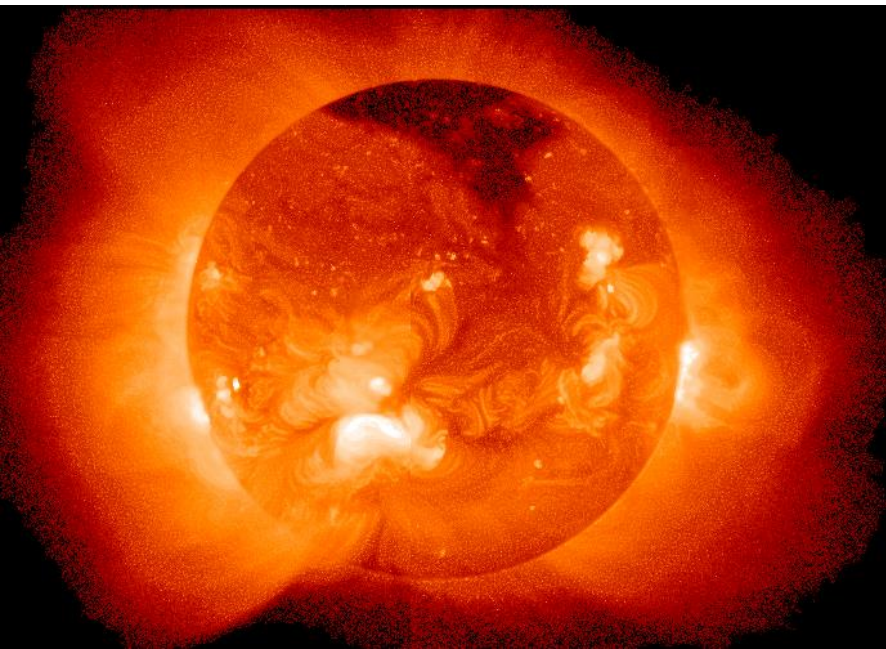
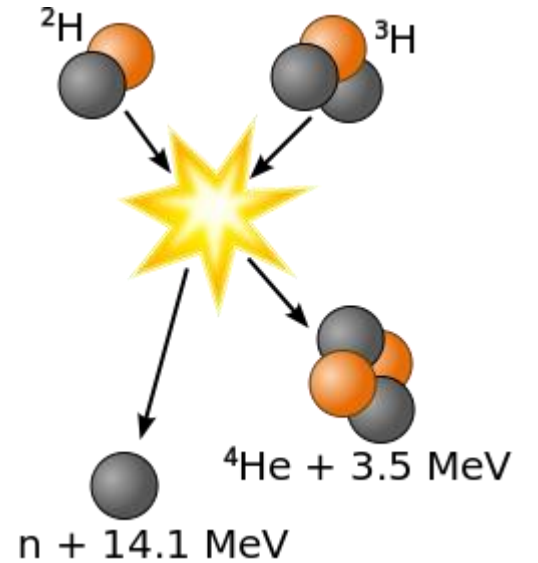
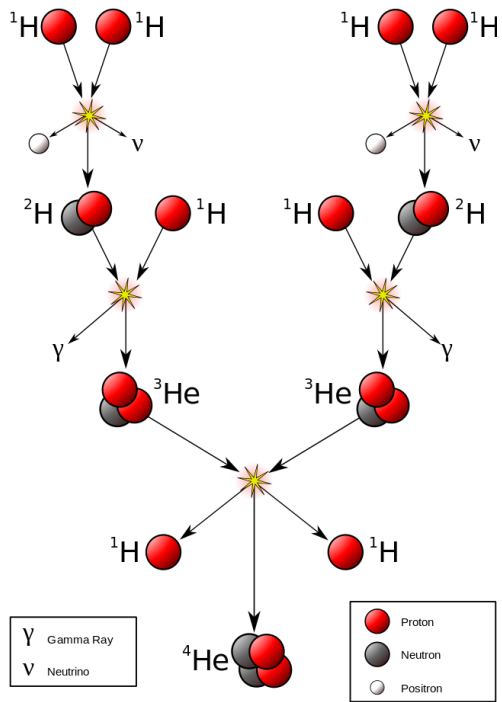


