



Energiatudományi Kutatóközpont
Fúziós Plazmafizika Laboratórium



Álom vagy valóság?

A fúziós energiatermelés helyzete

Cseh Gábor



1. Hogyan alakult a fúziós energiatermelés ötlete és megvalósítása a 20. század során egészen napjainkig?
2. Mit és miért is szeretnénk elérni tulajdonképpen?
3. Ha már ennyit foglalkozunk vele, miért nincs még áramtermelő fúziós erőmű?
4. Milyen lehetőségeink vannak elérni a fúziót?
5. Miket értek el eddig a most működő berendezések?
6. Milyen berendezéseket építünk és miért?
7. Mi a helyzet a fúziós startupokkal?
8. Hogyan tovább?

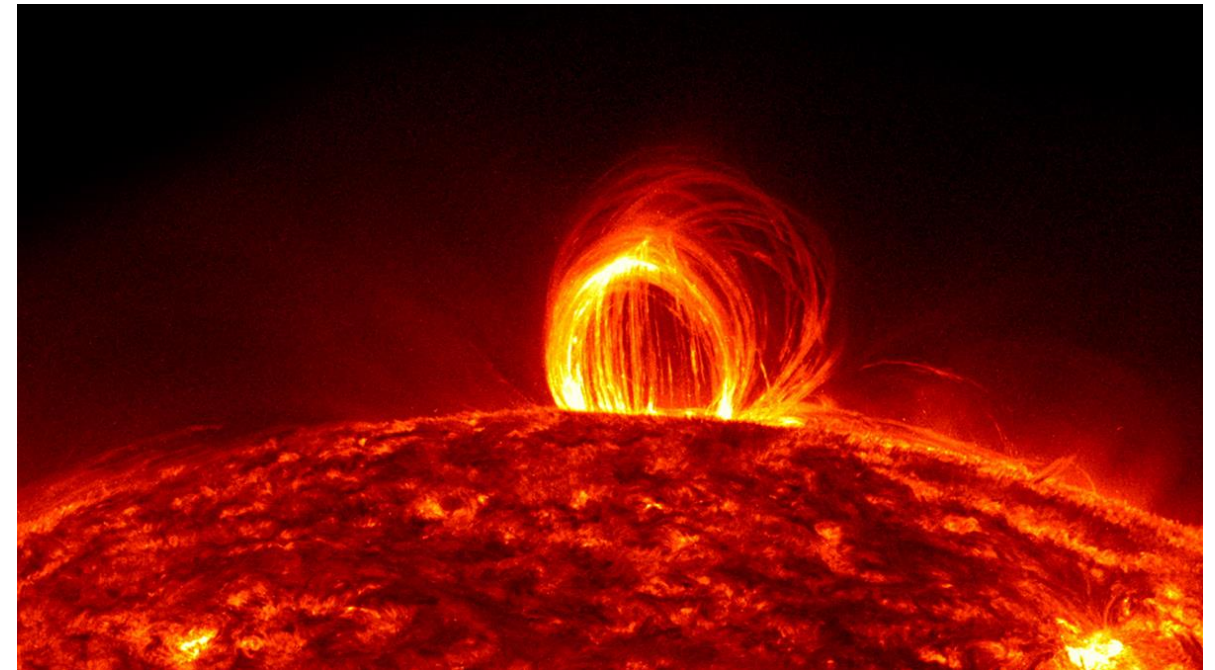
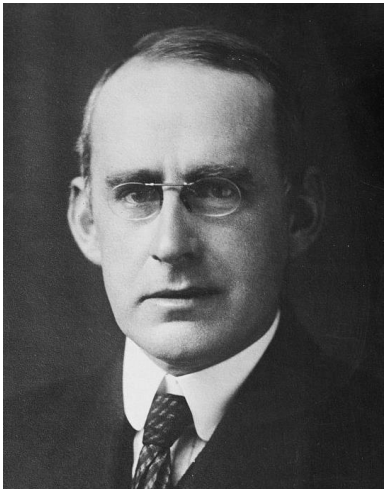


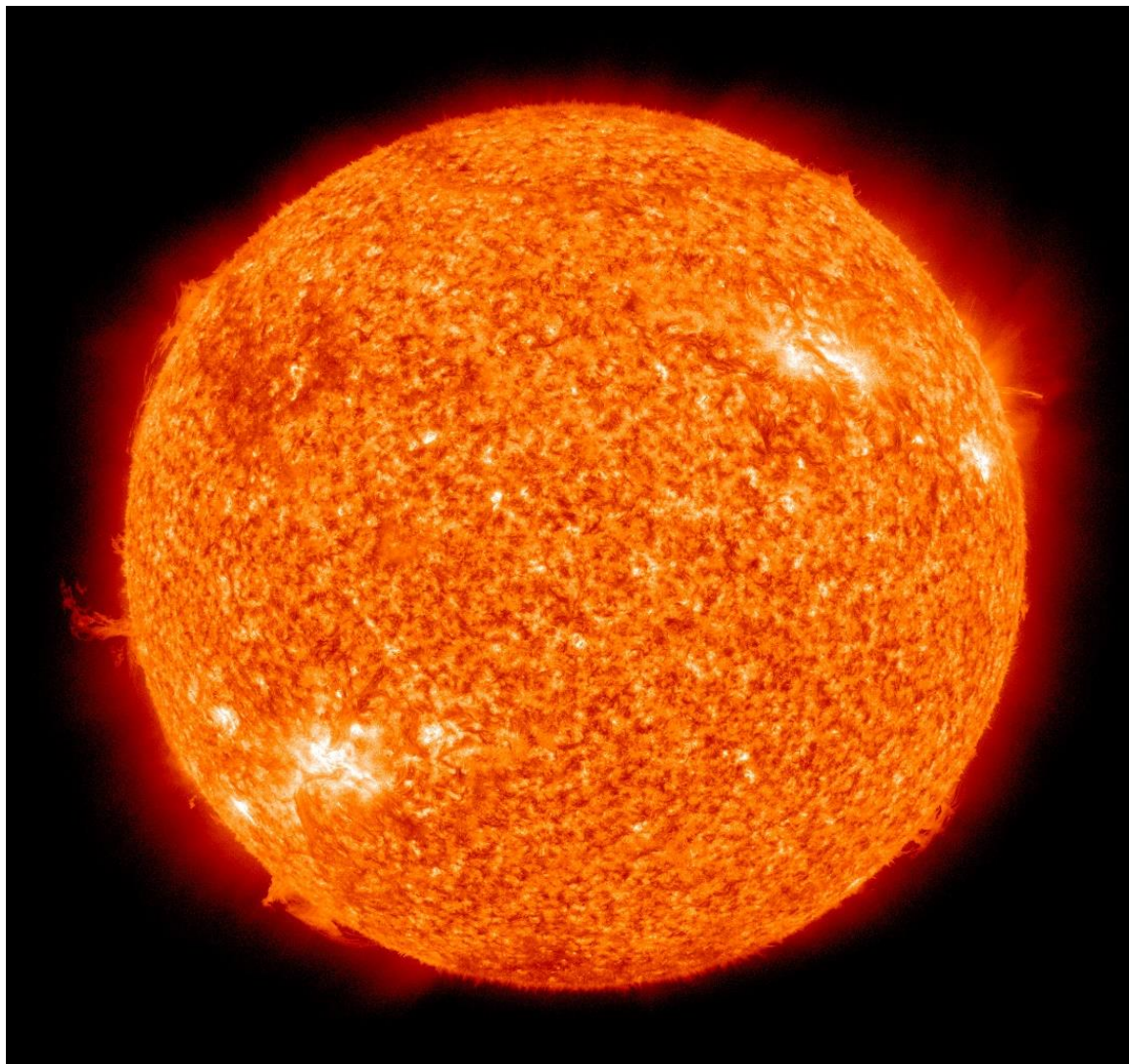
„A star is drawing on some **vast reservoir of energy** by means unknown to us.

This reservoir can scarcely be other than the **subatomic energy** which, it is known exists **abundantly in all matter**;

we sometimes dream that **man will one day learn how to release it and use it for his service...**”

Lord Arthur Stanley Eddington (1920)





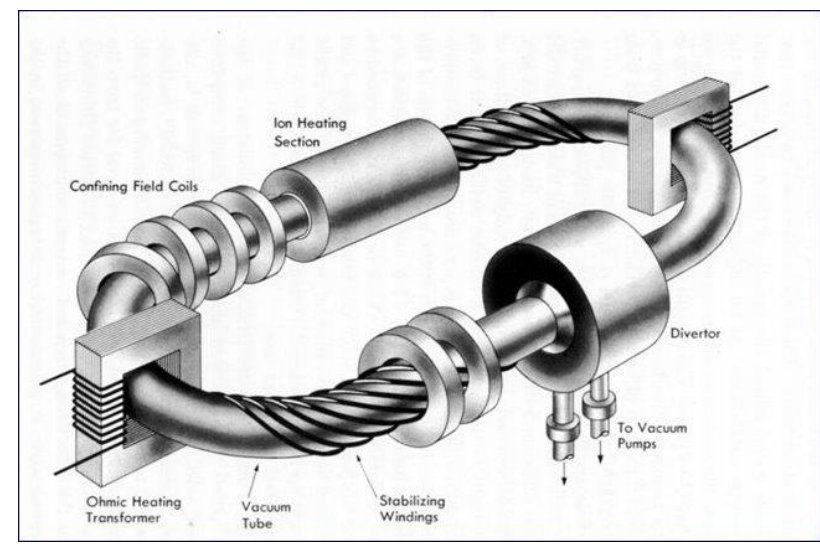
Hozzuk le a Napot a Földre!



- A fúzió elméleti alapjai már az 1940-es években ismertek voltak. Rögtön felmerült az igény a szabályozott magfúzióval történő energiatermelés megvalósítására.
- 1951-ben Lyman Spitzer kitalálja a sztellarátor koncepciót. Eleinte jó eredményeket produkált, de a '70-es években elfordult róla a figyelem.



