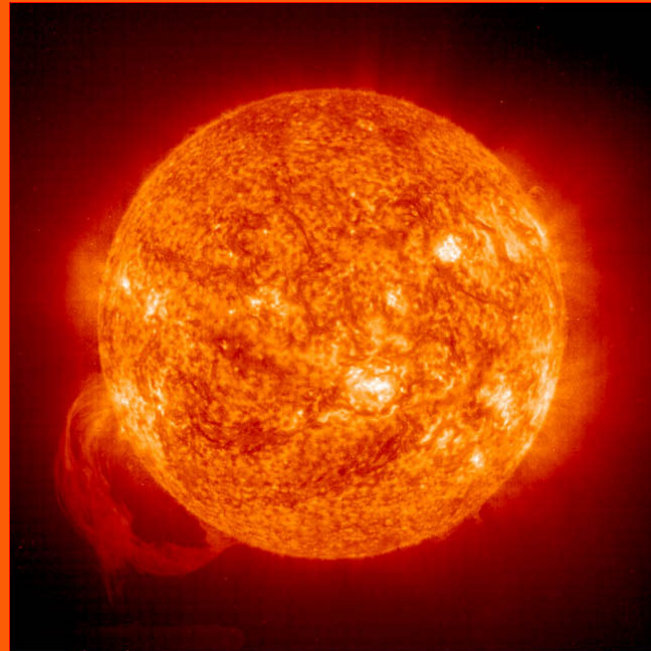


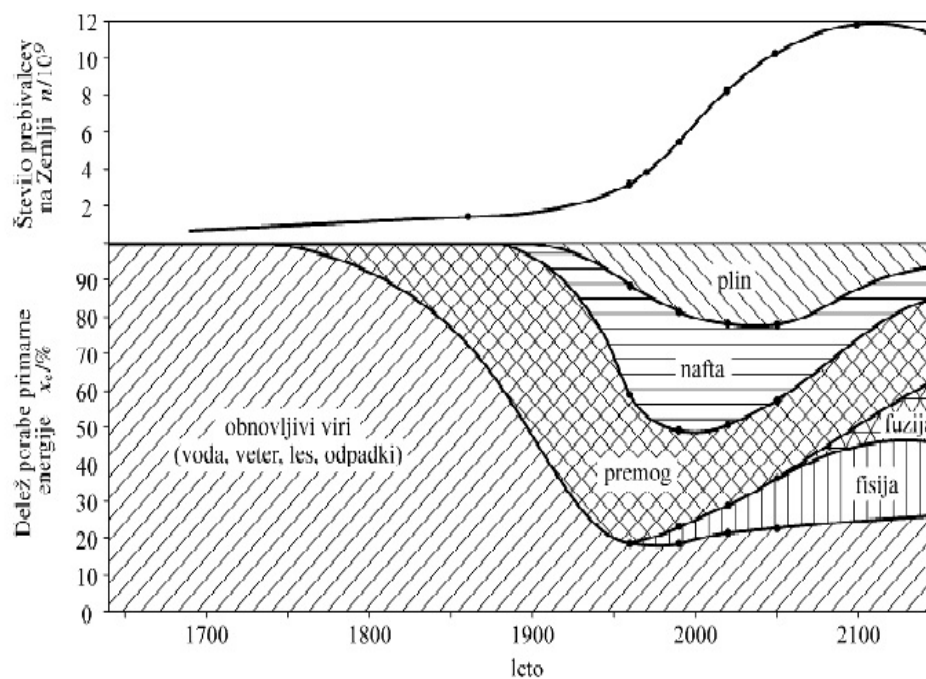
# FUZIJA

Seminar pri predmetu Jedrska tehnika  
in energetika



Lino Šalamon

# Število prebivalcev in potrebe po energiji



Slika 1: Projekcija naraščanja prebivalstva in porabe primarne energije  
Figure 1: Projection of world population growth and of use of primary energy

# SPLOŠNO O FUZIJI

Fuzija je zlivanje šibkeje vezanih lahkih jeder v močnejše vezana težja jedra, pri tem se sprosti energija.

