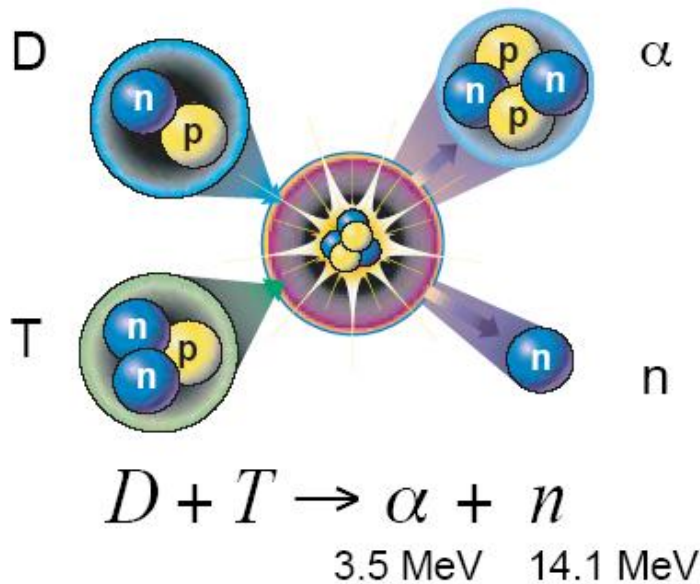


A deutérium és a trícium fúziója

Pozitív töltésű atommagok erősen akadályozzák a fúziót (**Coulomb gát***). Ez a gát a D és T fúziónál 77 millió C° (küszöb-energia).

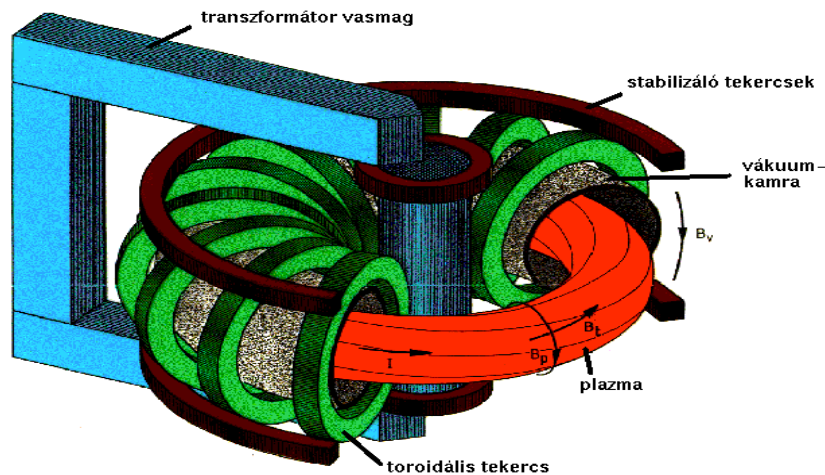


Mágneses, lézeres plazmaméretek és a fúzió

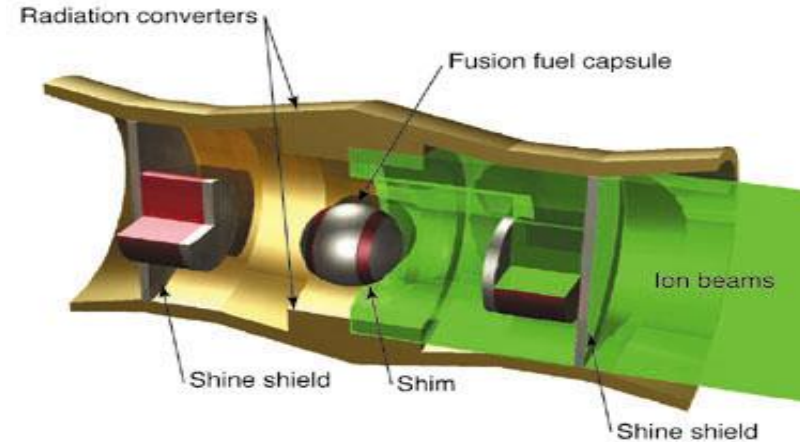
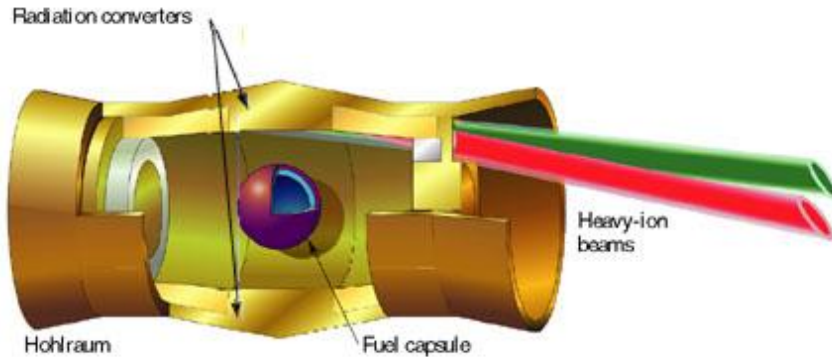
- A Tokamak alapvető részei: tórusz alakú vákuumkamra, toroidális tekercs, transzformátor és további kiegészítő tekercsek.