Lyman Spitzer



Albert Einstein és J. Robert Oppenheimer



- 1952-ben megtörtént az első teljes körű fúziós bomba teszt (Ivy Mike, 1952. november 1.)
- Először titokban kezdtek el kísérletezni mágneses összetartású berendezésekkel, elsősorban az USA-ban, Angliában, Franciaországban, Szovjetunióban. (A Lawson-kritérium még nem ismert, mindenféle konfigurációt kipróbáltak.)
- 1957. március 25. Megalakul az Euratom. Célja az atomenergia békés célú felhasználásának elősegítése, az atomenergia-ipar fejlesztése. A megegyezés része a fúziós kutatások támogatása is.
- 1968-ban a Szovjetunió közzéteszi a tokamak koncepciójuk eredményeit. Hamar felkapták a relatíve egyszerű struktúrája és a jó eredmények miatt. A sztellarátorok a következő évtizedekben kevesebb figyelmet kapnak.
- Rájöttek, hogy egy nemzet önmagában ezt a problémát nem fogja tudni megoldani.



Teller Ede



- 1973. június 21. (Washington Summit)
Nixon-Brezsnyev megállapodás az atomenergia békés célú felhasználásáról és a kutatási eredmények megosztásáról, az atomháborúk megelőzéséről.
- '80-as évek: tokamak nagyberendezések (ASDEX, JET, DIII-D, JT-60, PLT, T-10, TEXT, TEXTOR, TFTR, Tore Supra stb.)
- 1982. ASDEX: a H-mód felfedezése (Friedrich Wagner)
- A sztellarátor koncepció a számítástechnika és az új optimalizálási algoritmusoknak köszönhetően újra előkerül (pl. Wendelstein 7-AS – 1988-2002.).





- 1985. november 19. Geneva Summit; nemzetközi együttműködés a fúzió fejlesztésére, Gorbacsov - Reagan (USA, RU, EU, JP)
- 1986. október 11-12. Reykjavík Summit; az ITER-szándéknyilatkozat
- Jelenlegi tagok: EU (+Svájc és GB), USA, Japán, Oroszország, Dél-Korea, Kína, India.
- Partnerek: Ausztrália, Kanada, Kazahsztán, Thaiföld

„emphasized the potential importance of the work aimed at utilizing controlled thermonuclear **fusion for peaceful purposes** and, in this connection, advocated the widest practicable development of **international cooperation** in obtaining this source of energy, which is **essentially inexhaustible**, for the **benefit of all mankind...**”

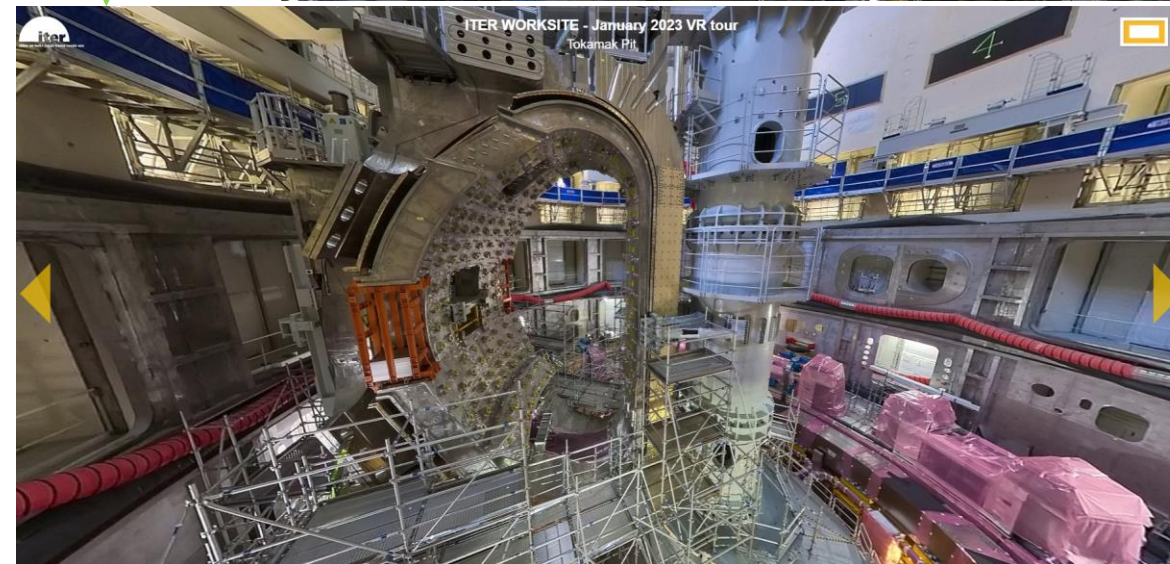
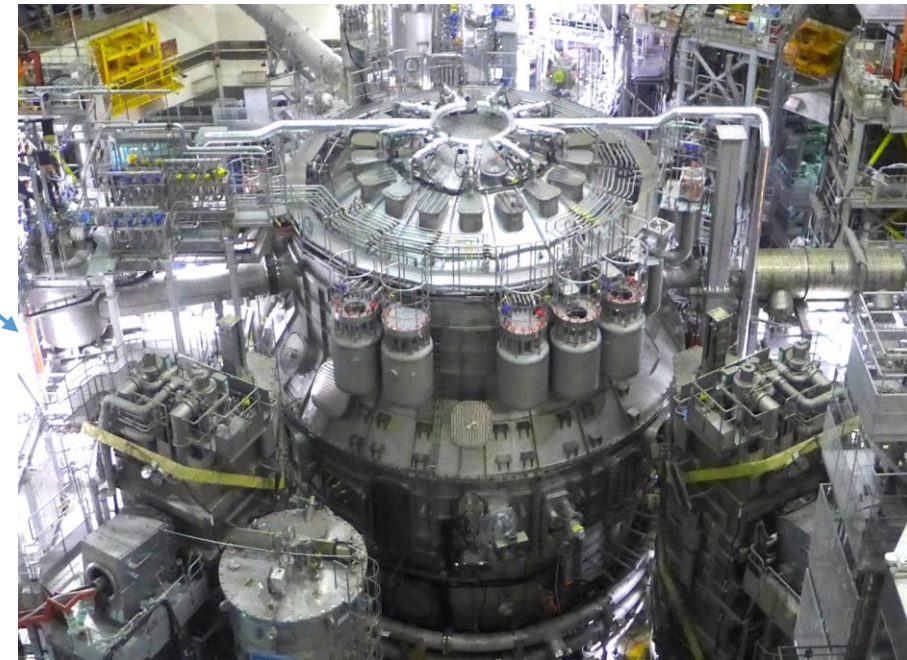




- 1997: JET – a fúziós energiatermelés demonstrálása ($Q=0,64$)
- 2005: a tagok megegyeznek, hogy az ITER Cadarache-ban épüljön
- 2006: az ITER-szerződés aláírása
- 2013. január 17. az ITER főépületét átadják
- 2013. december 11. az ITER berendezés épületének betonöntési munkálatai elkezdődnek.
- 2015. december 10. a Wendelstein 7-X sztellarátor első plazmája
- 2020. július 28. az ITER tokamak összeszerelése megkezdődik..
- 2022. december 5. NIF: fúziós „gyújtás” elérése ($Q=1,5$).
- 2023. októbere: a JT-60SA tokamak indulása