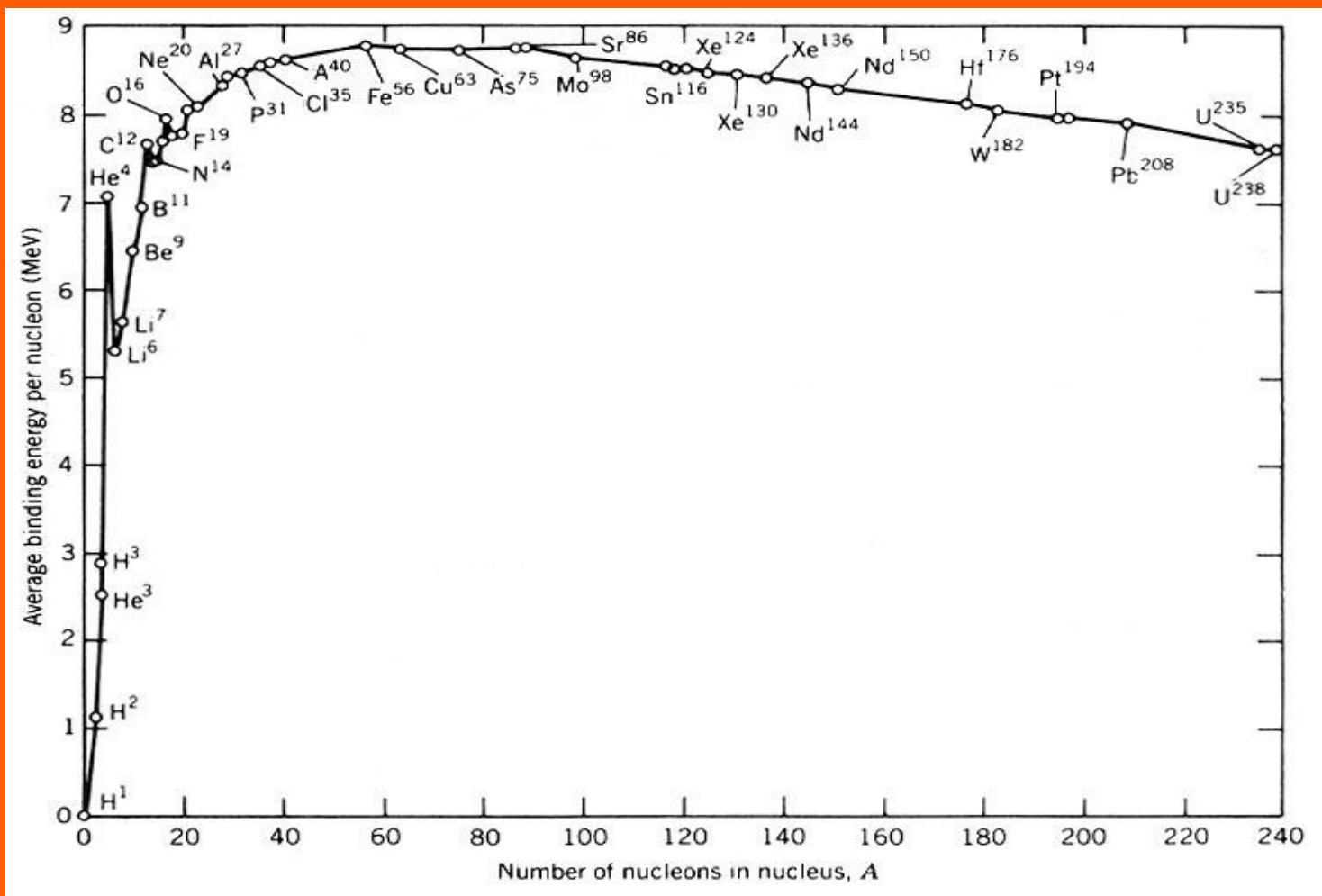
masni defekt

$$\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m_z$$

vezalna energija jedra

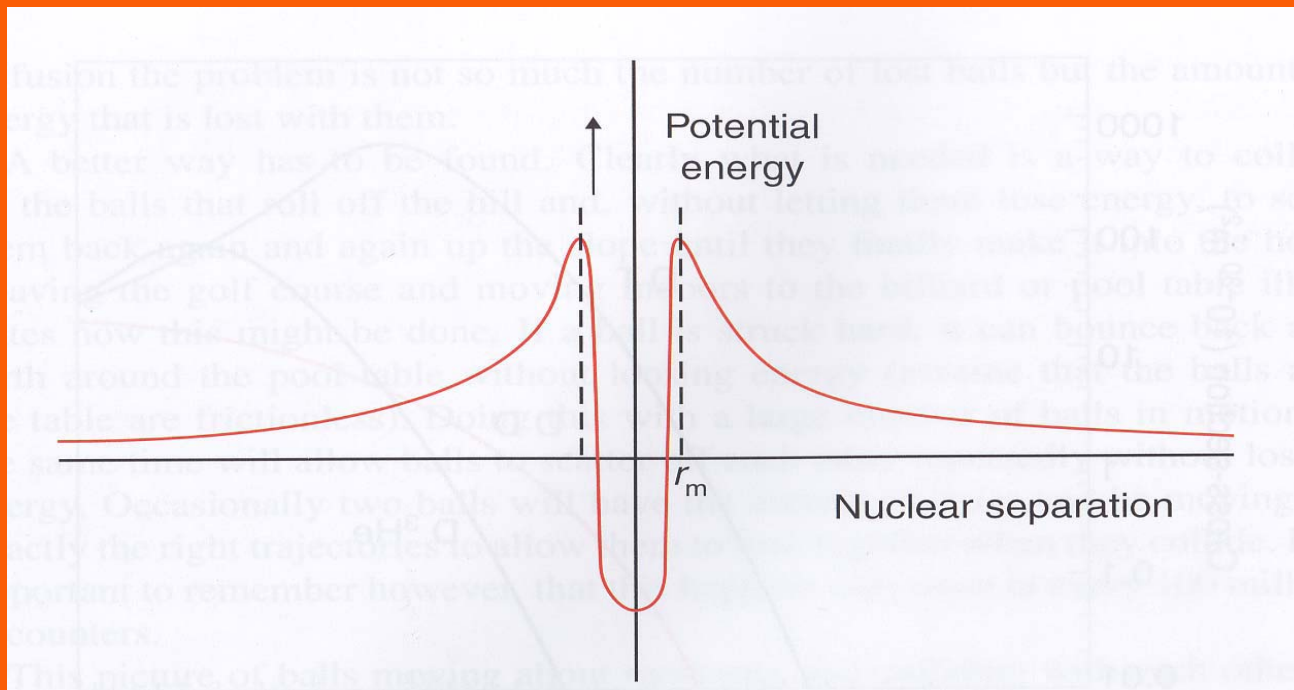
$$E_v = \Delta mc^2$$

# Odvisnost vezalne energije na nukleon od števila nukleonov v jedru

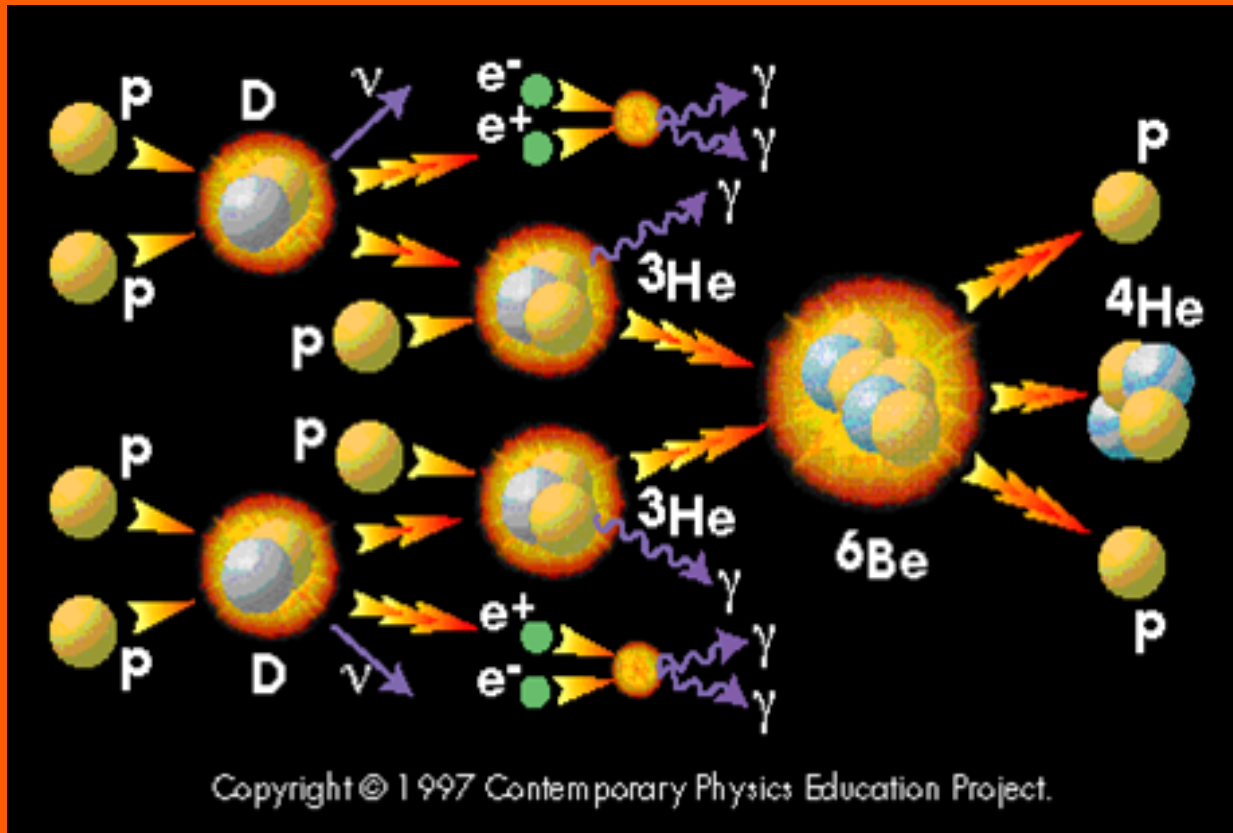


