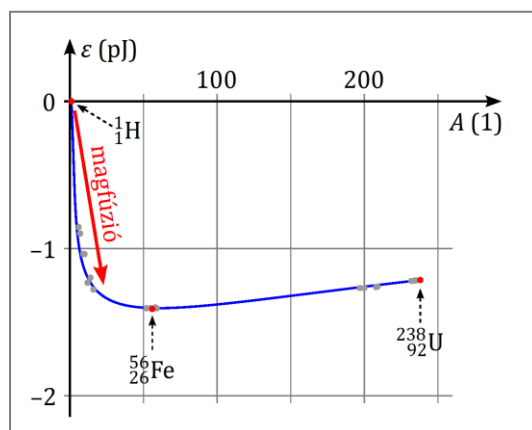


◀	<i>Tartalom</i>	<i>Fogalmak</i>	<i>Törvények</i>	<i>Képletek</i>	<i>Lexikon</i>	▶
---	-----------------	-----------------	------------------	-----------------	----------------	---

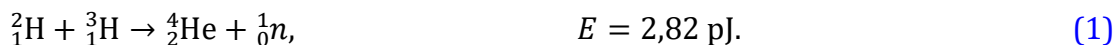
## Magfúzió

Magfúziónak nevezzük az olyan magreakciót, amelyben két könnyű atommag egyetlen maggá egyesül. Korábban, *Az erős kölcsönhatás. Az atommag kötési energiája* című fejezetben láttuk, hogy a vasnál könnyebb magokban a tömegszám növekedése az egy nukleonra jutó kötési energia csökkenésével jár együtt. Emiatt a fúzióval létrejövő atommag energiája kisebb,



mint a két különálló mag összenergiája volt, tehát a rendszer a fúzió során alacsonyabb energiájú állapotba kerül. A felszabaduló energia nagy része a folyamatban keletkező elemi részecskék mozgási energiájaként jelenik meg, de mindez a sorozatos ütközések következtében végül is a környezet belső energiáját növeli.

Egy lehetséges magfúzió egyenlete és a folyamatban felszabaduló energia nagysága:



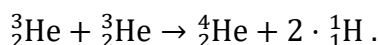
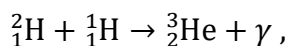
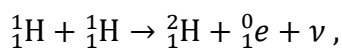
Látható, hogy a fúzió során felszabaduló energia kisebb a 235-ös uránizotóp hasadásakor felszabaduló 32 pJ energiánál, de a fúziónál lényegesen kisebb tömegű nukleáris üzemanyagra van szükség. (Ebben a fúzióban 5 nukleon vesz részt, a hasadásban 235. A hasadásban tehát 47-szer nagyobb tömegű anyag vesz részt, a felszabaduló energia azonban csupán 11-szer nagyobb.)

A fúzió létrejöttét gátolja, hogy az atommagoknak a magerők hatótávolságán belülre (egymástól  $\sim 10^{-15}$  m-nél közelebbre) kell kerülni. Ez csak akkor lehetséges, ha elegendően nagy mozgási energiájuk van ahhoz, hogy legyőzzék a pozitív töltésükből adódó elektrosztatikus taszítóerőt.

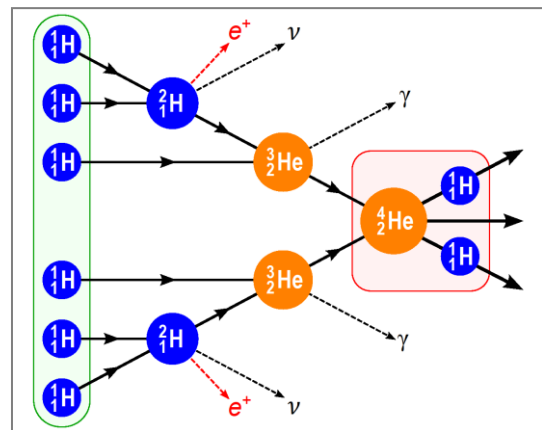
*Elektromos mezővel felgyorsított atommagok segítségével ilyen reakciókat létre lehet hozni.* Az ilyen reakciók azonban az atommagok kis mérete miatt ritkák, ezért sok részecskét feleslegesen kell felgyorsítani.