Nagy plazmaméret: 01-10 m.

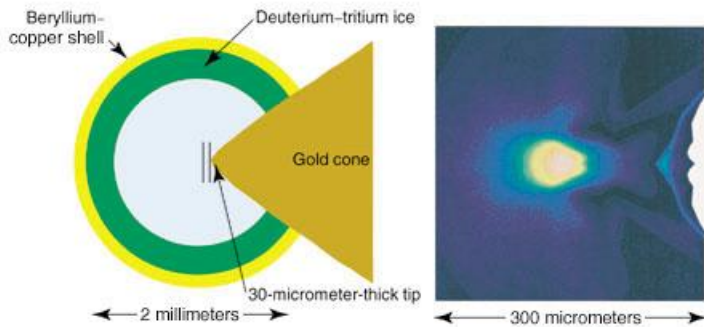
- Több szimmetrikus kisenergiás lézer lökéshullámai a **2 mm** Ø gömb T+D keverék (20 K°) sűrűségét össze-nyomja (**100x-os**) **néhány mikronra**. Egy erős lézer gyújt: **Belövés** → **kompresszió** → **gyújtás** → **fúzió**



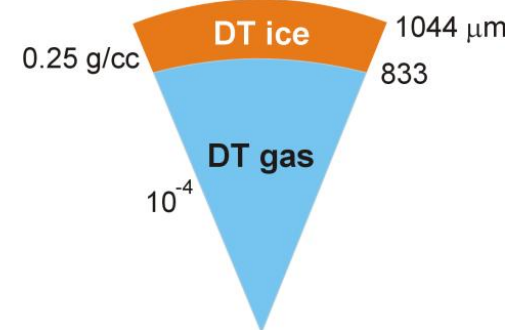
Kapszula (hohlraum) és a DT gömb a gyújtáshoz



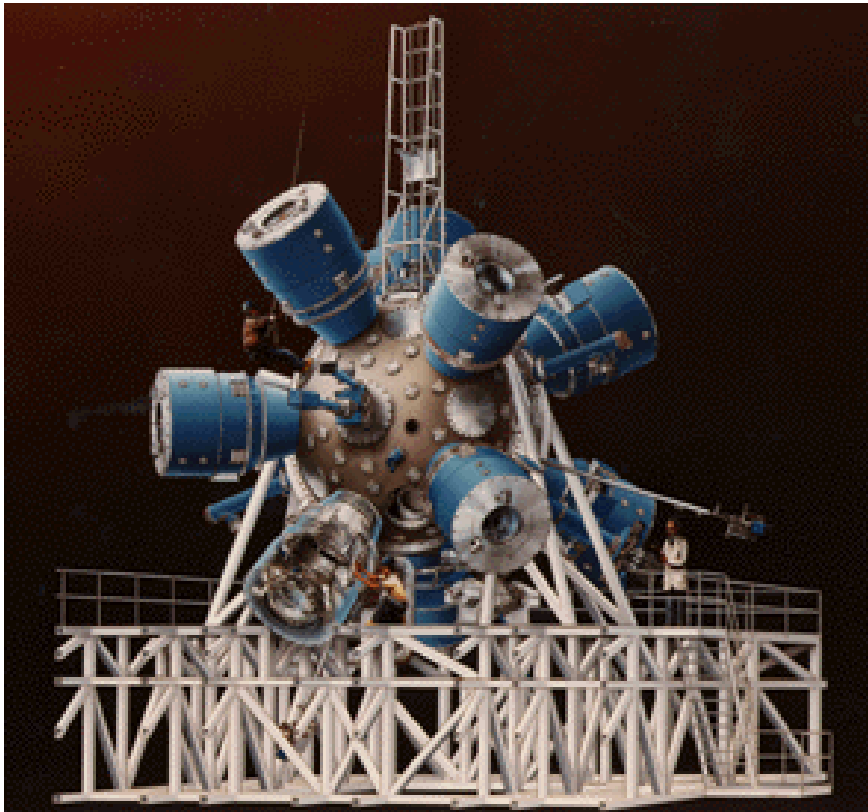
Indirekt gyújtás, kapszulafűtés több millió hőfokra, ion és nehézion nyalábbal. Probléma a kis hatásfok.



