



Fúziós energiatermelés

Berta Miklós, Horváth András

Fizika és Kémia Tanszék
Széchenyi István Egyetem

A nukleáris energiatermelés alapjai

Energiamegmaradás törvénye:

Bármilyen gép, mely energiát ad le, valaminek csökkenti az energiáját!

- *vízerőmű:* a lezúduló víznek lesz kisebb az energiája
- *szélerőmű:* a szél egy kicsit lassul
- *szén- és olaj erőművek:* kémiai kötések alakulnak ki, a végtermék alacsonyabb energiájú

Energiatermelés atommagokkal:

Alacsonyabb energiájú állapotba kell hozni az atommagokat!

Az atommagok felépítése

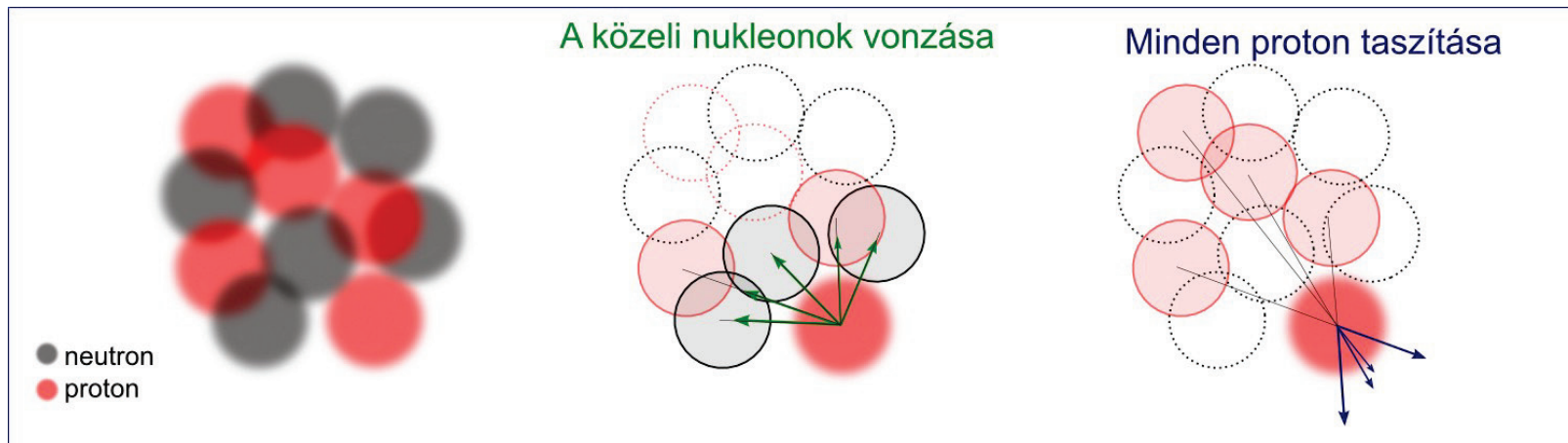
Atommagok alkotóelemei:

A	db nukleon
Z	db proton
$A - Z$	db neutron

Az atommagban ható erők:

Elektromos kölcsönhatás: a protonok taszítják egymást – **mindegyik mindegyiket!**

Erős kölcsönhatás: a nukleonok vonzzák egymást – **csak a közeliakat!**



Nehéz pontos képet alkotni, mert az elemi részek – a kvantummechanika szerint – hullámtermészettel is rendelkeznek.

Az atommagok energiája I.

A nukleonok közti erők hatása a mag energiájára:

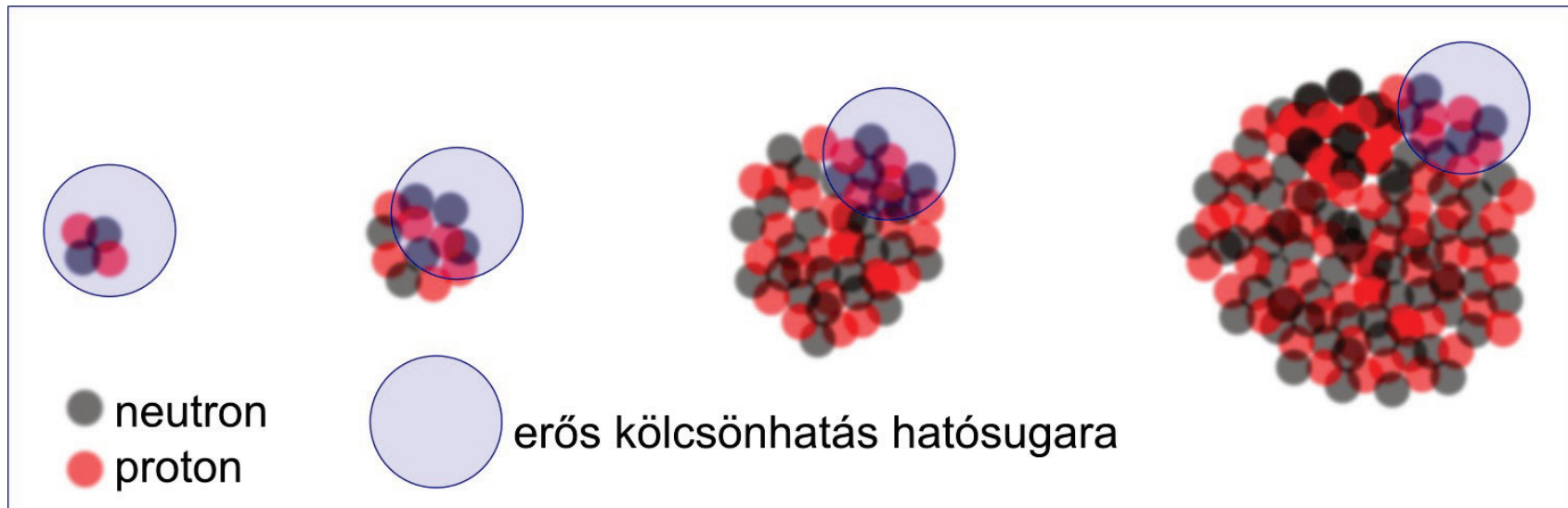
A protonok taszítása növeli a mag energiáját (**lazítja a mag szerkezetét**)

