az atomi tömegállandó miért kisebb, mint a proton, vagy a neutron tömege.

Képek jegyzéke

	Rajz a kötési energia fogalmáához © http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0700.svg
	Az egy nukleonra jutó kötési energia–tömegszám grafikon © http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0701.svg

Jelmagyarázat:

© **Jogvédtett anyag**, felhasználása csak a szerző (és az egyéb jogtulajdonosok) írásos engedélyével.

W A **Wikimedia Commons**-ból származó kép, felhasználása az eredeti kép leírásának megfelelően.