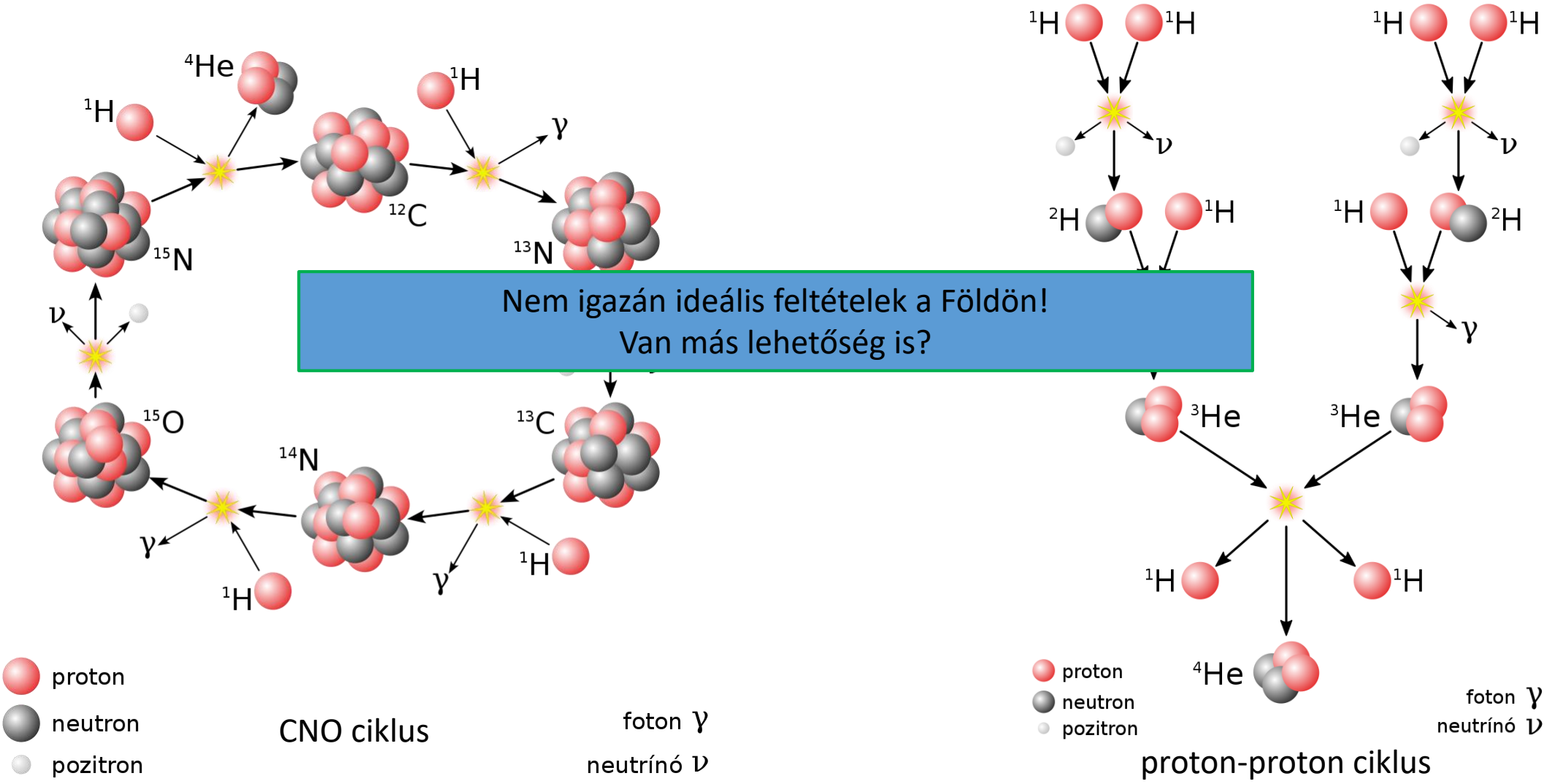
JT-60SA

ITER



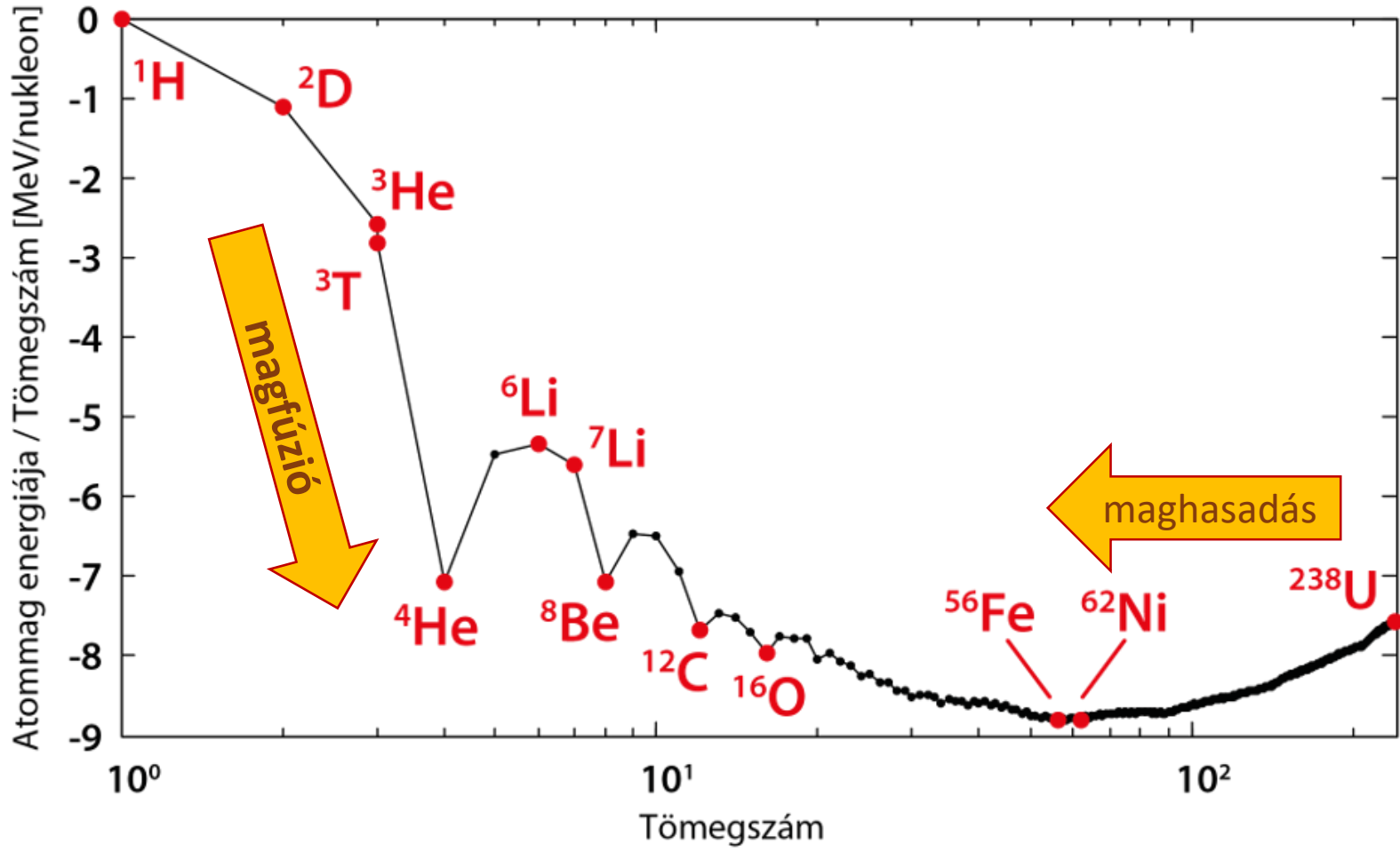


Sok lehetőségünk van. Melyik fúziós folyamatot válasszuk? Hogyan csinálja a Nap?



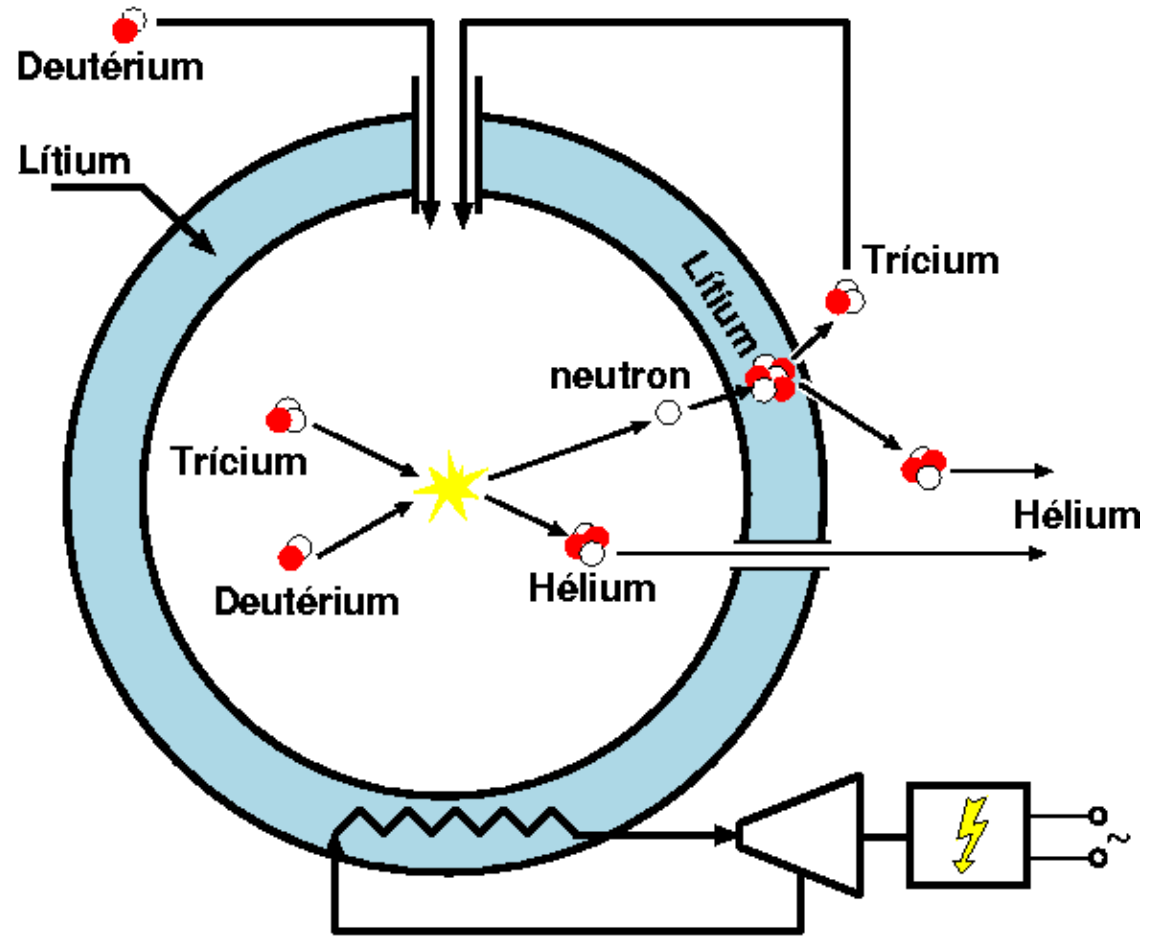


Egy nukleonra eső kötési energia





Sok lehetőségünk van. Melyik fúziós folyamatot válasszuk?



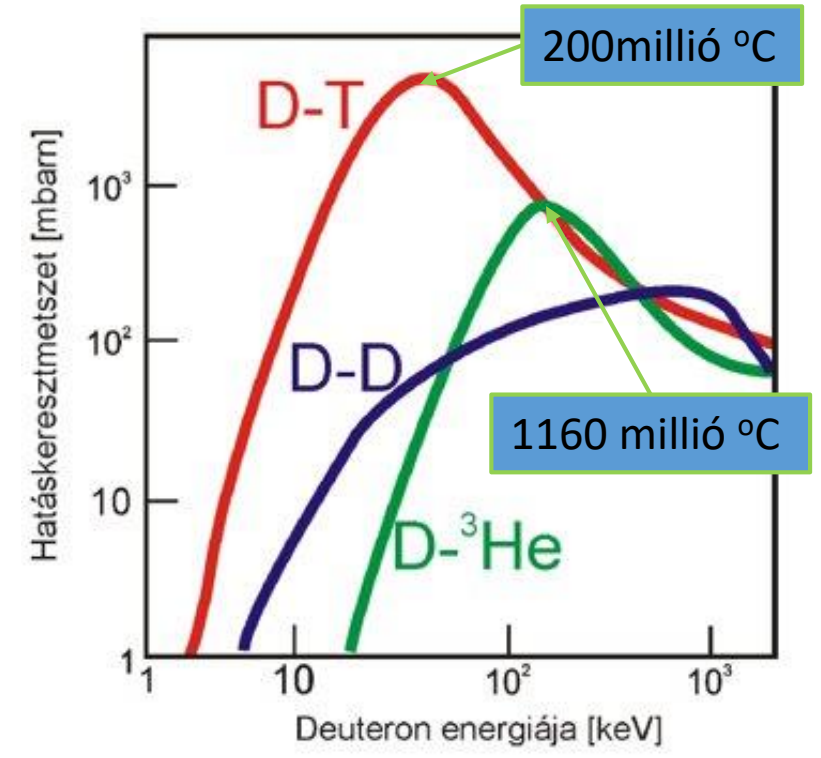
A magreakciókat meglehetősen jól ismerjük a részecskegyorsítós kísérletekből.