A közeli részek vonzása csökkenti az energiát (**tömöríti a magot**)

Következmény:

Ahogy nő a nukleonok száma , úgy

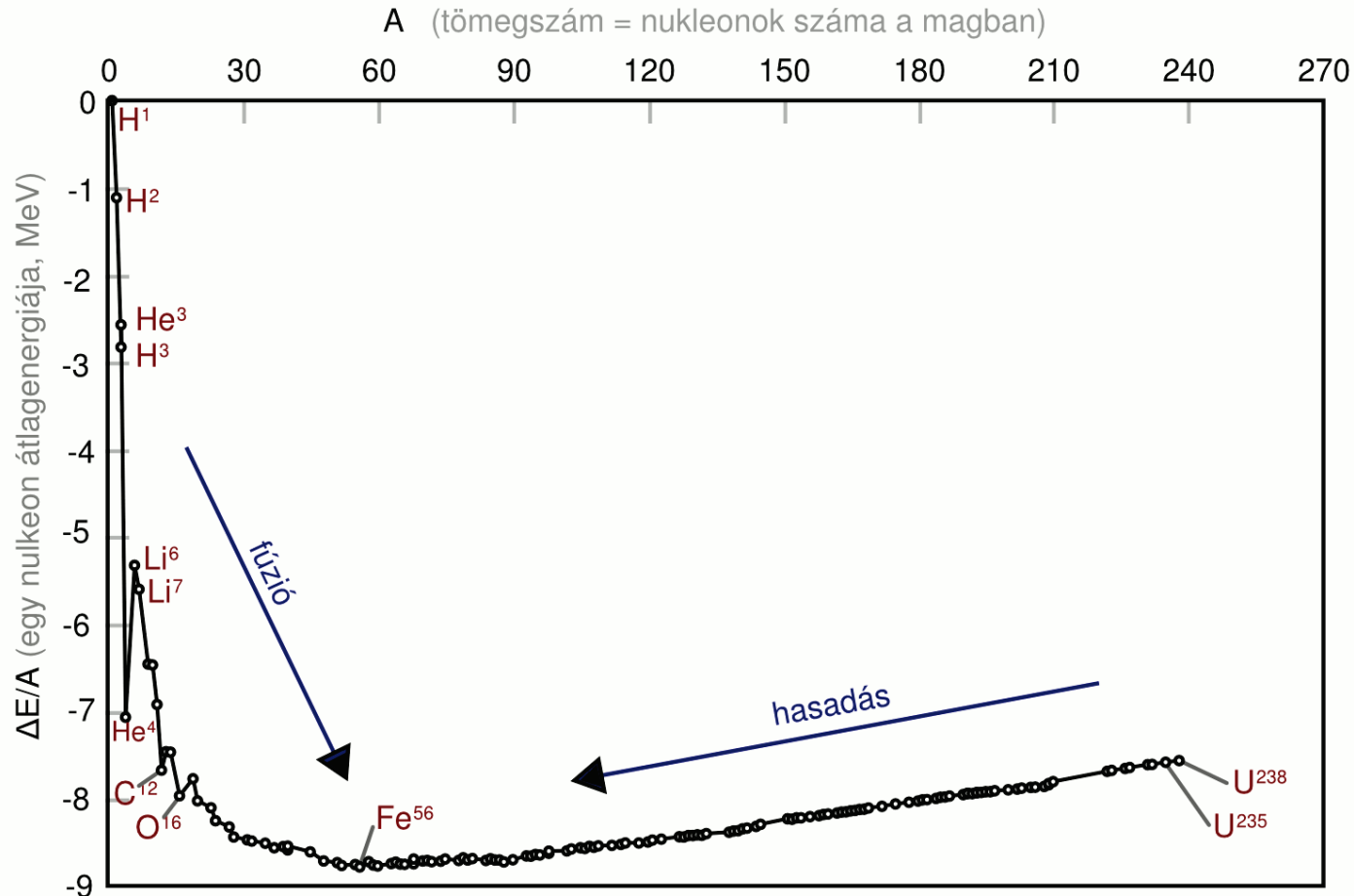
- az elektromos taszítás *egyre erősebb* lesz
- a vonzó erős kölcsönhatás csak a közeli nukleonok közt hat, ezért egy méret után ennek *hatása nem erősödik*.