Direkt fúzió: Fókuszált lézer gyújtja a reakciót.
Gyors direkt fúzió: Az összenyomás kis E.-és lézerekkel történik.



National Ignition Facility - Lézeres gyújtás, (a göböcske kapszulában)



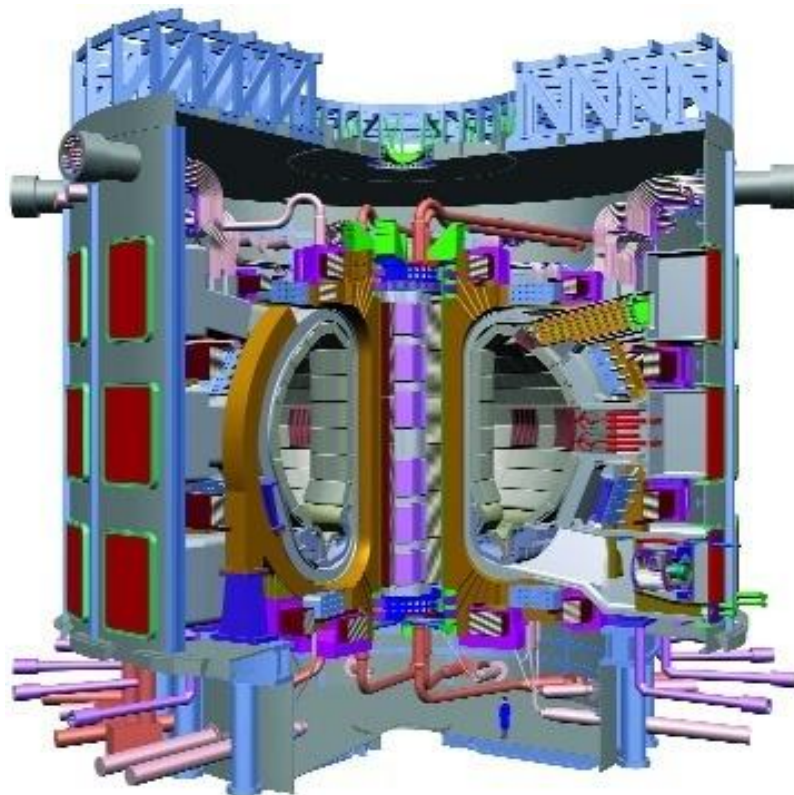
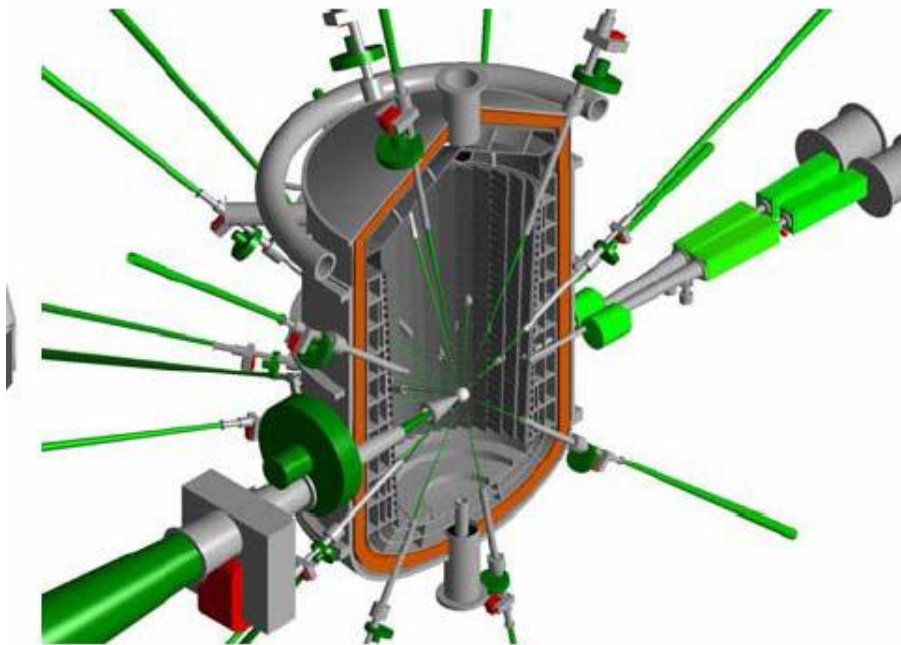
**Nova lézer target-kamra \emptyset :
4,5 m, 10 lézer nyaláb**