# Pogoji za zlivanje jeder:

- zelo velika temperatura
- velika gostota
- stisnjena in vroča jedra morajo biti dovolj dolgo v tem stanju, da se začne spajanje jeder in da se to tudi obdrži



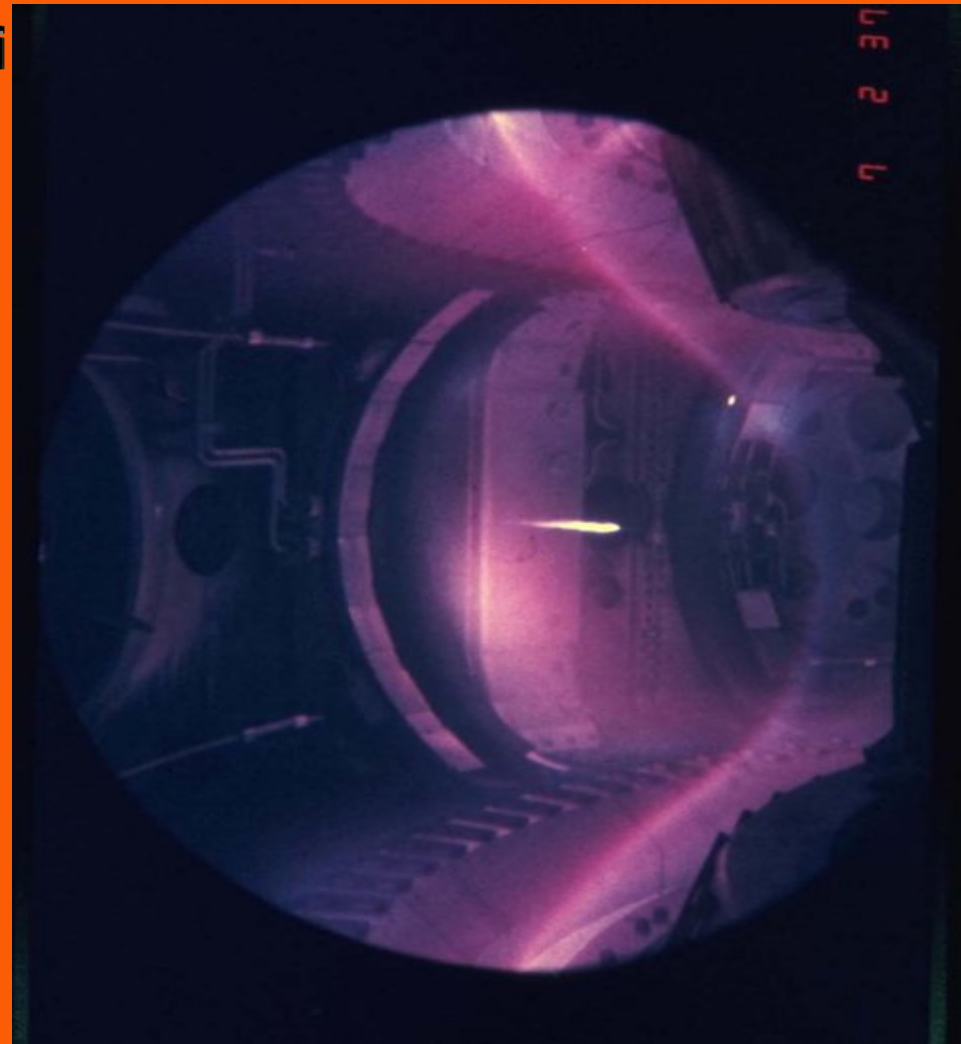
# Fuzija v Soncu



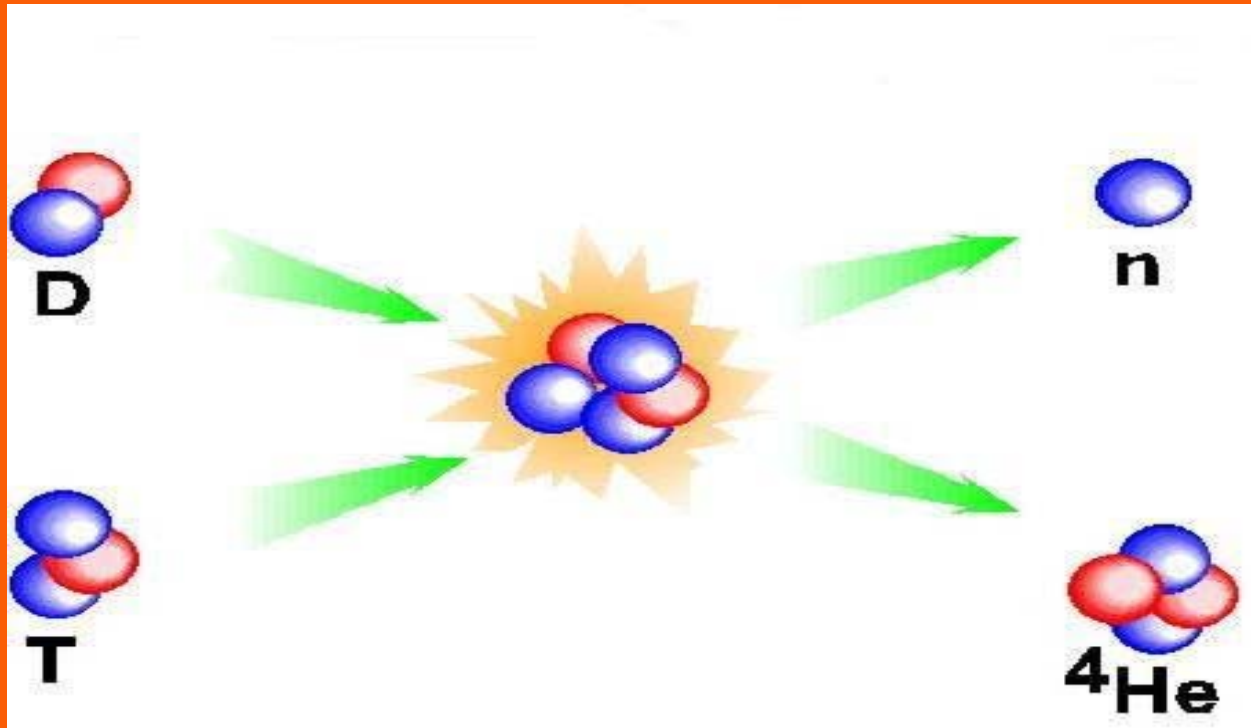
pri temperaturi okrog 10 milijonov  $^{\circ}C$  in tlaku  $10^9$  barov