Kis magokat növelve csökken a nukleonok átlag – energiája, nagyoknál pedig nő.
Egész nagy magok pedig nem is létezhetnek.

Az atommagok energiája II.

A (stabil) magok energiája a mérések alapján



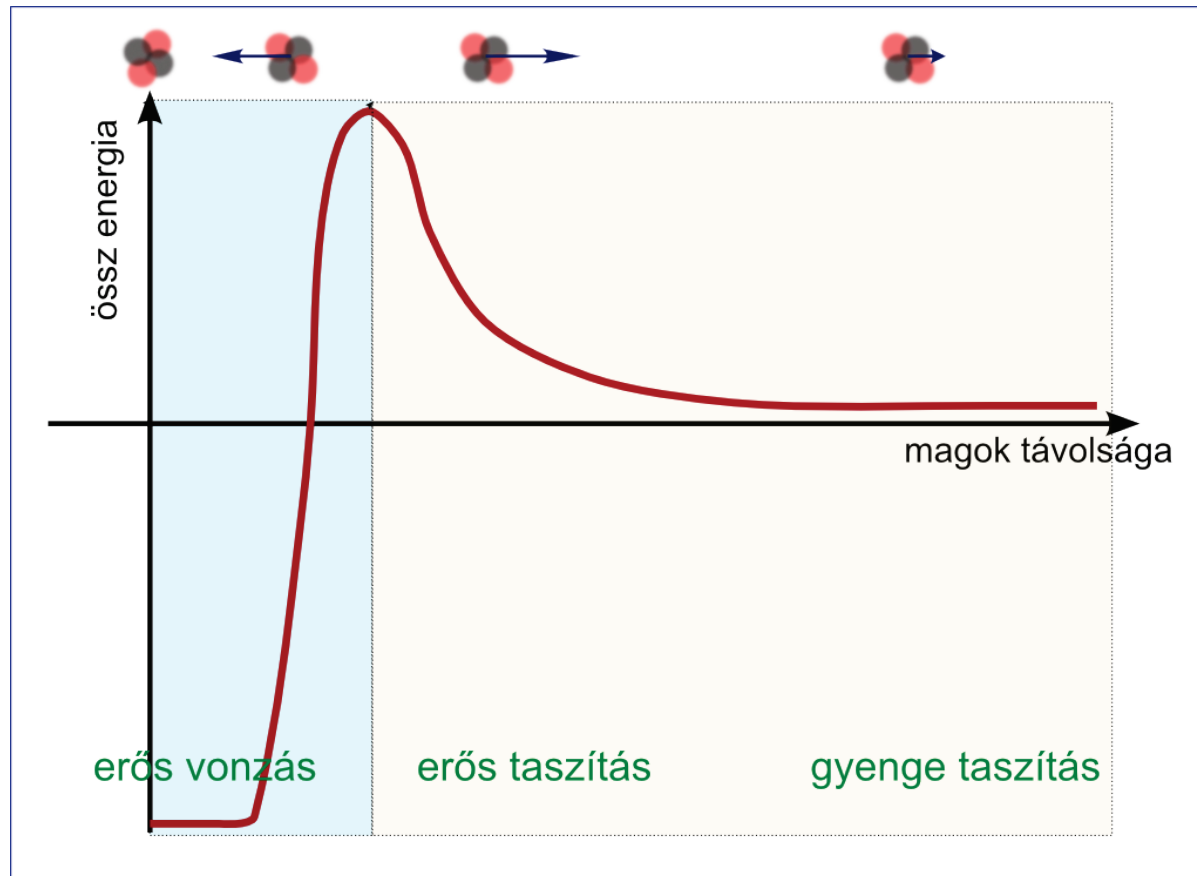
A magok „igyekeznek” a minimális energiájú állapotot felvenni, mint ahogy egy gödörbe tett labda annak alján áll meg.

A fúziós energiatermelés ötlete

Az előzőek szerint könnyű atommagok egyesítésével csökken a nukleonok átlagos energiája.

Nehézség:

Az atommagokat az elektromos taszítás nem engedi egymás közelébe. **Nehéz két magot olyan közelségbe hozni, hogy az erős kölcsönhatás hatni kezdjen!**



Coulomb taszítás és fúzió

Kezdeti elektromos taszítás lassítja a részecskéket.

Ha a részecskék relatív sebessége elég nagy (**magas hőmérséklet miatt**), akkor a nukleáris kölcsönhatás hatósugarán belülre kerülnek.

A hatalmas intenzitású, de rövid hatósugarú nukleáris kölcsönhatás hatására megtörténik a fúzió!