$$D + T \rightarrow {}^4\text{He}(3.52 \text{ MeV}) + n(14.1 \text{ MeV})$$

$$D + D \rightarrow {}^3\text{He}(0.82 \text{ MeV}) + n(2.45 \text{ MeV})$$

$$D + D \rightarrow T(1.01 \text{ MeV}) + p(3.02 \text{ MeV})$$

$$D + {}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He}(3.66 \text{ MeV}) + p(14.6 \text{ MeV})$$

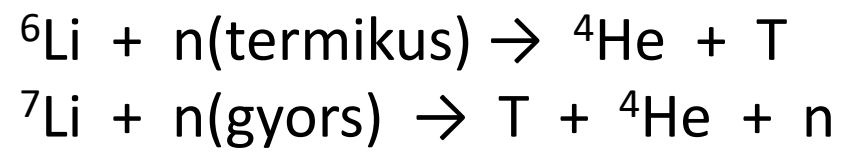
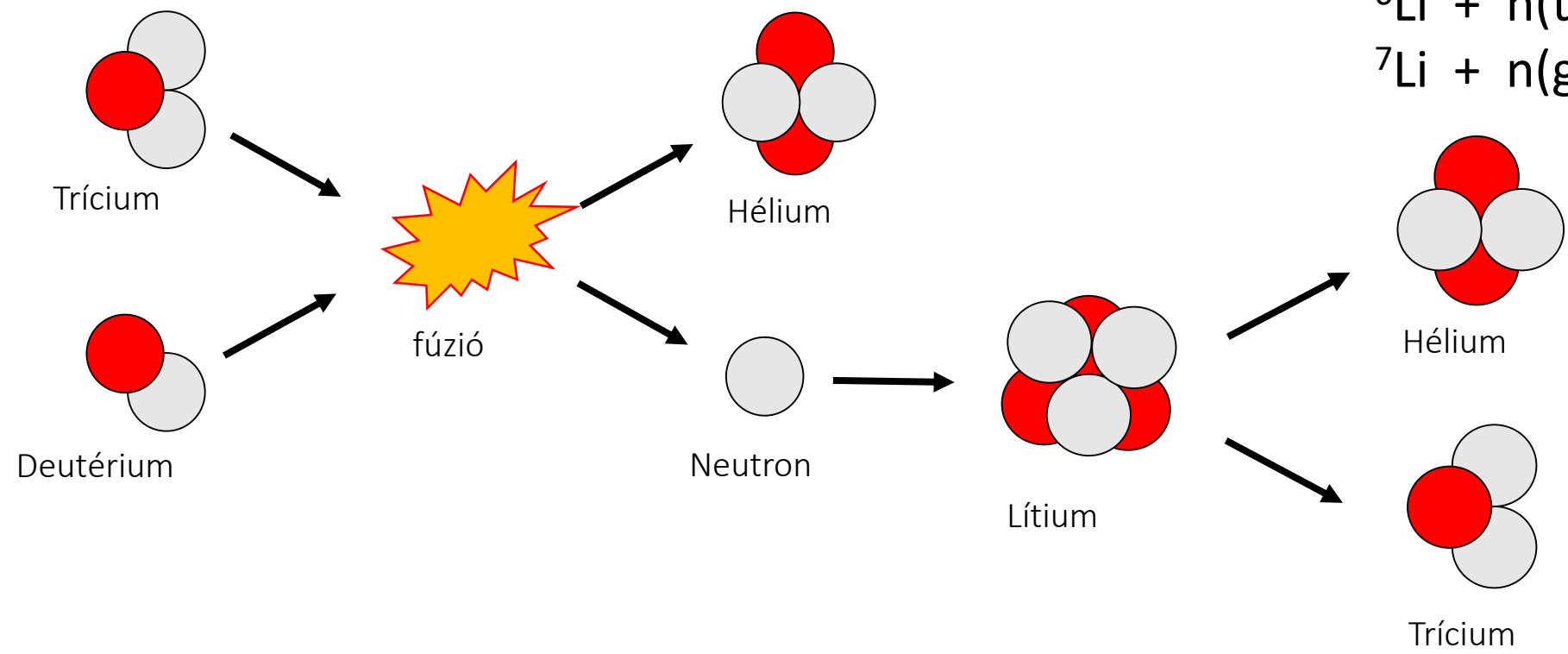




Deutériumból sok van – minden hatezredik hidrogénatom valójában deutérium.



A **trícium** viszont radioaktív, β -bomló, a felezési ideje 12,33 év. A természetben nem nagyon fordul elő, **tenyészteni** kell.



A **lítium** megtalálható a földkéregben és a tengervízben. Nagyon sok van belőle.

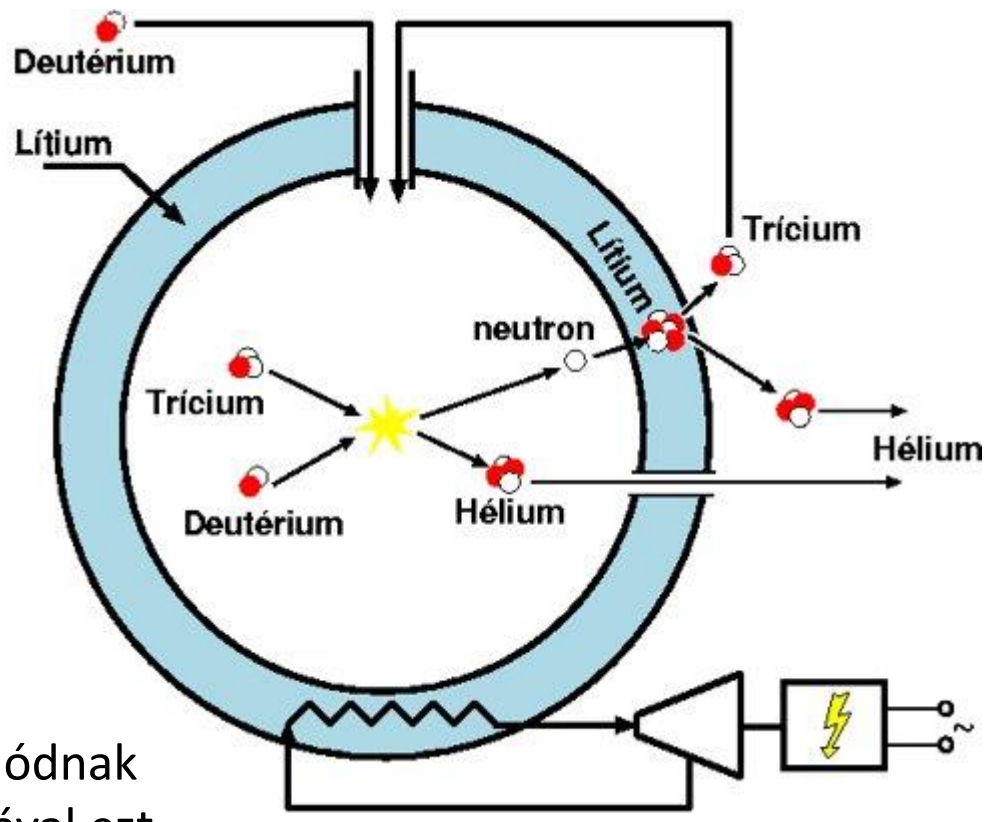
Egy 1 GW-os reaktor éves működtetéséhez ~**100 kg** üzemanyagra van szükség. Ez megfelel egy Tesla model S akkumulátor Li-tartalmának.



A tríciumot megtermelhetjük a reaktort körülvevő **tríciumtenyésztő köpenyben**.

Mivel a trícium β -bomló és bekerülhet a vízbe, ezért a **tríciumot zártan kell kezelni** és a **tárolt trícium mennyiségét minimalizálni kell!**

A fúziós reakció során nem keletkeznek radioaktív végtermékek!



Az erős neutronsugárzás miatt a reaktor szerkezeti elemei felaktiválódnak (anyagfizikai kihívás). A szerkezeti anyagok megfelelő megválasztásával ezt minimalizálni lehet. 100 éves időskálán a keletkezett radioaktív anyagok lebomlanak. Újabb anyagokkal ez tovább csökkenthető.