# PLAZMA

- To je stanje, kjer so elektroni popolnoma ločeni od atomskih jeder(ionov)
- Pri temperaturi 10.000 °C je vsaka snov v tej obliki
- Predstavlja 99% vse opazljive snovi v vesolju



# Fuzija na Zemlji



potrebna temperatura 100 milijonov °C



# Omejevanje plazme:

- inercialno ali vztrajnostno



Formiranje plazemske atmosfere

Laserski žarki grejejo površino kroglice iz D in T. Površina kroglice izpareva in nastaja plazemska atmosfera



Kompresija

Plazemska atmosfera, ki se radialno širi, stiska preostali D in T v kroglici.



Vžig

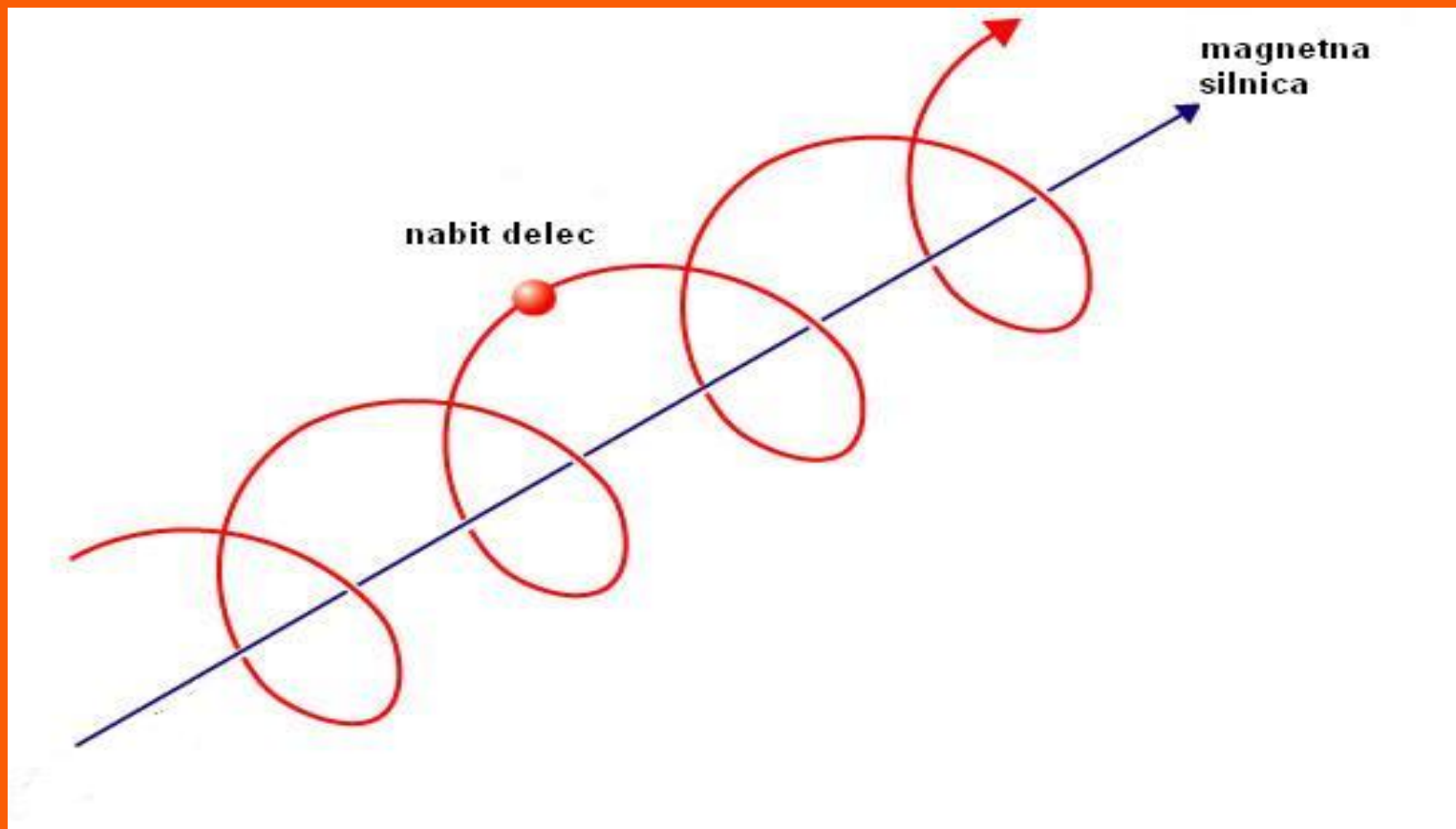
Gostota DT doseže 20 kratno gostoto svinca, temperatura pa zraste 100 mil. K