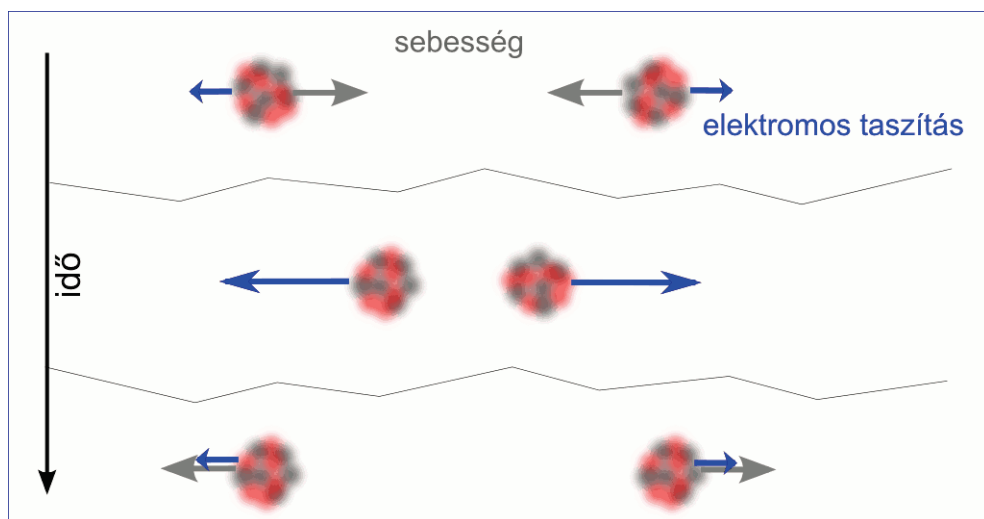
Energia szabadul fel!



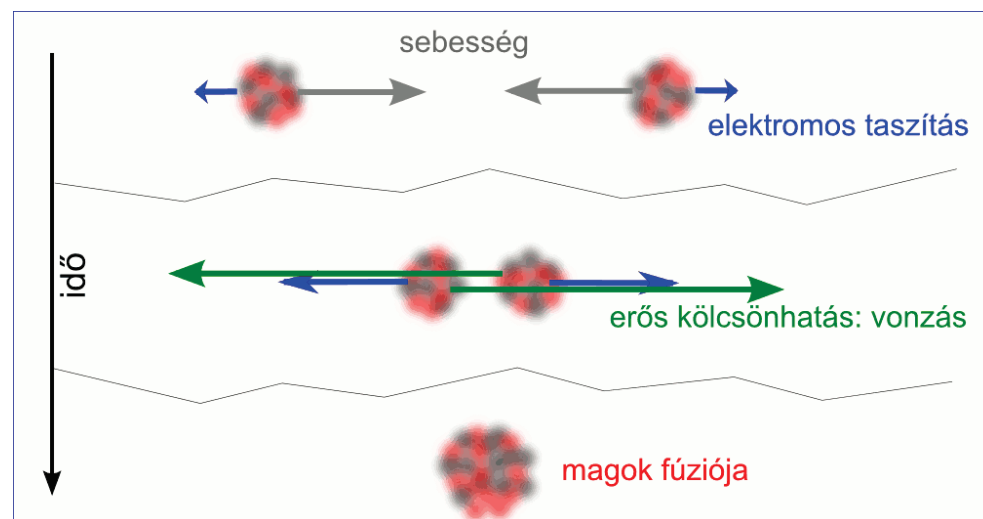
A termikus fúzió

Hogyan győzhetik le a magok egymás tasztítását?

Kézenfekvő megoldás: magas hőmérsékleten gyorsan röpködnek és így közel kerülhetnek egymáshoz.



Magok találkozása kis sebességgel



Magok találkozása nagy sebességgel

Nehézség:

Több mint 100 millió K kell ahhoz, hogy elég közel kerülhessenek!

Szerencse:

A nukleonok hullámtermészete miatt ha már elég közel vannak, bizonyos valószínűséggel mégiscsak kialakul a kötés. (Alagút-effektus.)

Pár tízmillió K is elegendő!