Cél: 500 TW energia koncentráció pár ps alatt



**NIF target-kamra
 \emptyset :10 m, 192 lézer nyaláb**

Lézer (inerciális) és mágnes bezárásos reaktormodulok



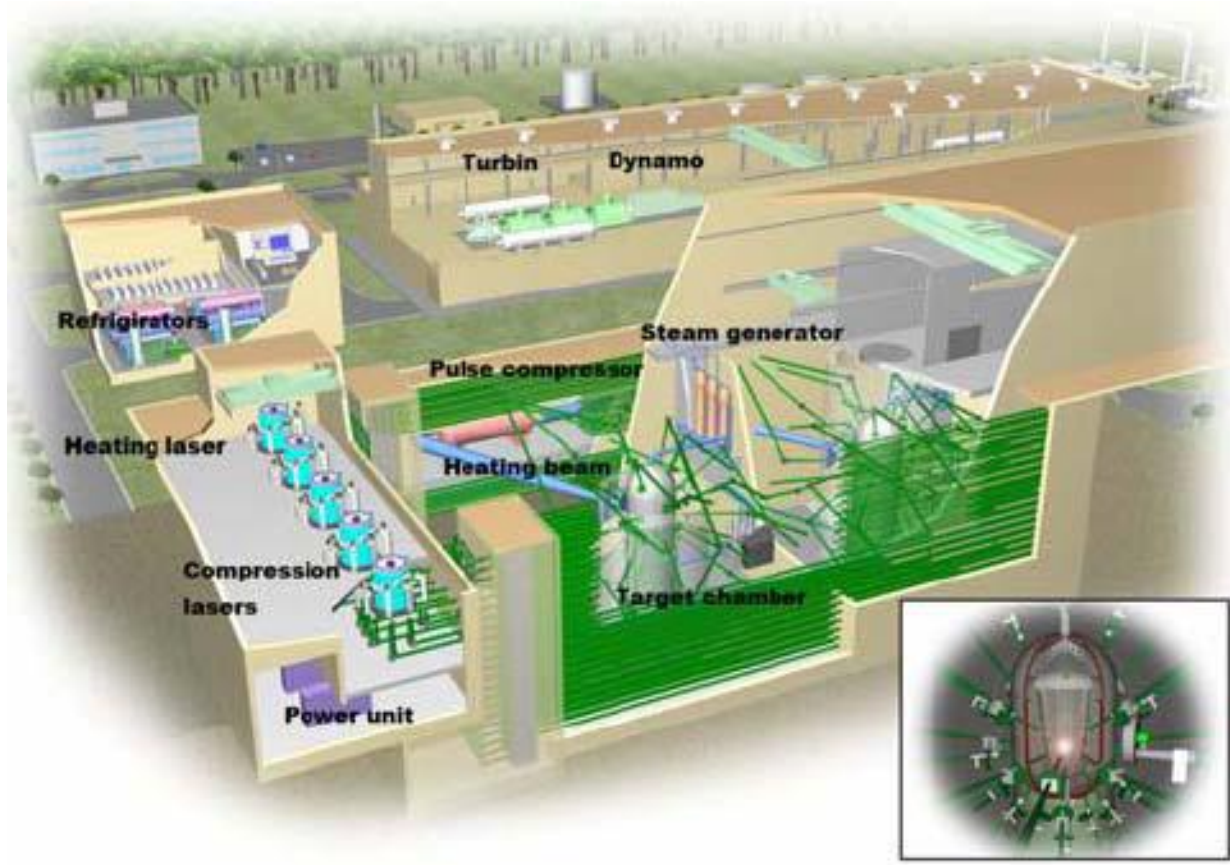
A KOYO-F lézerrel hajtott erőmű gyorsgyújtású reaktormodul keresztmetszeti nézete. 32 összenyomó lézernyaláb, egy gyújtólézer és két target belövő vezeték. A TD gömb (középen) 150×-s nagyítású.