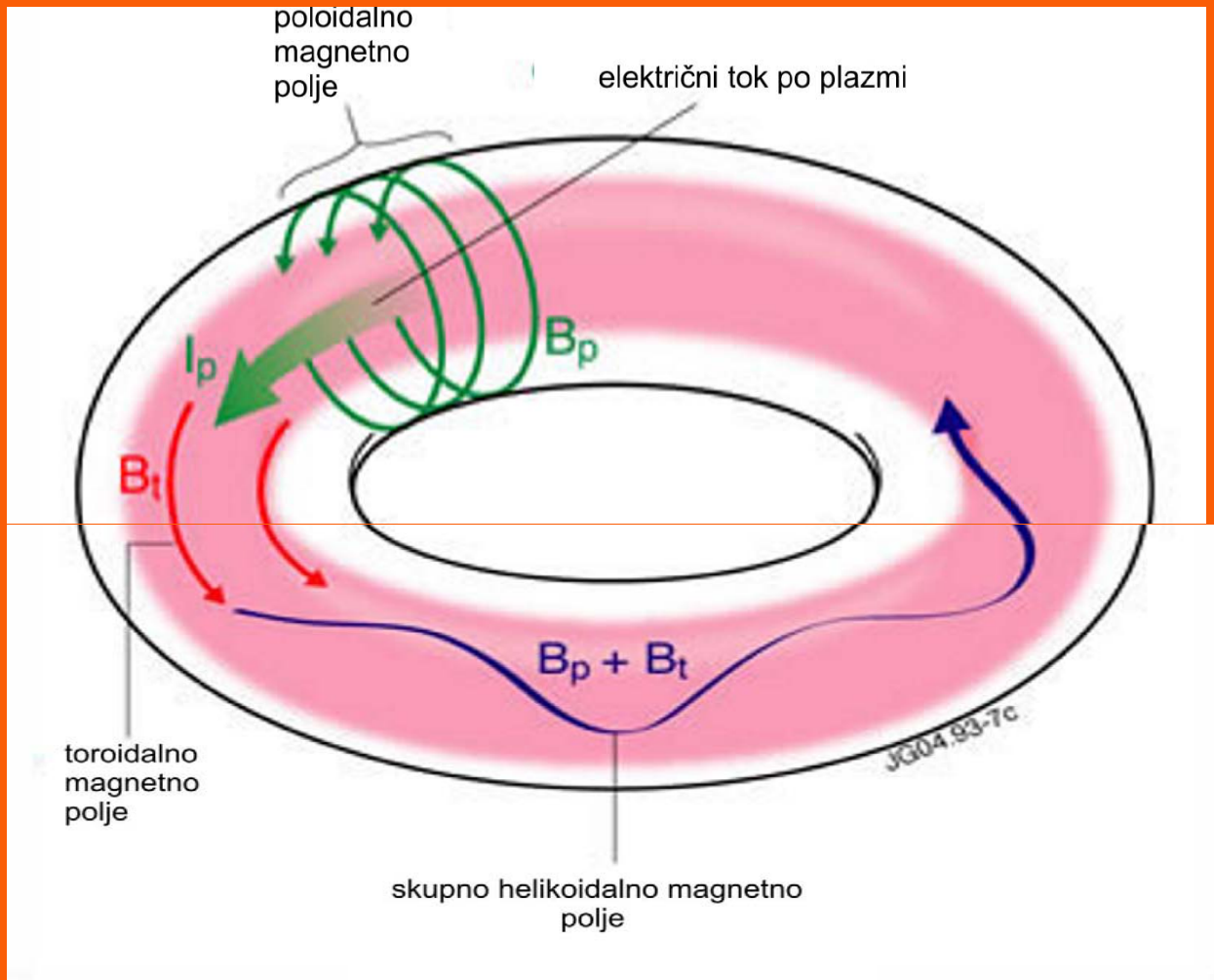


Gorenje

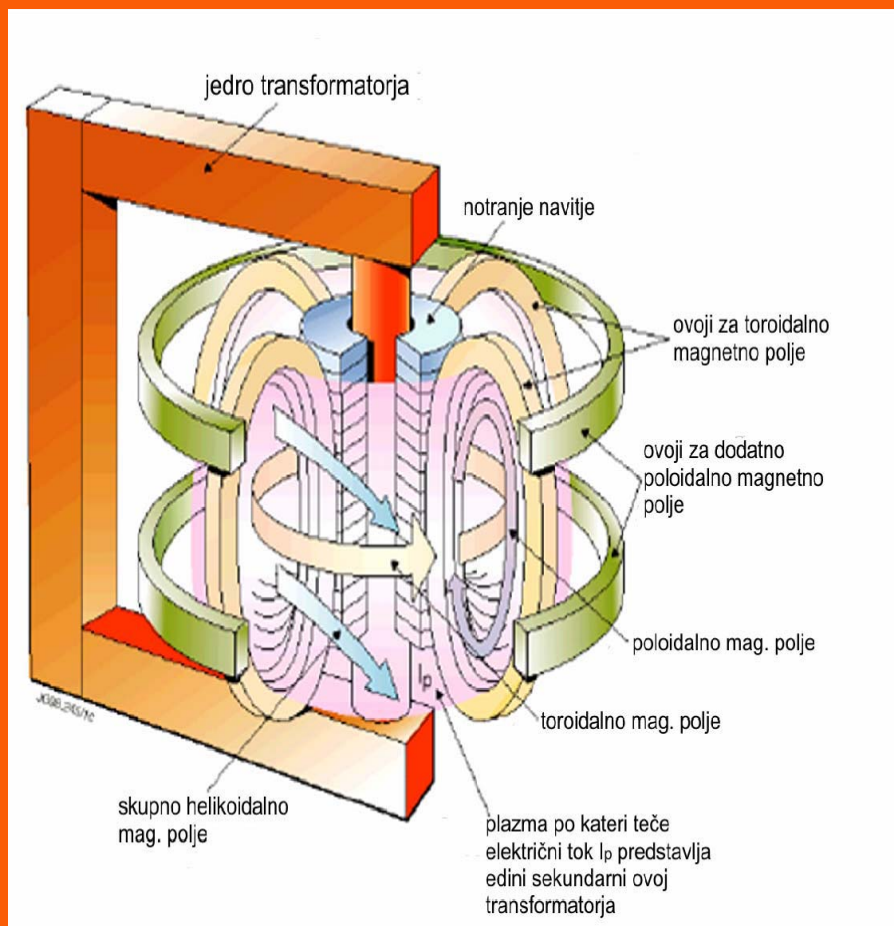
Stisnjeno gorivo eksplodira kot mikrofuzijska bomba