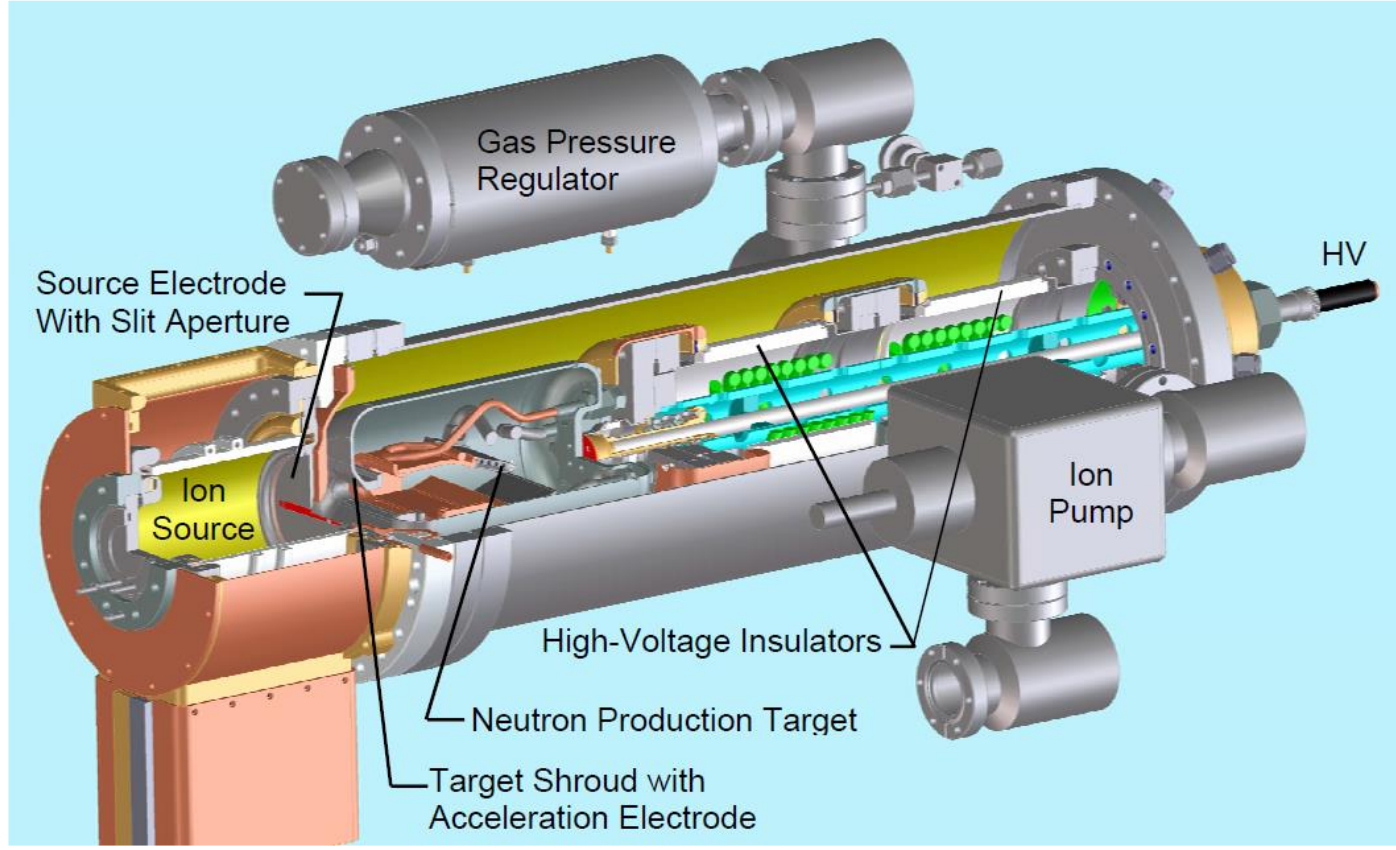


Akkor meg is vagyunk. Fogjunk egy részecskegyorsítót és...

Nem működik, mert a **fúziós reakciók hatáskeresztmetszete** nagyságrendekkel kisebb a **Coulomb-szórásénál**.

Fúziós energiát csak **termikus közegben** lehet termelni!

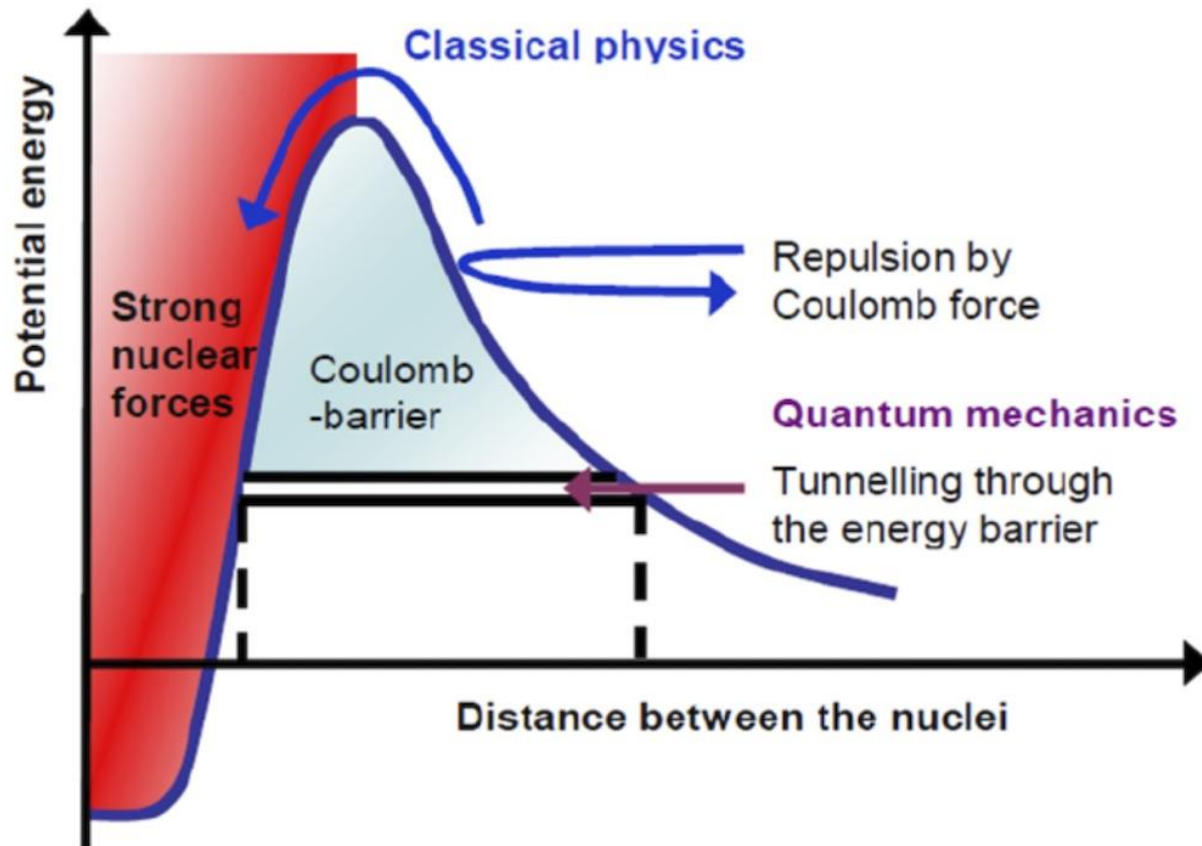
Ha a céltárgy termikus egyensúlyba kerül a nyalábbal, akkor az ütközések során az átlagos energiacsere nulla.



D-T neutrongenerátor sematikus ábrája

Hogy is van akkor ez a Coulomb-taszítás?

- A Coulomb-taszítást le kell győzni, mert a két atommag így taszítja egymást.
- De ha elég gyorsan ütköznek, fuzionálnak.
- Segít nekünk a kvantummechanika, így csak ~ 100 millió $^{\circ}\text{C}$ -os közegre van szükségünk (DT keverék esetén)!



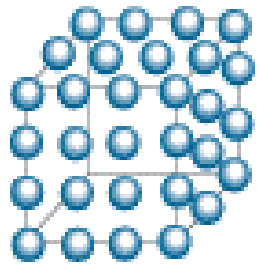
A maghasadással összehasonlítva:

1. Nincs spontán reakció.
2. Jelentős aktivációs energiára van szükség.
3. Nincsen láncreakció – és nincsen megszaladás sem.

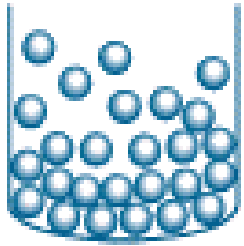


Mi történik az anyaggal ekkora hőmérsékleten?

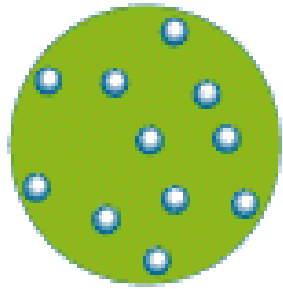
Halmazállapotok



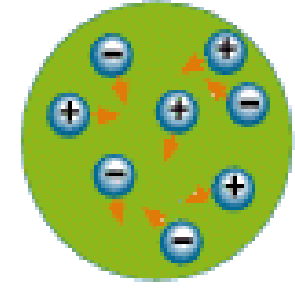
szilárd



folyadék



gáz



plazma



Ha a gázban a részecskék az elektronok kötési energiájánál nagyobb energiával ütköznek, akkor az elektronok leszakadnak az atomtörzsekről (hidrogénnél ez az energia 13,6 eV). Létrejön egy **szabad elektronokból** és **ionokból** álló keverék, a plazma.

Az látható univerzum anyagának nagy része plazmaállapotban van!



A fúziós reakciót az energiaszorzási faktoral jellemezzük:

$$Q = \frac{P_f}{P_h}$$

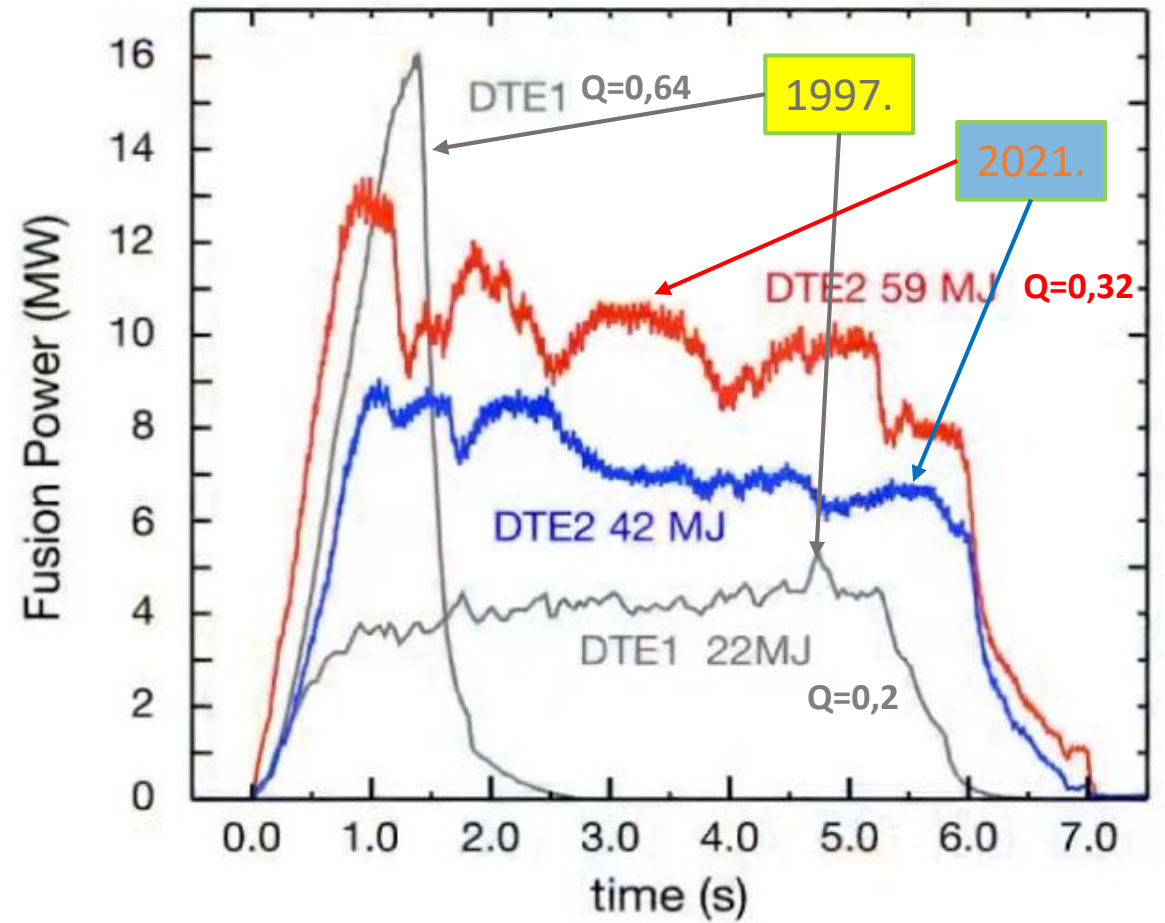
felszabaduló fúziós teljesítmény

külső fűtési teljesítmény

A fúziós erőműhöz $Q > 1$ szükséges.