A fúzióhoz szükséges sebesség a hőmérséklet növelésével is elérhető, a magasabb hőmérsékletű anyagban ugyanis nagyobb sebességű a hőmozgás. A számítások azt mutatják, hogy a magfúzióhoz 10–100 millió °C körüli hőmérsékletre kell a kiindulási anyagot hevíteni. Az így megvalósuló fúziót *termonukleáris reakciónak* nevezik.

A Nap energiatermelése a hidrogén termonukleáris fúzióján alapul. A Nap felszíne „csak” 5500 °C-os, de a belsejében a hőmérséklet eléri a 15 millió °C-ot. Ez a rendkívül magas hőmérséklet, és a Nap belsejében uralkodó  $2 \cdot 10^{15}$  Pa nyomás elegendő a Nap anyagának jelentős részét kitevő hidrogén fúziójához. Négy hidrogénmagból azonban egyetlen lépésben nem képződhet egy héliummag, mert a négy atommag egyszerre nem képes összeütközni. A tényleges folyamat több lépésben, két-két atommag fúziójával megy végbe. A Nap folyamatos energiatermelése a következő fúziós reakciókon alapul:



A teljes folyamatban *négy hidrogénmagból képződik egy héliummag*, mert a kiinduláskor meglévő hat hidrogénmagból kettő lényegében változás nélkül kerül ki a reakciósorozatból.



A *hidrogénbomba* szintén termonukleáris fúzióval működik. A fúzió létrejöttéhez szükséges magas hőmérsékletet egy atombomba felrobbantásával állítják elő. Az első kísérleti hidrogénbombában trícium és deutérium fúzióját valósították meg. A folyamat a már látott (1) egyenlettel írható le. Létrehoztak más kiindulási anyagokkal működő fúziós bombát is, ezek „begyűjtéséhez” szintén atombombát használnak.

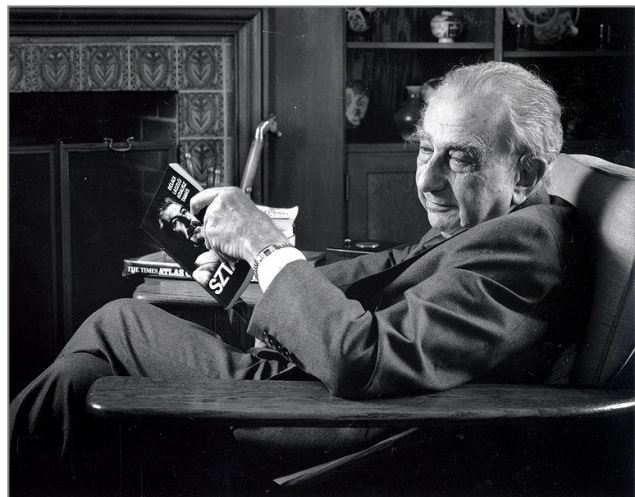
A *szabályozott termonukleáris reakció* huzamosabb ideig történő megvalósítása számos nehézségbe ütközik. A több tízmillió fokos hőmérsékletet egyetlen reaktortartály sem bírja ki. A kutatások évtizedek óta folynak, jelenleg az a lehetőség tűnik legígéretesebbnek, hogy *egy gyűrű alakú tartályban levő, ionizált gázkeverékben (plazmában) hozzanak létre fúziót*. A plazmában gyorsan változó mágneses mezővel áramot lehet indukálni. Az áram hatására a plazma hőmérséklete elérheti a fúzióhoz

szükséges értéket. A forró plazmát a mágneses mező a tartály középvonala mentén tartja, így a tartály nem olvad meg.

Kísérleteznek azzal is, hogy deutérium és trícium szilárd keverékét lézerrel hirtelen (megközelítőleg adiabatikusan) hevítsék fel a szükséges hőmérsékletre. (A deutérium fagyáspontja  $-254,6\text{ °C}$ , a tríciumé  $-252,5\text{ °C}$ , ezért előtte ennél alacsonyabb alacsonyabb hőmérsékletre kell őket hűteni.)

## Kiegészítések

1. A Napban lejátszódó magfúziós folyamatokat Hans *Bethe* (1906–2005) német származású amerikai fizikus fedezte fel 1938-ban. Ezért az eredményért 1967-ben fizikai Nobel-díjat kapott.