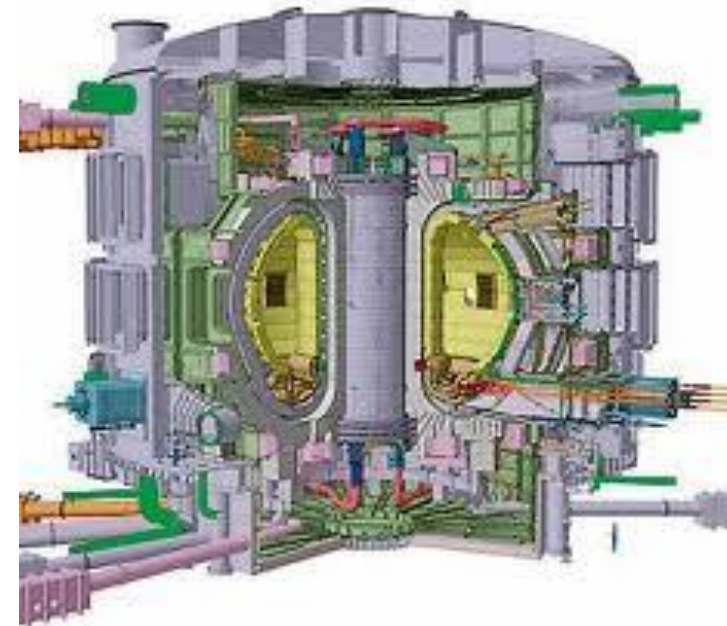
Fuusio-energia



Fuusioreaktori matkii tähtien energiantuotantoa:

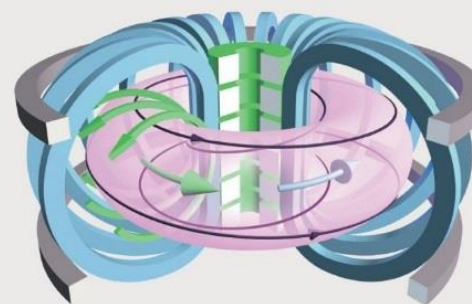
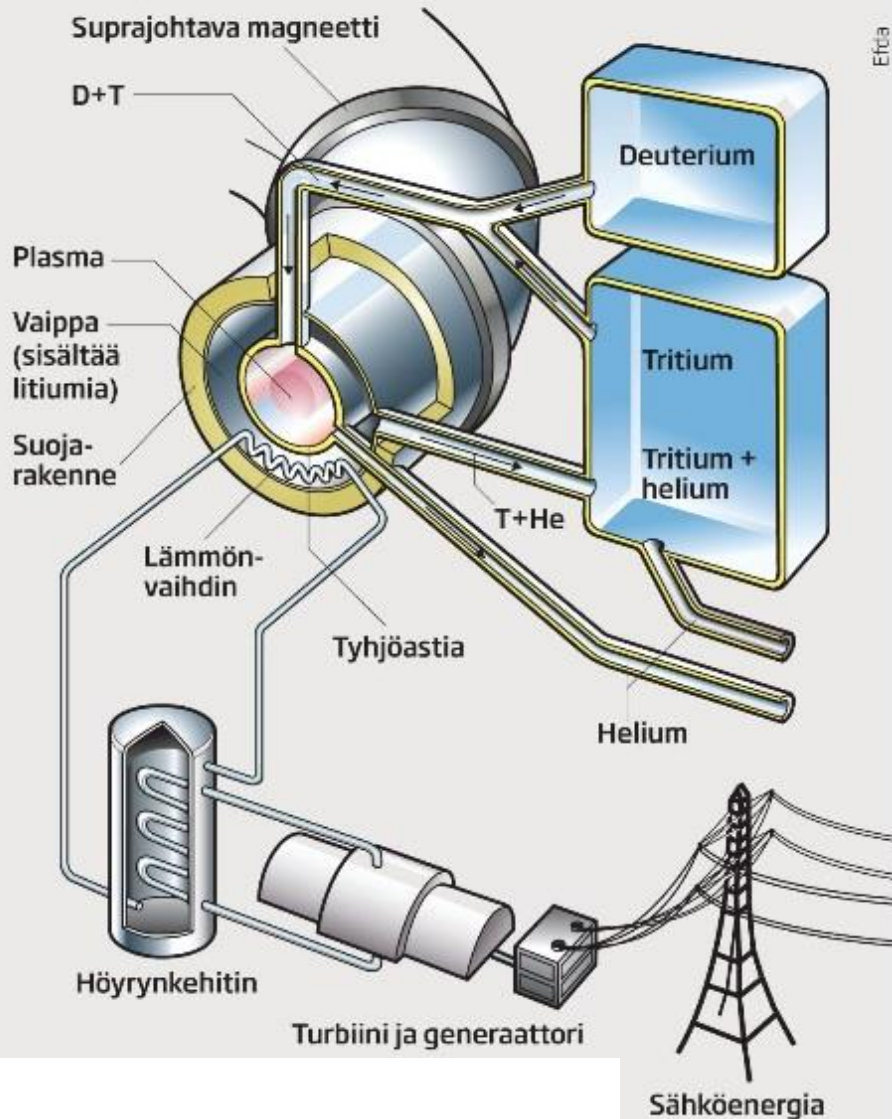
Vedystä heliumia ja energiaa