A $Q = 1$ a „gyújtási” pont.

Praktikus alkalmazásokhoz: $Q = 10 \dots 30$.



A JET tokamak DT-kampányainak eredményei (2023-ban év végén lesz még egy)

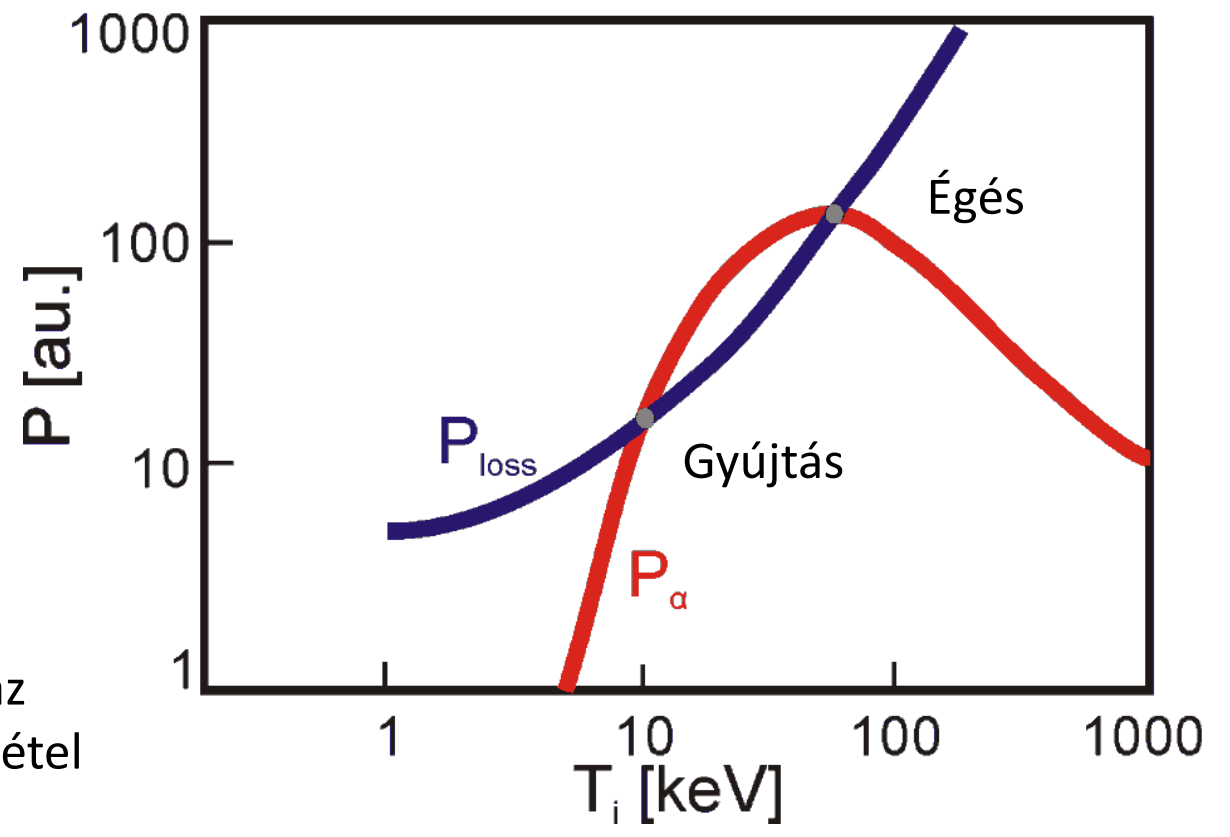


D-T fúzióban az energia 20%-át az α -részecskék viszik el (hélium-atommagok).



Ha elég ideig össze tudnánk ezeket tartani, az **α -részecskék fűtése** nagyobb lehetne, mint a veszteség!

Ekkor nincsen szükség további külső fűtésre: $Q = \infty$.



Gyújtásnál a hőmérséklet megemelkedik. A plazma az égési pontban stabil egészen addig, amíg a gázösszetétel és néhány más tényező változatlan marad.



Egy 50-50%-os D-T keverékben, amelynek sűrűsége n , térfogata V , hőmérséklete pedig T , a fúziós teljesítmény egyenesen arányos az **α -részecskék fűtésével**.

$$P_{\alpha} = V \left(\frac{n}{2}\right)^2 C(T)$$

A veszteséget az energiaösszetartási idő határozza meg.

$$P_{loss} = \frac{V \frac{3}{2} n k_B T}{\tau_E}$$

$$\text{Ha } P_{\alpha} > P_{loss}, \text{ akkor } n\tau_E \geq \frac{6k_B T}{C(T)}$$

Az optimális hőmérsékletnél ezt hívjuk **Lawson-kritériumnak**:

$$n\tau_E \geq 10^{20} \text{ sm}^{-3} \quad T_i = 25 \text{ keV}$$

Az optimális hőmérséklet környékén kapjuk a **fúziós hármasszorzatot**.

$$n\tau_E T_i \geq 10^{21} \text{ keV sm}^{-3}$$

Legyen elég magas T (25 keV), jó szigetelés/nagy sűrűség ($n\tau_E \geq 10^{20} \text{ sm}^{-3}$), legyen jó összetartás a gyors α -részecskékre, kevésbé jó a lassú α -részecskékre...



Hogyan teljesíthetjük a Lawson-kritériumot?

$$n\tau_E \geq 10^{20} \text{sm}^{-3}$$

Inerciális fúzió

- Speciális kapszula (hohlraum) összenyomás lézerekkel
- A plazma szabadon tágul
- Elég nagy sűrűség alakul ki, hogy egy rövid ideig teljesítse a Lawson-kritériumot

Mágneses összetartású fúzió

- A plazmát mágneses térrel tartjuk össze (jó hőszigetelés)
- Az elérhető sűrűséget meghatározza a mágneses tér nagysága
- A Lawson-kritériumot a jó energiaösszetartási idővel tudjuk teljesíteni