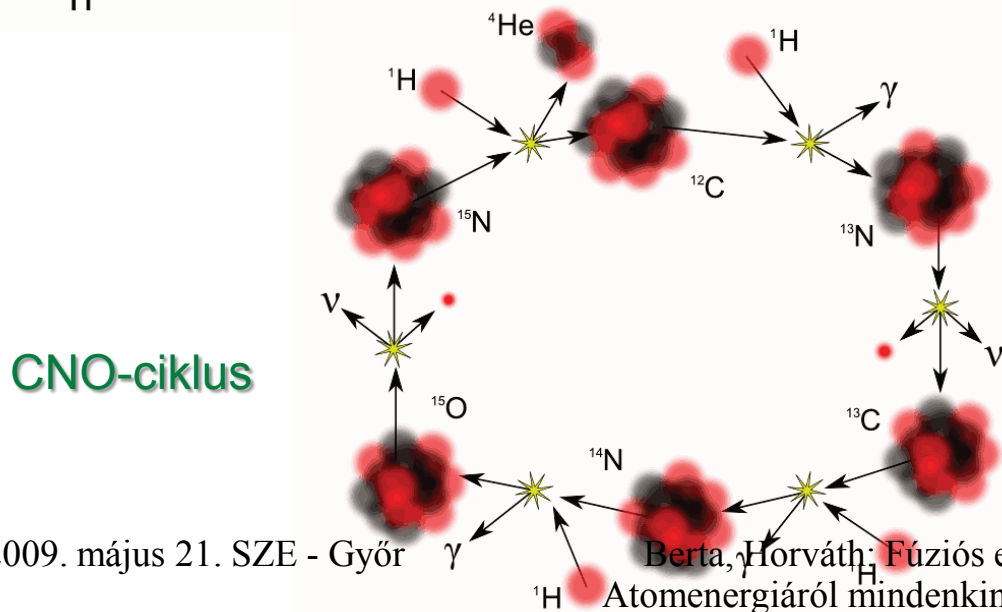
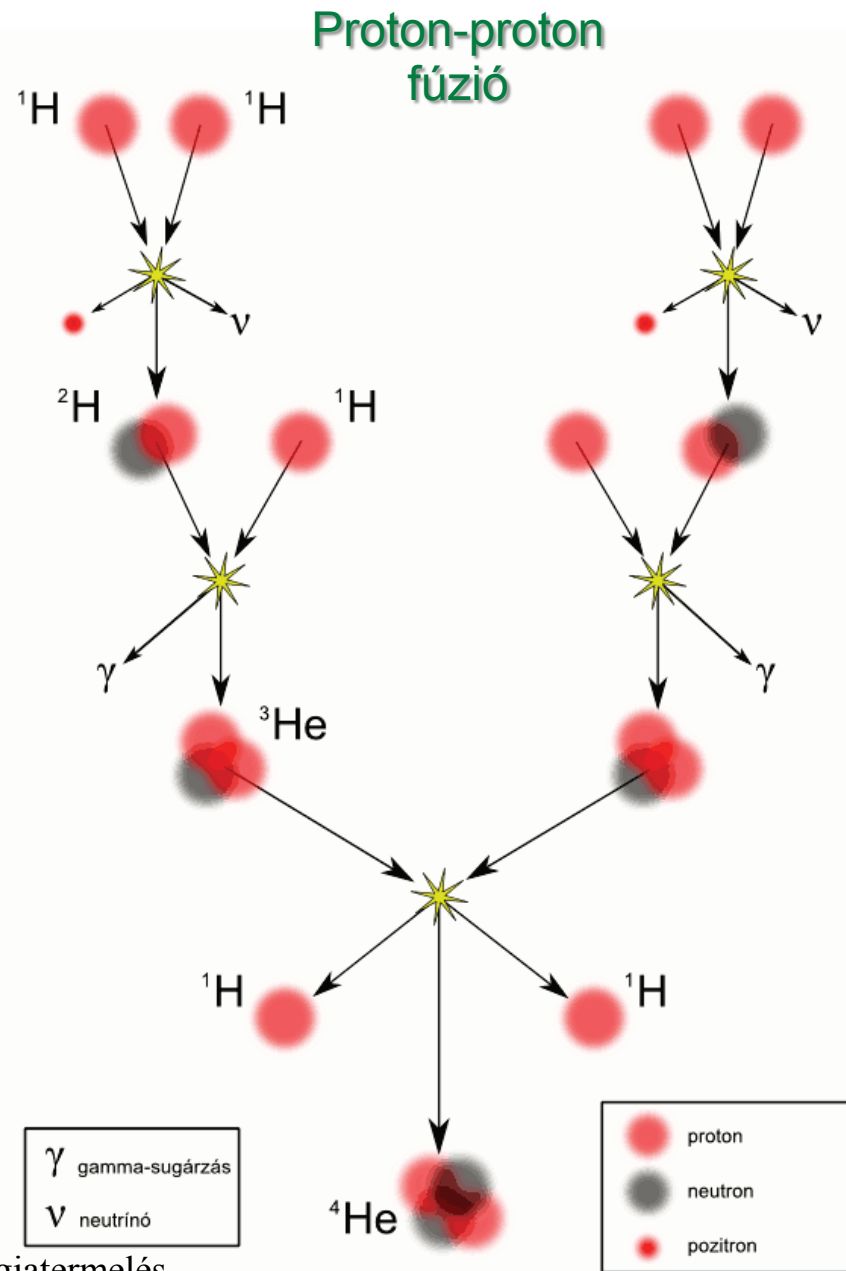
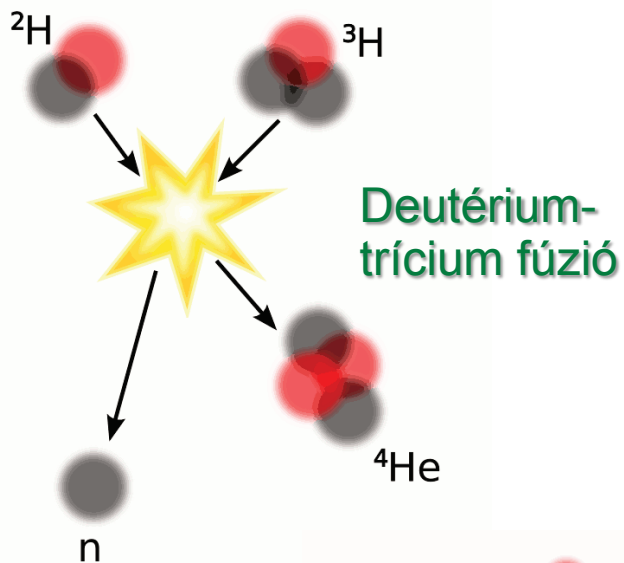
Két azonos töltésű részecske
szóródik egymáson az elektromos
taszítóerők miatt.

Az a legkisebb távolság amire
megközelítik egymást a relatív
sebességüktől függ.

Minél nagyobb a relatív sebességük,
annál közelebb tudnak kerülni
egymáshoz.



Néhány lehetséges fúziós folyamat



Fúzió a Napban

Bonyolult ciklusokon keresztül vezet oda, hogy a Nap hidrogénkészlete fokozatosan héliummá alakul. A folyamat **15 millió fok**on játszódik le.