Tokamak fejlesztés 30 év ~10 Mrd €. ITER 2005, világ legnagyobb mágneses fúziós berendezése (Cadarache Fr. O.). 500 MW energiát állít elő 10 percig. 4.7 Mrd € kerül. 20 évi üzem ktg. ~ 5 Mrd \$.

www.iter.org

<http://fusionforenergy.europa.eu/>

Japán KOYO-F gyors fúziós-erőmű látképe, főbb adatai, bal alsó sarokban a reaktor.



Erőmű net teljesítm.	4×300 MW
32 léz. Öny. 1köt. Gyújt.	1,1 MJ 0,1 MJ
Fúzió E/imp	200 MJ
Reaktor ism	4 Hz
Lézer ism	16 Hz
Burok E.×	1,2
W_{el}/W_{th} hf.	41,5 %
Recirk. E	240MW
Gekko XII 2001 gyf.	Japán- Brit kcs

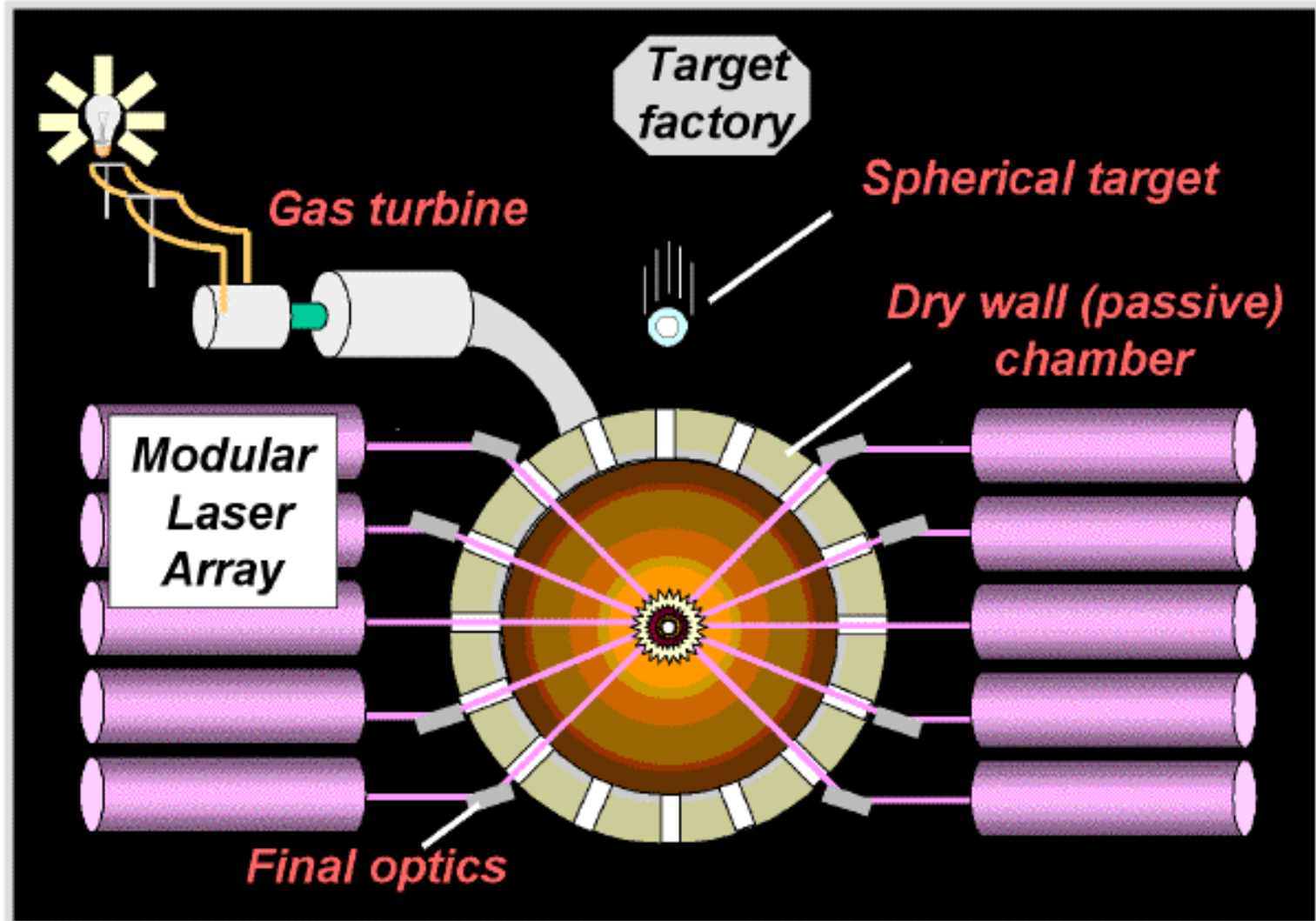
A 2007-ben indult EU: HiPER gyorsfúziós berendezés látképe és alapadatai.