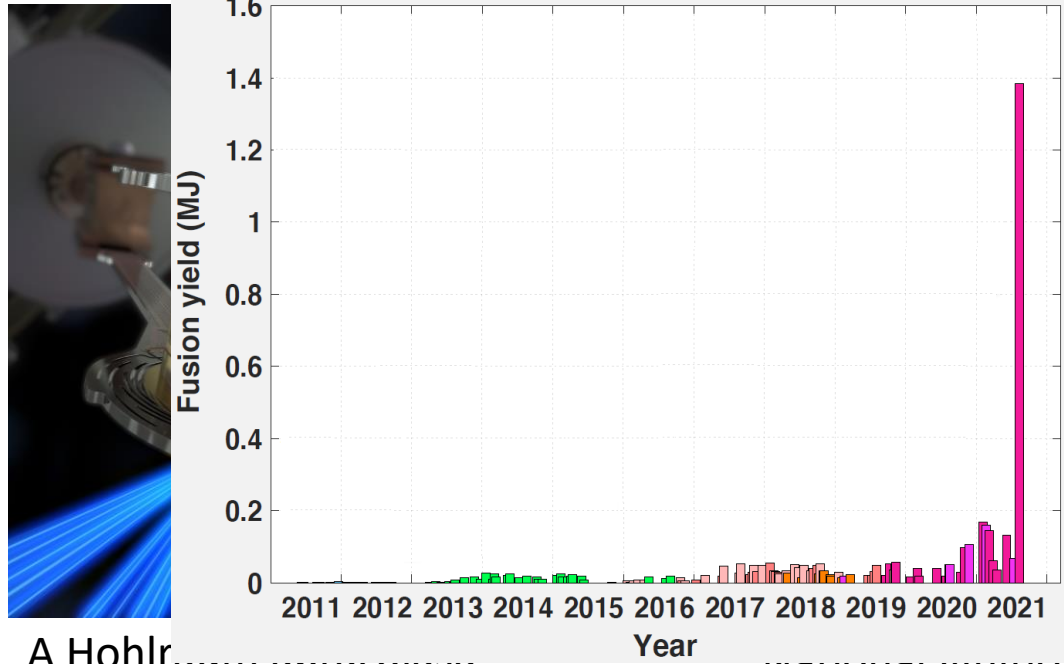
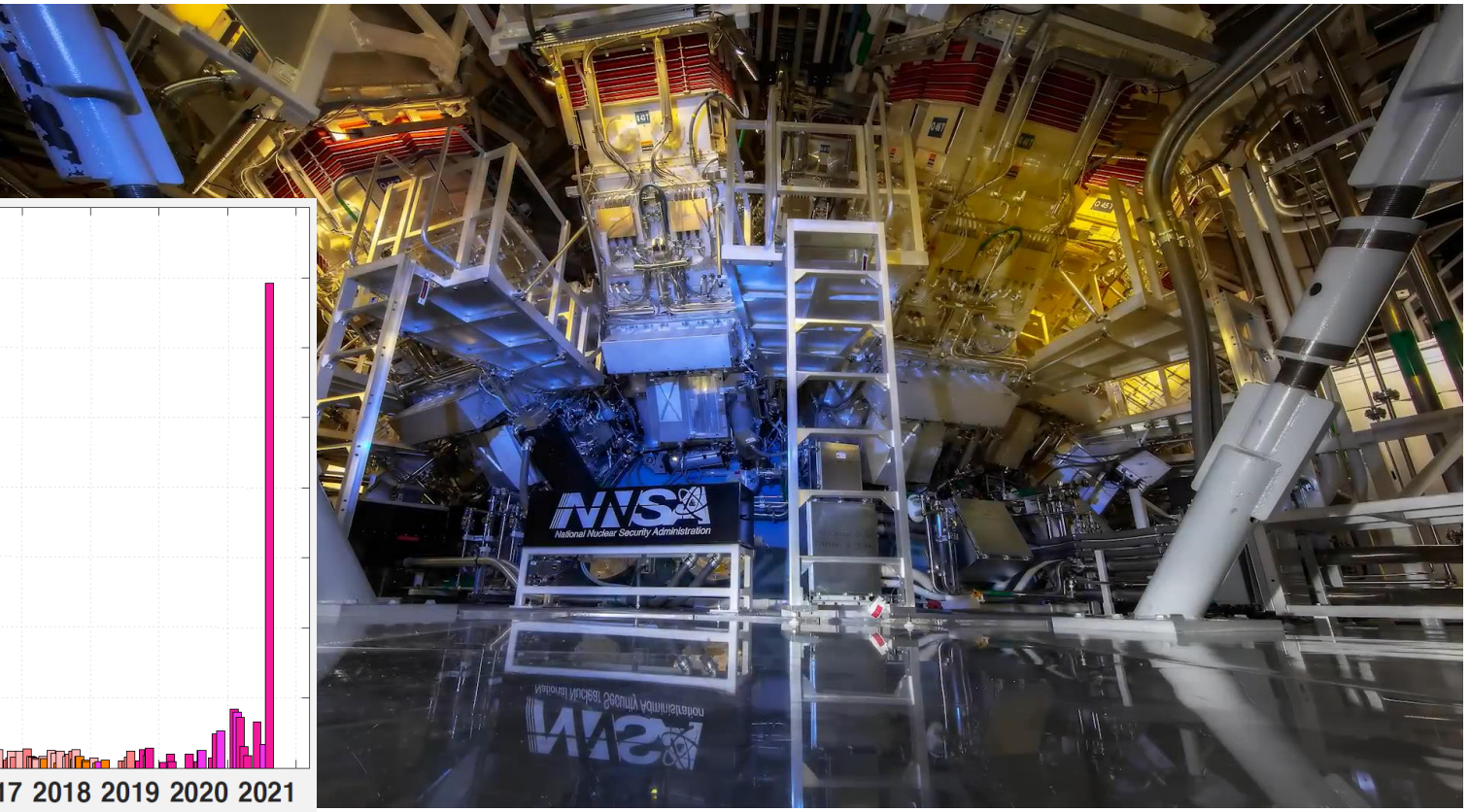
2022. december 5: fúziós gyűjtás,
Q = 1,5

$$E_{be} = 2,05 MJ$$

$$E_{ki} = 3,15 MJ$$

$$E_{lézer} > 400MJ$$

Inerciális fúzió



A Hohlräume des National Ignition Facility (Lawrence Livermore National Laboratory – USA).

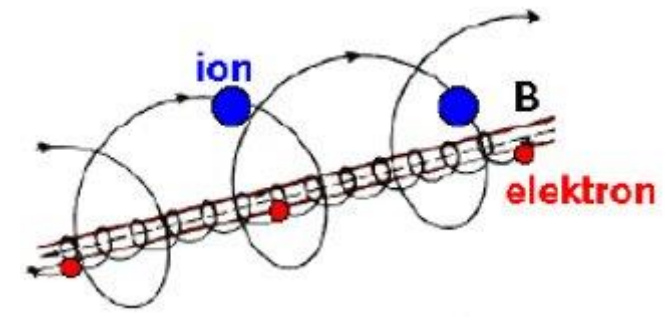
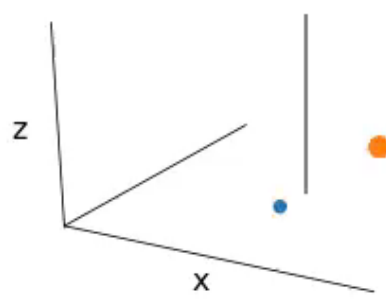


Lawson-kritérium: $n\tau_E \geq 10^{20} sm^{-3}$

Mágneses összetartású fúzió

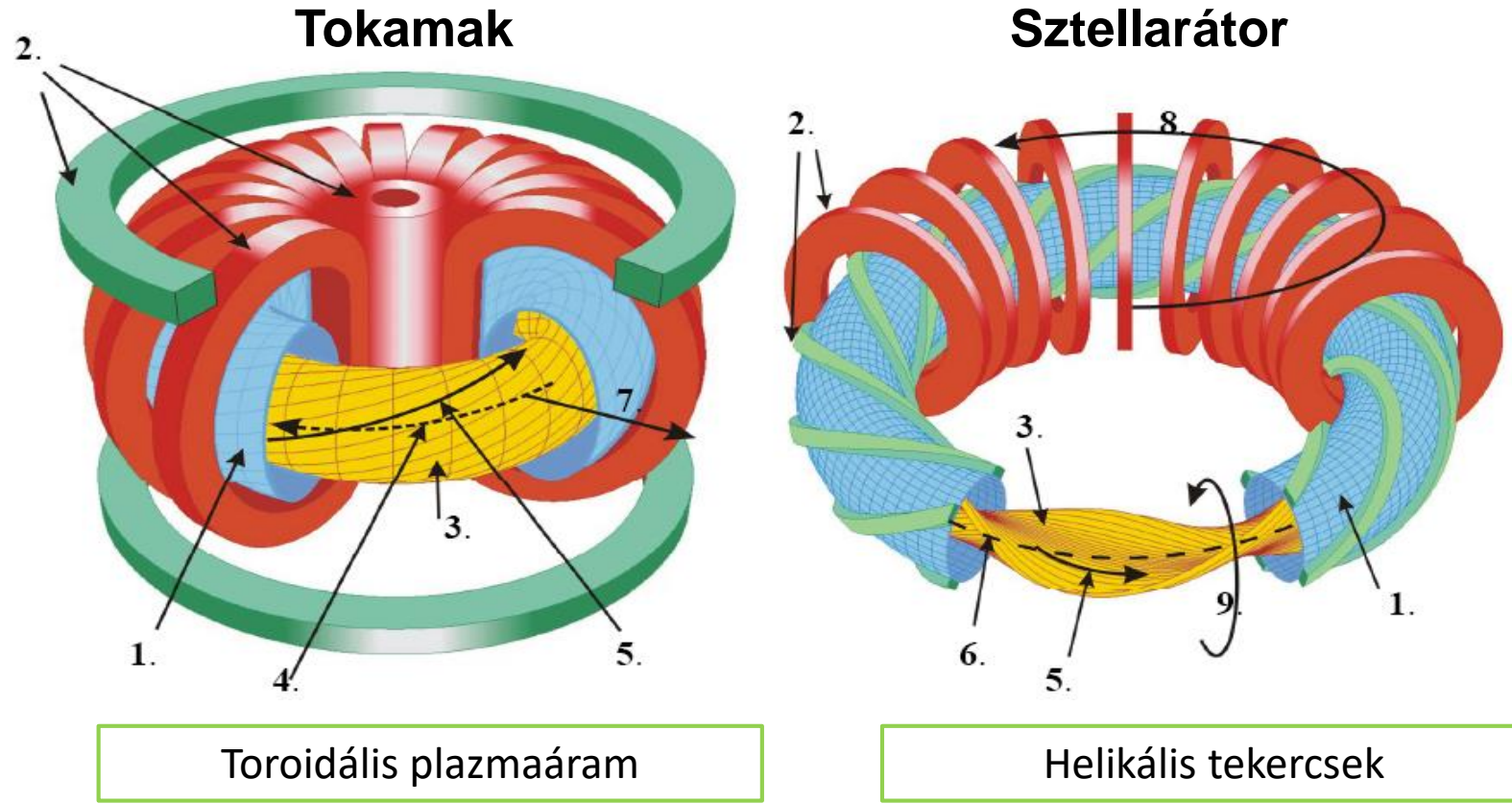
Ha relatíve **nagy az energiaösszetartási idő** ($\tau_E \approx 1 s$), akkor a **sűrűség kicsi** ($n \approx 10^{20} m^{-3}$ – a légköri sűrűség 10^{-5} -szerese), a **részecskék szabad úthossza nagy** (10-1000 m) – a plazma gyakorlatilag ütközésmentes. Hogyan mozognak benne a részecskék?