v. 2050 ?



Fuusiolaitos tuottaa itse tritiumin

- Ensimmäisen polven fuusioreaktori perustuu kahden vedyn isotoopin, deuteriumin ja tritiumin väliseen reaktioon.
- Ei-radioaktiivista deuteriumia esiintyy vedessä runsaasti. Tritiumia on tuotettava reaktorin sisällä litiumista.
- Jokainen fuusioreaktio tuottaa alfa-hiukkasen (heliumytimen) ja suurienergisen neutronin.
- Neutronit karkaavat plasmasta ja hidastuvat ympäröivässä vaipassa. Siellä litiumia muuntuu tritiumiksi, joka kiertää takaisin plasma-kammioon polttoaineena.
- Neutronien hidastumisessa vapautuvalla lämpöenergialla voidaan tuottaa höyryä, joka pyörittää turbiineja sähkön tuottamista varten.



DONITSI. Yleisin fuusiokoelaitte perustuu tokamak-konseptiin. Fuusioreaktorin sydän eli plasma on donitsin muotoisessa tyhjiökammiossa eli toruksessa, jossa se pidetään irti seinistä voimakkaiden magneettikenttien avulla.

■ Fuusioreaktion aikaansaamiseksi plasma on kuumennettava mikroaalloilla tai hiukkassuihkuilla yli 100 miljoonan asteen lämpötilaan.

■ Plasmaa kuumennetaan ja pidetään paikoillaan miljoonien ampeerien sähkövirroilla.

■ Fuusiovoimala tarvitsee vähän polttoainetta: esimerkiksi 7 miljardin kilowattitunnin tuottamiseen riittää 100 kiloa deuteriumia ja kolme tonnia luonnon litiumia. Reaktiotuotteena syntyy heliumia.

■ Magneettikenttien tiheys on useita tesloja, ja tokamak vaatii kymmenien megawattien energian sisäänsyötön toimiakseen.