- omejevanje plazme z magnetnim poljem





# TOKAMAK

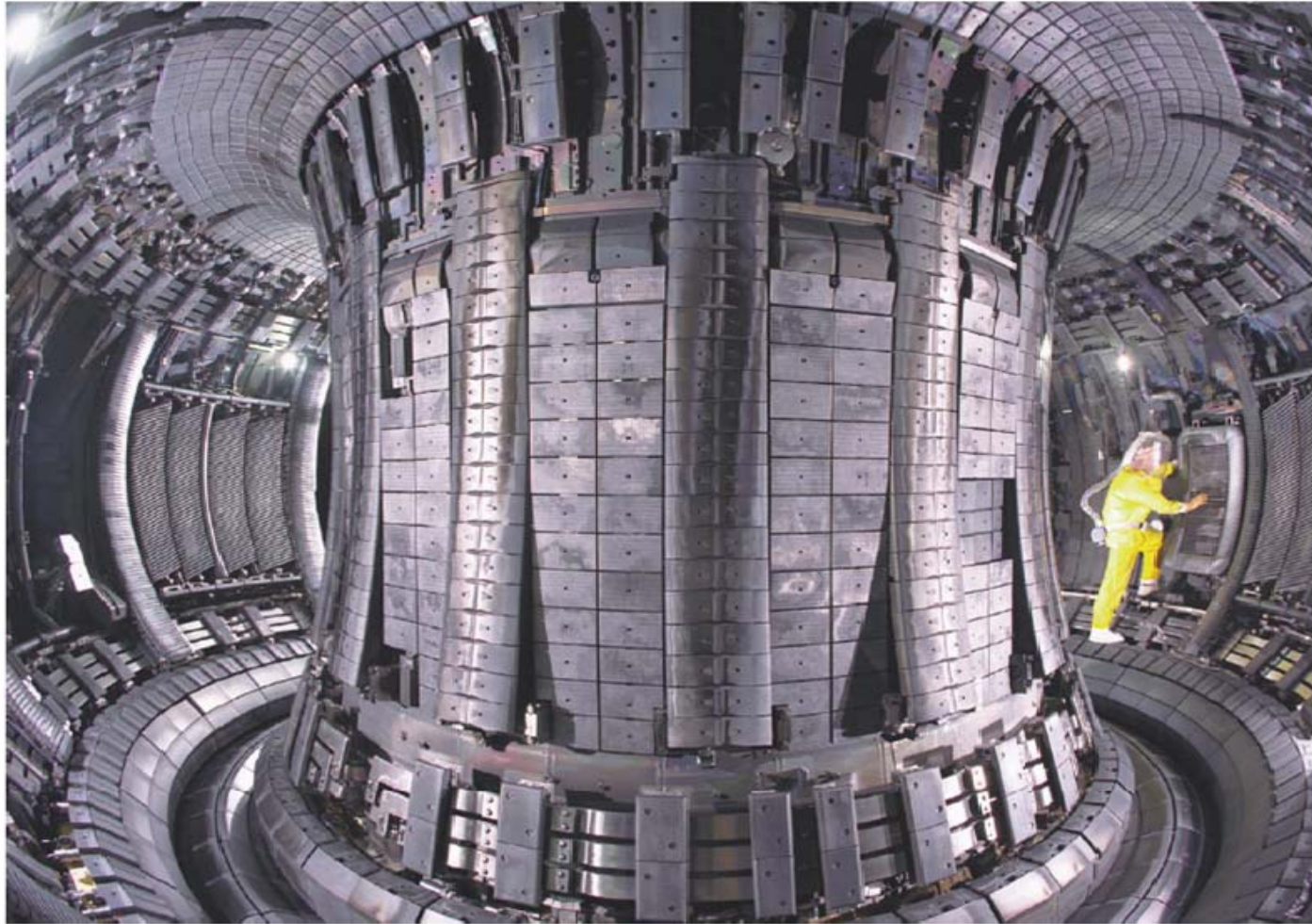


# STELARATOR



## Najpomembnejši tokamaki na svetu

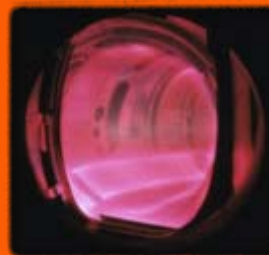
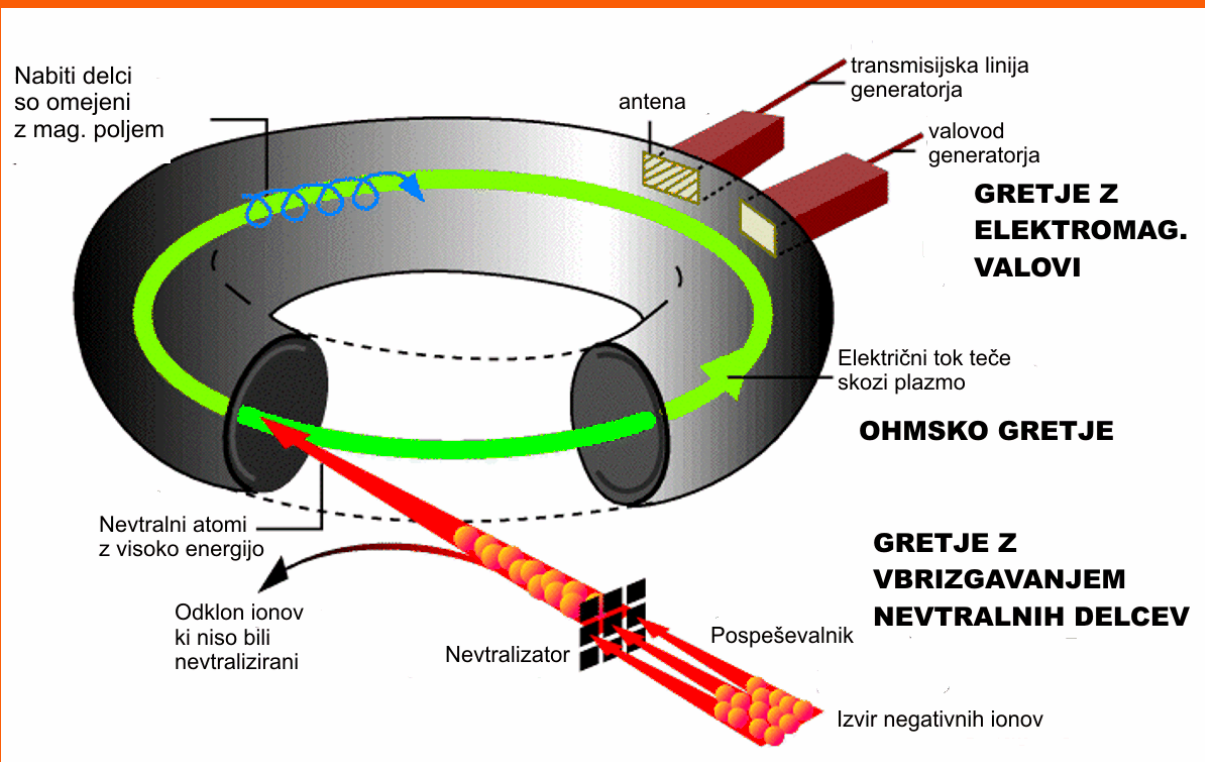
tokamak	Tore Supra Francija	Asdex Upgrade Nemčija	Textor Nemčija	JET EU v Veliki Brit.	TFTR ZDA (zaprt)	DIID ZDA	JT-60U JP
Glavni polmer	2.36 m	1.65 m	1.75 m	2.96 m	2.48 m	1.67 m	3.45 m
Toroidalno polje na glavnem obsegu	4.5 T	4 T	2 T	3.45 T	5.2 T	2.2 T	4.4 T
Tok po plazmi	1.7 MA	1.6 MA	0.65 MA	7 MA	2.5 MA	3.5 MA	5 MA