- UK. Rutherford
Appleton Labor.
- Konstruktív fázis: 2011/12.
 - Kamra \varnothing : 10 m.
 - 40 db össze-nyomó lézer 200 kJ.
 - Gyűjtő lézer 70 kJ.
 - Sűrűség igény: 300-400 g/cm³.

High Average Power Laser Program (HAPL) USA.

(8 labor, 4 egyetem, 6 vállalat)



A HAPL program folyamatának és fázisainak leírása

Indult 2001-ben, a kritikus részek (targetgyártás, belövés, optika és fúziós kamra) kutatás-fejlesztésével.

- I. fázis. Komponensek egységekké fejlesztése (2006).
- II. fázis. A működésképeség demonstrálása, erőmű üzemelési körülmények között (2006-2012).

2012. 03.15: NIF: > 1,8 MJ!!! 1,875 MJ (1/23 ns)

2013. 09.28: pozitív energia mérleg! (1.9 x)

- III. fázis. Folyamatos termonukleáris égést produkáló eszköz tesztje. 300 μm \emptyset , 1000 gcm^{-3} 20 °K labdacs. Fúzió $\sim 10 \text{ M}^\circ\text{C}$.
2020. év.

- Alapadatok: 1750 MW, 5 Hz; Kamra \emptyset : 11 m; a belső falvastagság: 3,5 mm; Belépő folyékony lítium: 405 C°, a kilépő hőmérséklet: 575 C°. Az áramlási sebesség: külső 3,7 m/s; belső: 0,15 m/s. A wolframburkolat maximális hőmérséklete <2400 C° lehet.

•A fúziós erőmű T és D üzemanyag igénye

1 GW teljesítményű erőmű által 1 év alatt termelt energia.

$$E_1 = 10^9 \times 365 \times 86400 \text{ s} = 3,15 \times 10^{16} \text{ J}$$

Egy molekula DT fúziójánál 17,6 MeV energia keletkezik, ami = $17,6 \times 10^6 \times 1,6 \times 10^{-19} = 2,8 \times 10^{-12} \text{ J}$. 1 mol (6×10^{23} db).

$$E_2 = 2,8 \times 10^{-12} \times 6 \times 10^{23} = 1,68 \times 10^{12} \text{ J}.$$

$$E_1/E_2 \approx 2 \cdot 10^4 \text{ mol} \approx 40 \text{ kg D és } 60 \text{ kg T}.$$

Az USA-ban 1955-1996 között 226 kg tríciumot termeltek. Egy 600 MW erőmű primer hűtőköri lítiumból 16,9 kg T/év termelhető (önköltségi ár: 4 500 000 \$/kg). A 60 kg T ára: 270 millió dollár, ez 1 kWó áram költségében ~ 3 cent ~ 6 Ft (Paks ~12 Ft/kWó).