Tisztán csak a hőmérsékletből származó sebesség nem lenne elég az atommagok egymáshoz ütközéséhez!

A Napban uralkodó hatalmas gravitációs nyomás segíti a fúziós folyamatokat! A Földön ilyen hatalmas nyomásra nem számíthatunk! → **Sokkal magasabb hőmérsékletre van szükség a Földön!**



Erőművi fúziós folyamat



Mintegy 75 millió fokos termikus közegben „nagy” valószínűséggel (**alagúteffektus**nak köszönhetően) lezajlik!

Az összes többi lehetséges fúziós reakcióhoz sokkal magasabb hőmérséklet kellene!

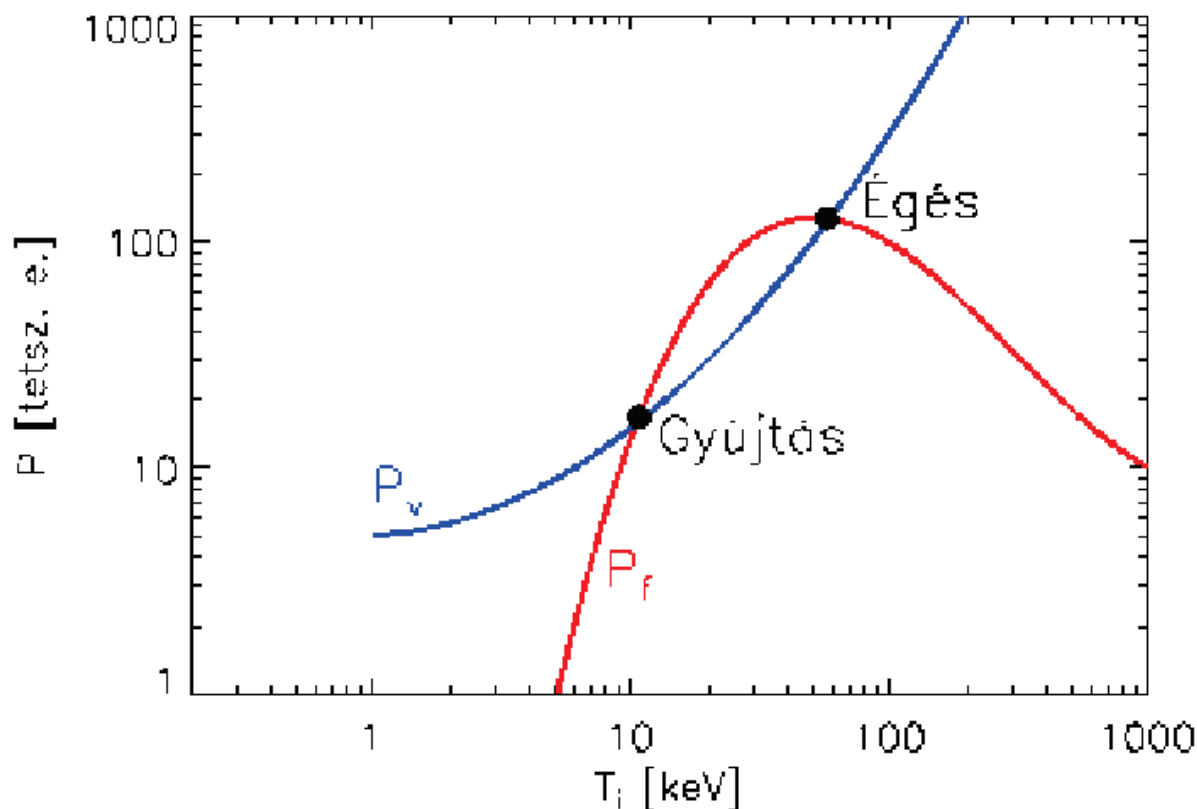
Az anyag atomjai ilyen hőmérsékleteken teljesen szét-
esnek **atommagokra** és **elektronokra**. Ez az anyag ne-
gyedik halmazállapota, a **PLAZMA!**

A fúziós folyamat energiamérlege

Az önfenntartó fúziós energiatermelés feltétele:

megtermelt energia = energiaveszteség

Lawson $n \tau \geq C(T) \sim 10^{(20)}$ D+T esetén

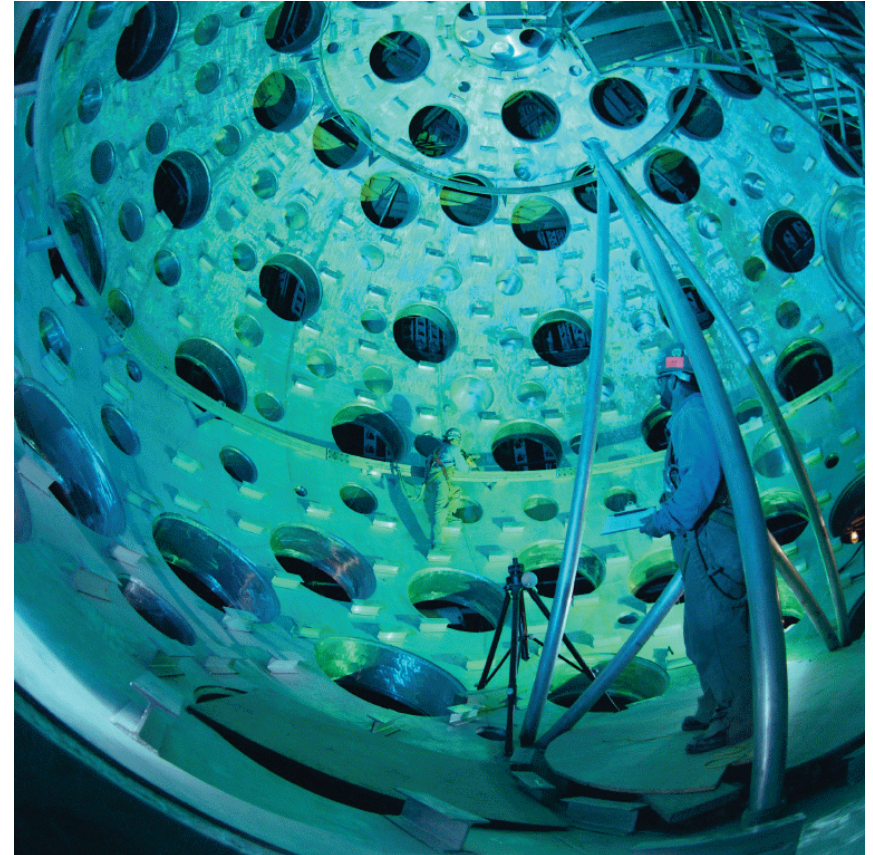


Stabil égés! A folyamat nem szaladhat meg! Biztonság!

Inerciális (lézeres) fúzió

NIF / USA

Nagy sűrűség, rövid összetartás



192 lézernyaláb, 2 millió Joule energia
1 ns alatt

Mágneses összetartás

Kis sűrűség hosszan összetartva!



Érintkezés az edény falával!

Lehűti a plazmát!

Homogén mágneses térben való lebegtetés!

A töltött részecskék **spirál**pályán követik a mágneses teret!

A plazma nem érintkezik az edény falával!

A részecskék kiszöknek a „végeken”!

Zárjuk egymásba a két „véget”!

TÓRUSZ!

TOKAMAK

A tóruszban a mágneses tér
nem homogén → részecskék
szétválása töltésük szerint →
vertikális **elektromos tér** →
 $E \times B$ sebesség sugárirányú
→ **plazma a falon!**

Indukáljunk áramot a
plazmában! → A plazmaáram
mágneses tere megkeveri a
plazmát → **megszűnik a**
részecskék szétválása. →
a plazma nem kenődik a falra!

A plazma áramlása a TOKAMAK-
ban **turbulens** →
nehéz növelni az
összetartási időt!



Trícium szaporítása

A trícium gáznemű radioaktív anyag! Felezési ideje 12,9 év!

A tríciumot elő kell állítani a fúziós erőmű számára!



Lítium nagy mennyiségben fordul elő a földkéregben. Viszonylag olcsón kivonható onnan!

A lítium szaporításához szükséges neutronokat vehetjük a fúziós reakcióból. →
Li szaporító köpeny a reaktor része !



Fúziós reaktor koncepciója



ITER

Önfenntartó fúziós energia- termelés!

Kísérleti reaktor – a
megtermelt energia nem
kerül a hálózatra!

Szupravezető mágnesek
4 K fokos hőmérsékleten!