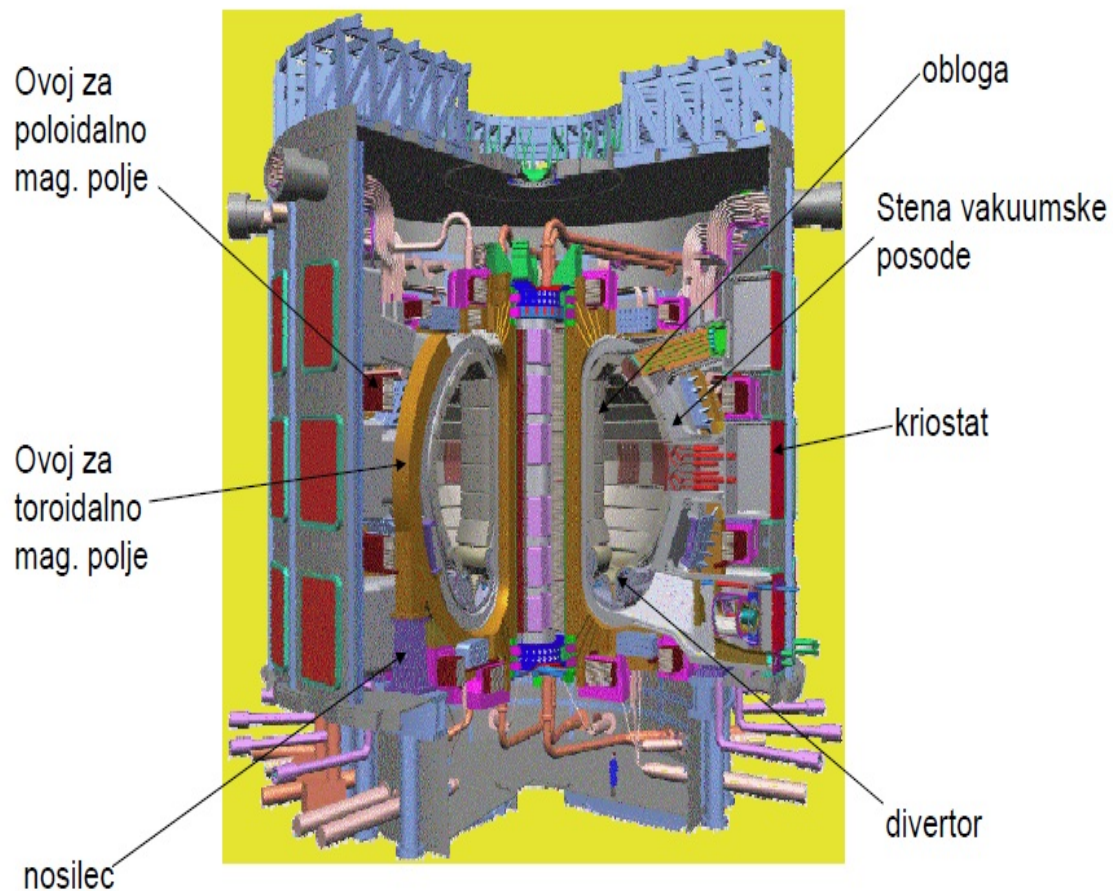
JET Joint Undertaking  
Abingdon, Oxfordshire OX14 3EA

# Segrevanje plazme

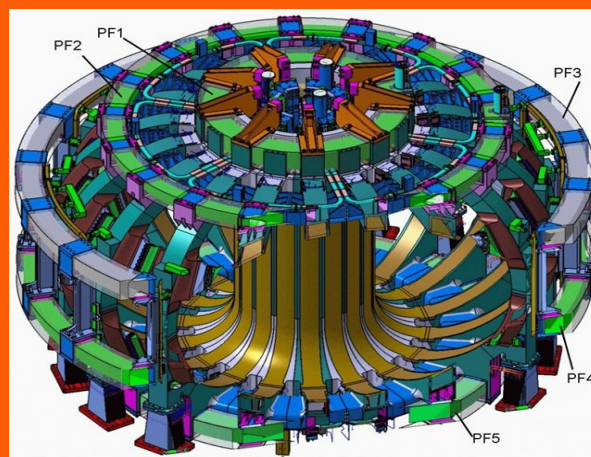
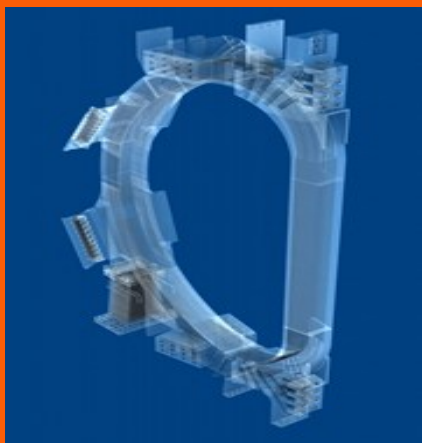
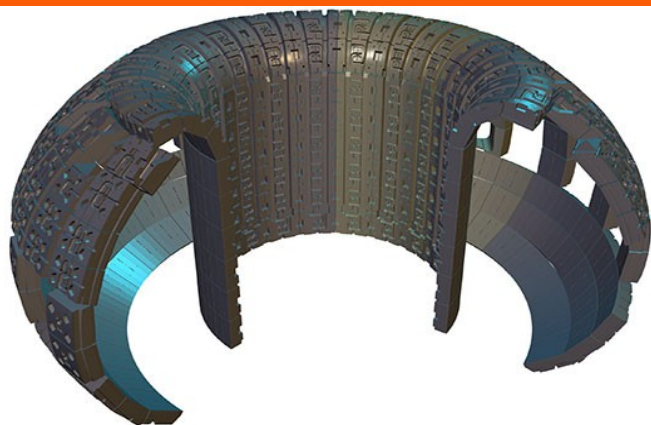
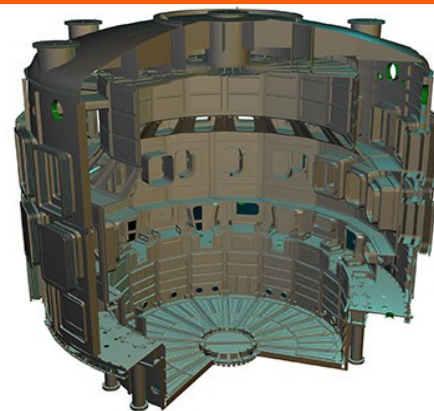
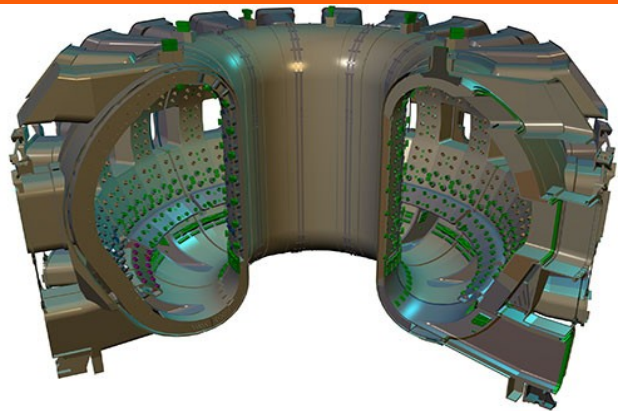
- ohmsko gretje
- gretje z elektromagnetnimi valovi
- gretje z vbrizgavanjem nevtralnih atomov z veliko energijo