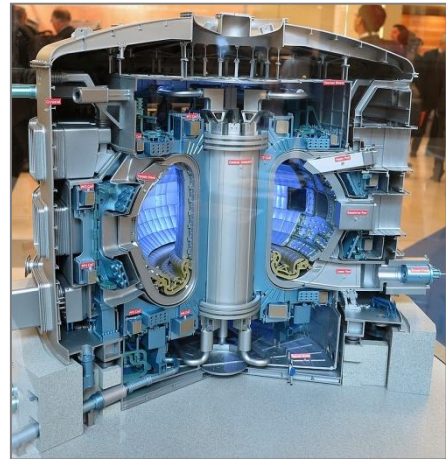


2. A hidrogénbomba kidolgozására *Teller Ede* (1908–2003) 1945-ben tett javaslatot, és tevékenyen részt vett a terv 1951-től történő megvalósításában. Az amerikaiak 1952. november 1-jén, a csendes-óceáni Eniwetok szigetegyüttes egyik korallszigetén robbantották fel az első hidrogénbombát. A felszabaduló energia kb. 700-szor nagyobb volt a Hirosimára dobott bombáénál. A robbanás következtében a teljes sziget eltűnt.
3. A Szovjetunió 1953-ban robbantott először hidrogénbombát. A szovjet atomprogram vezetője Igor Vasziljevics *Kurcsatov* (1903–1960) orosz fizikus volt. Az ő nevét őrzi a 104-es rendszámú transzurán elem, a *kurcsatóvium* (Ku), amelyet 1964-ben állítottak elő szovjet fizikusok.

4. A mágneses tér által stabilizált plazmával működő fúziós reaktortípus neve *tokamak*. A név orosz eredetű, mozaikszó, az első ilyen berendezéseket ugyanis a Szovjetunióban készítették.

A bal oldali képen a *Joint European Torus* (JET) látható. Jelenleg ez a legnagyobb működő tokamak a világon (Culham, Nagy-Britannia). A berendezést az Európai Unió építette és működteti. (Méretét jól érzékelteti a fotó alsó részén, középen álló két ember.)

A Franciaországban világméretű összefogással épülő *International Thermonuclear Experimental Reactor* (ITER) szintén hasonló kísérleti berendezés lesz, de a tervek szerint már több energiát tud termelni, mint amennyi a működtetéséhez szükséges. A jobb oldali képen az épülő ITER makettje látható. (A kép alsó részén itt egy embert ábrázoló bábu érzékelteti a méreteket.)



5. A szabályozott fúziós reakció megvalósítása azért fontos, mert segítségével a környezetet kevésbé szennyező módon lehetne villamos energiát előállítani. A fúziós folyamatban ugyanis nem képződnek hosszú felezési idejű radioaktív anyagok, és a keletkező hélium kémiaiilag tökéletesen semleges. További érv, hogy a tüzelőanyag- és uránkészletek is korlátozottak, hidrogén viszont gyakorlatilag korlátlan mennyiségben rendelkezésre áll tengervíz formájában.

## Képek jegyzéke

	<b>A magfúzió során felszabaduló energia magyarázata</b> © <a href="http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0720.svg">http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0720.svg</a>
	<b>A Napban lezajló magfúzió vázlatja</b> © <a href="http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0721.svg">http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0721.svg</a>
	<b>Bethe arcképe</b> W <a href="https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hans_Bethe.jpg">https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hans_Bethe.jpg</a>
	<b>Teller Ede arcképe</b> W <a href="https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Edward_Teller_(later_years).jpg">https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Edward_Teller_(later_years).jpg</a>
	<b>A Joint European Torus (JET) tokamak (Culham, Nagy-Britannia)</b> W <a href="https://commons.wikimedia.org/wiki/File:The_JET_magnetic_fusion_experiment_in_1991.jpg">https://commons.wikimedia.org/wiki/File:The_JET_magnetic_fusion_experiment_in_1991.jpg</a>
	<b>Az ITER makettje</b> W <a href="https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ITER_Exhibit_(01810402)_(12219071813)_(cropped).jpg">https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ITER_Exhibit_(01810402)_(12219071813)_(cropped).jpg</a>

### 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.