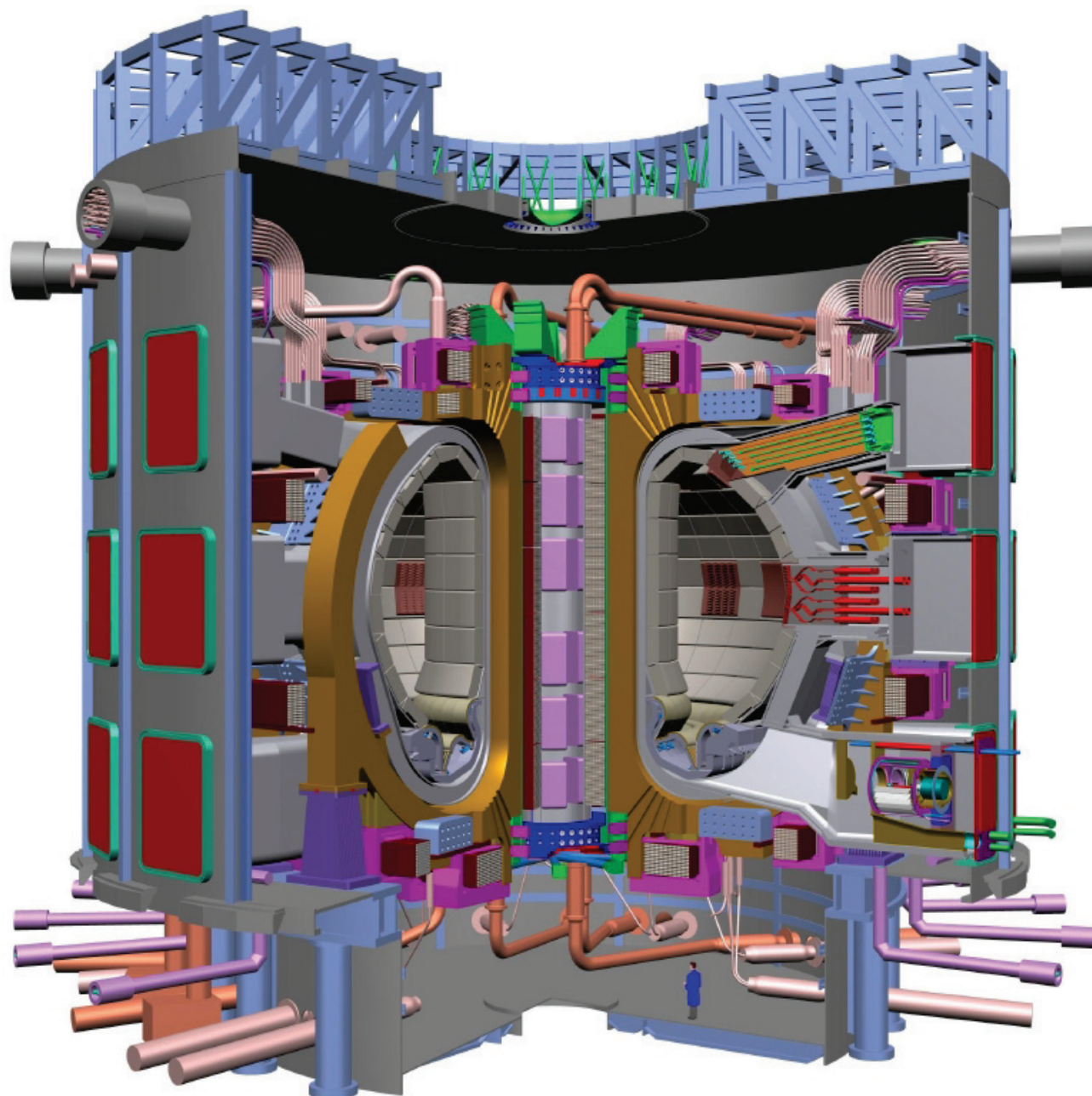
Plazma hőmérséklete:
70 – 80 millió fok!

Becsült EU hozzájárulás:
~ 20 milliárd € / 10 év

Indítás tervezett éve:
2018

Nemzetközi
együttműködés:
(EU, Japán, Kína, India,
Dél – Korea, USA,
Oroszország)

2009. május 21. SZE - Győr



Berta, Horváth: Fúziós energiatermelés
Atomenergiáról mindenkinek előadássorozat

Fúziós energiatermelő reaktor előnyei

- Kevés bemenő üzemanyag szükséges!

Napi anyagszükséglet 1 GW-os erőműre:

$$(1\text{ GW} \times 1 \text{ nap} / 17 \text{ MeV}) \times 8 m_p = 10^9 \times 3600 \times 24 / (1.7 \cdot 10^7 \times 1.6 \cdot 10^{-19}) \times 8 \times 1.6 \cdot 10^{-27} = \mathbf{0.4 \text{ kg}}$$

- A bemenő üzemanyag (D, Li) és a végtermék (He) nem radioaktív!

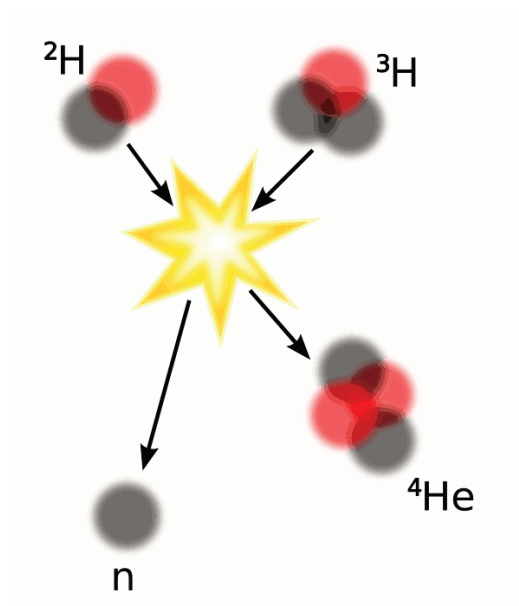
A közbülső **trícium viszont radioaktív** és igen illékony! A keletkezett neutronok felaktiválják a szerkezeti elemeket! → **A fúziós energia melléktermékeként keletkezik radioaktivitás!**
Igaz viszonylag rövid felezési idejű izotópok formájában!

- Nem termel üvegházhatású gázokat!
- A bemenő üzemanyag „mindenütt” megtalálható szinte „korlátlan” mennyiségben!
- A fúziós reaktor azonnal leáll a legkisebb, üzemi állapottól való eltéréskor!

Az ITER sikere azon múlik, hogy:

- sikerül – e megoldani még **néhány alapvető fontosságú fizikai problémát**,
- lesz – e **elegendő műszaki végzettségű ember**, aki ezen a projekten akar dolgozni!

Az elkövetkező mintegy 25 évben fizikusok százaira, és mérnökök ezrei lesz szükség a fúziós energetikában! → **Magas szintű természettudományos és műszaki képzés!!**



Köszönöm a figyelmet!

Az előadás animációi az EFDA „Fusion – Power for future generations” CD – ROM – ról származnak! Felhasználásuk ismeretterjesztő célokra engedélyezett!!