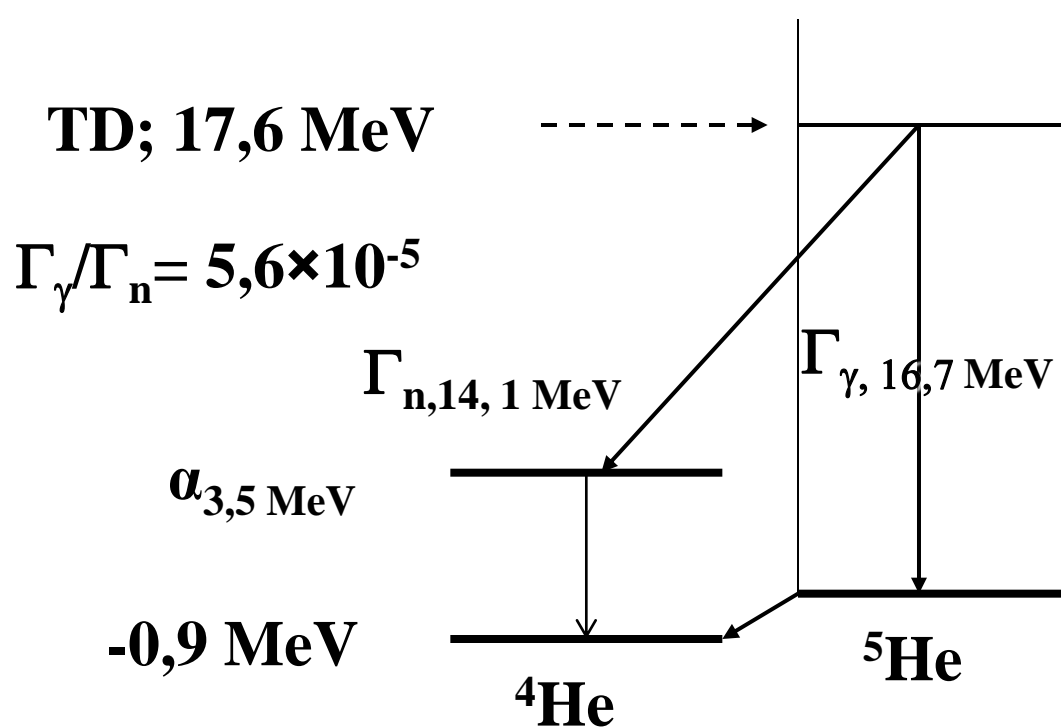
A deutérium vízben: 1/6000, korlátlan mennyiségben áll rendelkezésre, költsége a tríciumhoz képest minimális.

A fúzió másodlagos folyamatai

${}^3\text{H}({}^2\text{H}, n\gamma){}^4\text{He}$ reakció sémája

(Veres Árpád, Sugárvédelem III. évf. (2010) 1. szám 1-11:

http://www.sugarvedelem.hu/sugarvedelem/docs/V3i1/Ver_V3_I1.pdf)



- Az 1000 MW energiát 3×10^{20} fúzió/s állítja elő. A fúziót kísérő n és γ hozambecslések:
- Neutron: $\sim 3 \times 10^{20}$ n/s.
- γ^* : $3 \times 10^{20} \times 5,6 \times 10^{-5} \sim 1,7 \times 10^{16}$ γ /s.
- A Li, C, stb. hűtőközeg (n, γ), $E_{kin} + E_{köt} > 10$ MeV γ^{**} : $\sim 3 \times 10^{16}$ γ /s.
- Össz- γ : $\sim 4,7 \times 10^{16}$ γ /s.
- A 10 MeV feletti γ -k a védőközegben (γ, n)-el foto-neutront keltenek.
- Foto-neutron hozam: 10^{12} n/s.