Etuja ydinvoimalaan (fissiovoimalaan) verrattuna

- Polttoaine:
 - Fissiovoimala: radioaktiivinen uraani ^{235}U , rajallisen varat
 - Fuusiovoimala: meriveden raskas vety eli deuterium ^2H , rajattomasti, kulutus vähäinen
- Saasteet:
 - Fissiovoimala: käytetty polttoaine, muut materiaalit radioaktiivisia jopa kymmeniä tuhansia vuosia
 - Fuusiovoimala: lopputuote vaaraton helium; reaktorin rakenteet muuttuvat radioaktiivisiksi (max 100 v)
- Turvallisuus:
 - Fissiovoimalassa ollut useita onnettomuuksia (Tsernobyli, Fukushima, ...)
 - Fuusiovoimala pysähtyy kun polttoainetta ei syötetä

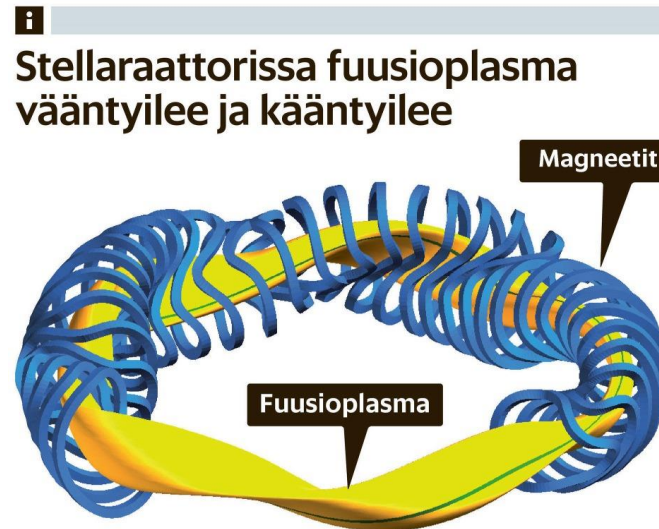
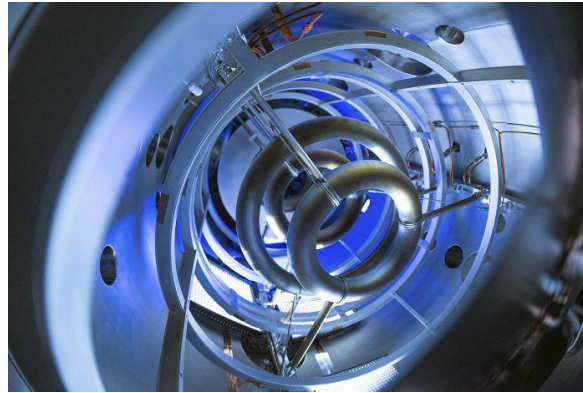
Yhteistä: kumpikin ”keittää vettä”, höyry pyörittää turbiinia, joka pyörittää sähkögeneraattoria

Ongelmia

- Polttoaine pitää aluksi kuumentaa yli 100 miljoona asteen lämpötilaan [plasmaksi](#) , jotta reaktiot tapahtuvat
- Mikään materiaali ei kestä korkeaa lämpötilaa, plasma pidettävä erillään reaktorikammion seinämistä
- Tarvitaan äärimmäisen voimakkaita magneettikenttiä plasman ohjaukseen, ja satojen miljoonien ampeerien virtoja magneettikentän tuottamiseksi

Tilanne nyt

- [Lockheed Martin](#) suunnittelee pienikokoista fuusioreaktoria
 - Onko realistinen?
- Koereaktori rakenteilla [Ranskaan](#) (tokamak)
- Koereaktori rakenteilla [Saksaan](#) (stellaraattori)
- Japani,...ym.



Magneettikenttä luodaan stellaraattorissa ulkopuolisilla magneeteilla. Niitä on Wendelstein 7-X:ssä 70 kappaletta. Magneetit on väännetty monelle

mutkalle, jotta fuusioplasma vääntyyilisi ja kääntyyilisi magneettikentässä halutulla tavalla. Stellaraattorissa plasma on vakaampi kuin tokamakissa.