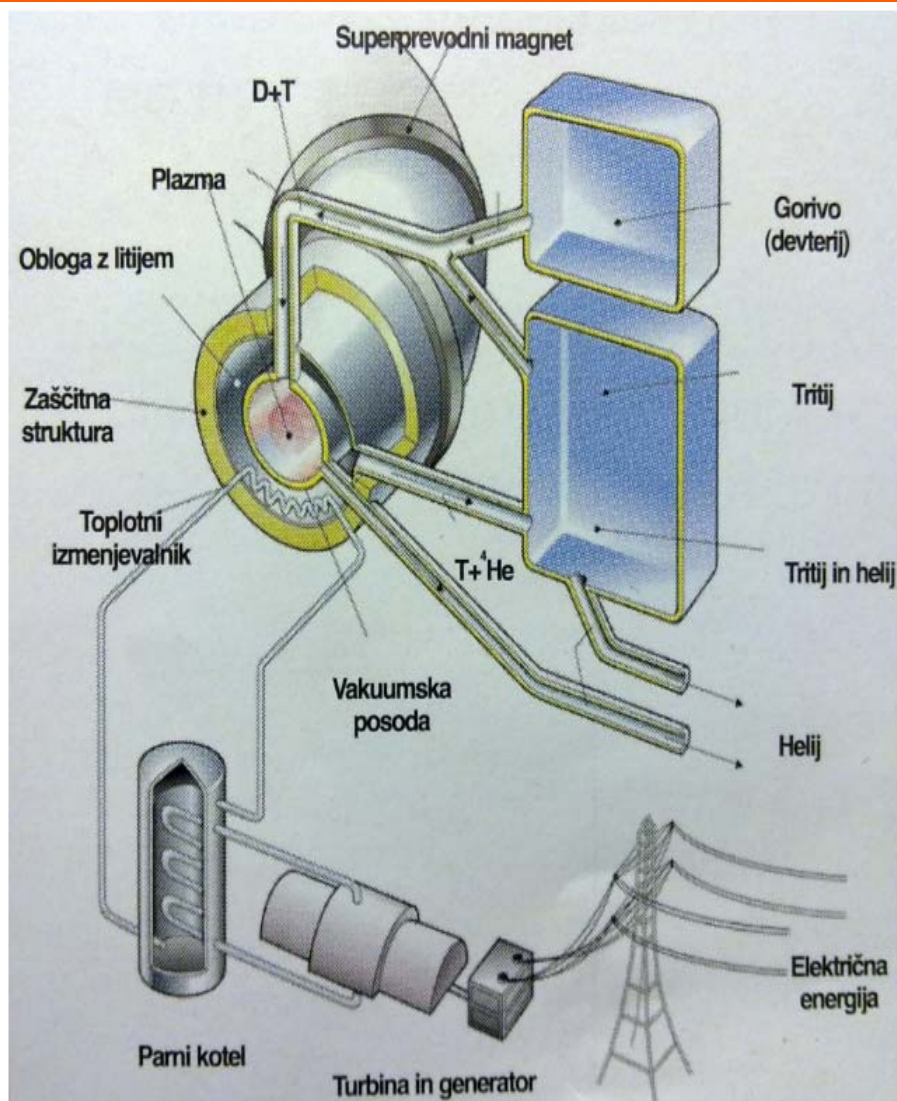
# Osnovni sestavni deli tokamaka







# Delovanje fuzijskega reaktorja



## Izkoristek fuzijskih naprav(Q)

$$Q = \frac{\textit{sproščena moč pri fuziji}}{\textit{vložena moč za gretje plazme}}$$

- JT60U in JET sta že dosegla poravnavo,  $Q=1$
- V prihodnosti bodo vrednosti  $Q$  med 40 in 50

# ITER

- Poskusni fuzijski reaktor v Franciji
- Kapitalski stroški izgradnje 4,6 milijarde €
- Faktor ojačitve  $Q=10$
- Naslednji korak DEMO, ki bo prvi demonstriral pridobivanje elektrike iz fuzijske elektrarne

Nekaj osnovnih parametrov ITER-ja je v naslednji tabeli:

Parameter	Vrednost	Parameter	Vrednost
Mali polmer	2.0 m	Vgrajena moč za grejje plazme	73 MW
Veliki polmer	6.2 m	Trajanje pulza	400 s
Prečni raztezek plazme	1.85	Gostota elektronov	$1.1 \times 10^{20} \text{ m}^{-3}$
Toroidalno mag. polje na glavnem obsegu	5.3 T	Ionska temperatura	8.9 keV
Tok po plazmi	15 MA	Fuzijska moč	500 MW

# ITER 2010



# ITER 2019



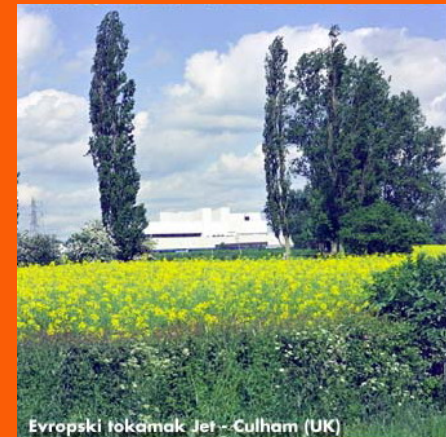
# VARNOST

- V reaktorju je v vsakem trenutku 1g devterija in tritija in v primeru oviranega dotoka se zlivanje jeder ustavi
- Litij, devterij in helij niso radioaktivni
- Tritij je radioaktiven, vendar hitro razpade (razpolovna doba je 12,6 let)
- Varnostni sistemi v reaktorju poskrbijo, da ne pride do izpusta tritija
- V primeru nesreče v elektrarni ne bi bila potrebna evakuacija okoliškega prebivalstva



# VPLIV NA OKOLJE

- Majhna poraba fuzijske elektrarne: elektrarna z el. močjo 1GW bo potrebovala samo 100kg devterija in 3 tone naravnega litija za proizvodnjo 7 milijard kWh el. Energije
- Delovanje brez izpustov toplogrednih plinov in drugih škodljivih snovi
- S skrbno izibro materialov bo dosežen hiter upad aktivnosti, tako da odpadki iz elektrarn ne bodo v breme prihodnjim generacijam





# FUZIJA V Evropi in Sloveniji