Mozgásegyenlet a Lorentz-erővel: $m\mathbf{a} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$. Ha például $\mathbf{B} = (0, 0, B)$:

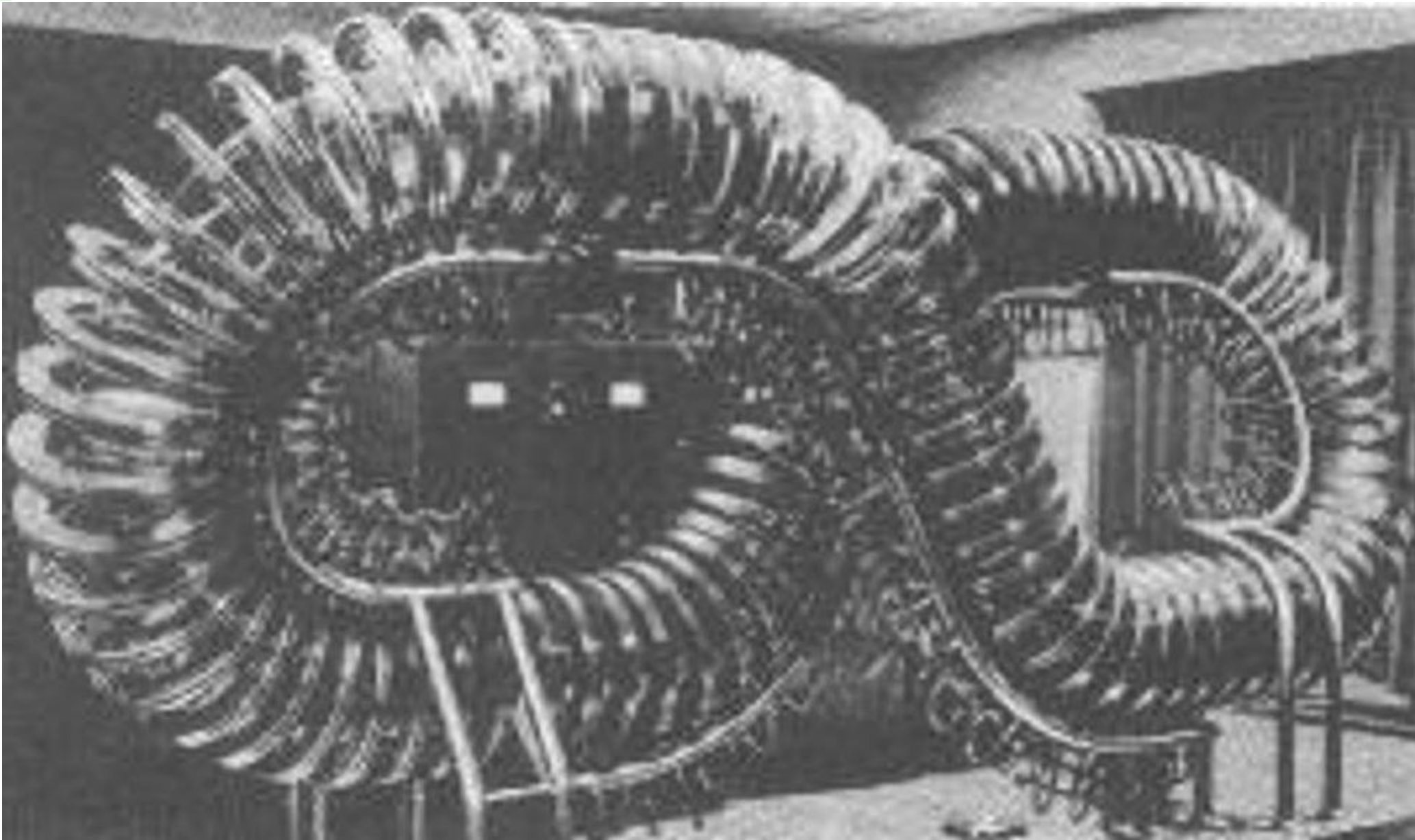


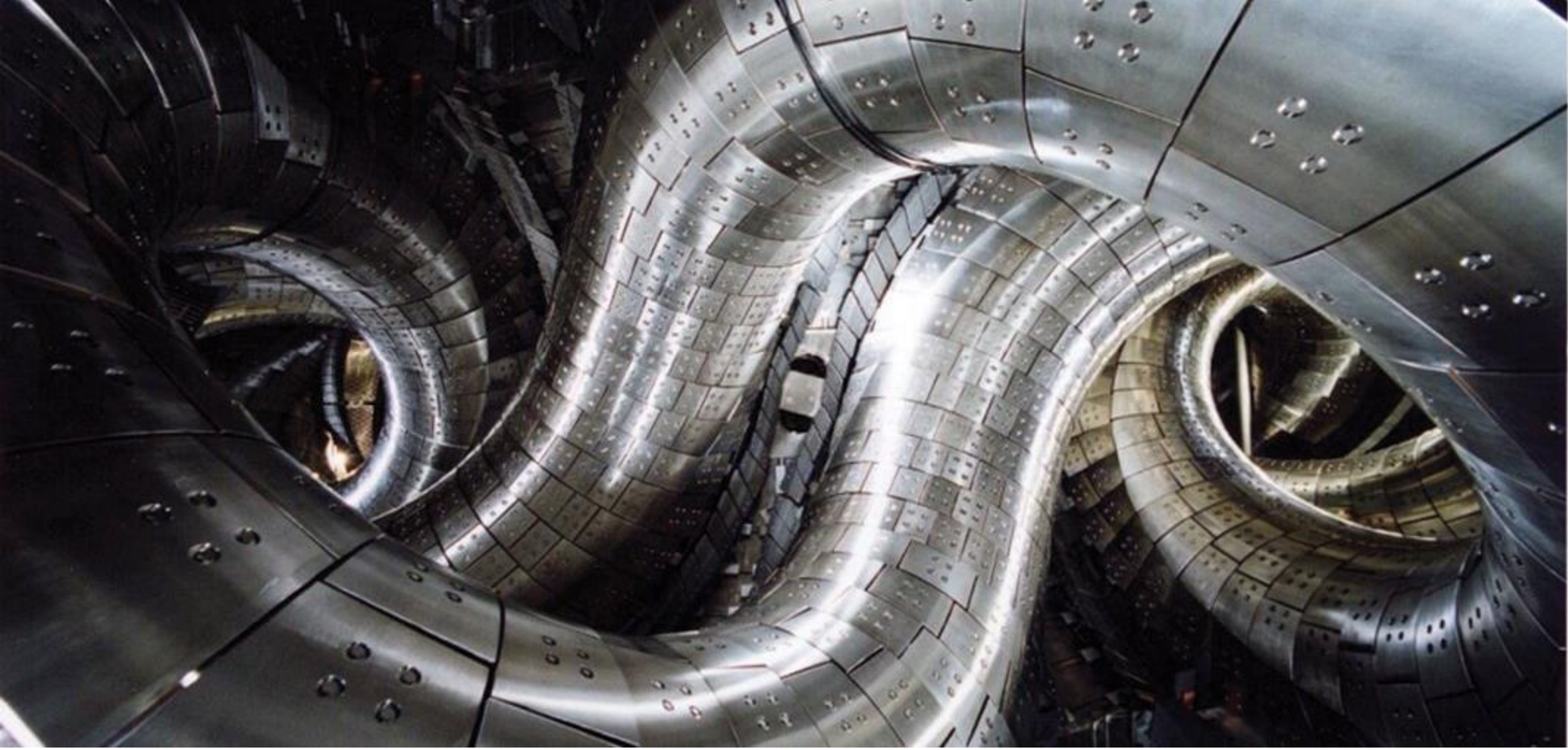


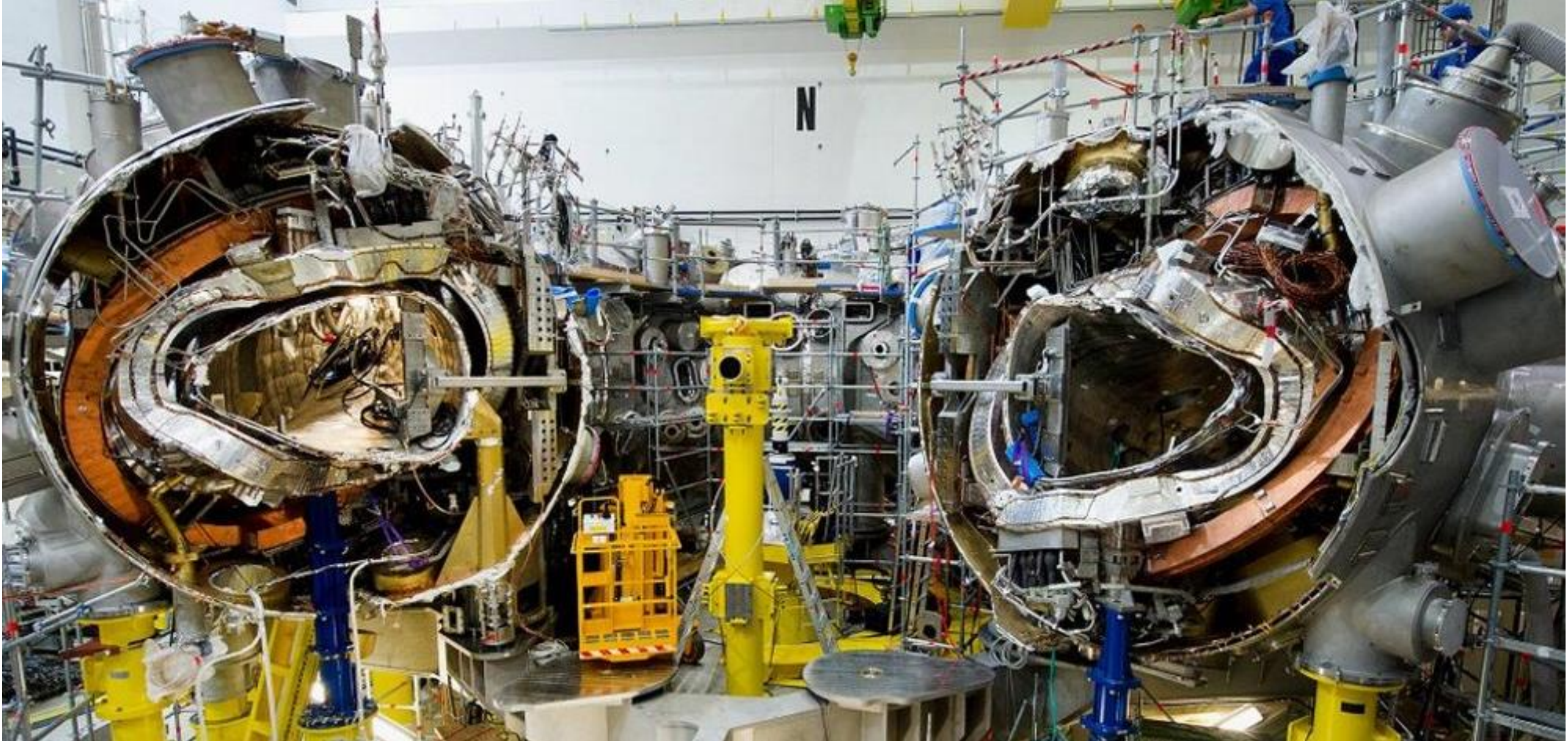
A mágneses összetartás főbb berendezéstípusai



(1) vákuumkamra, (2) mágneses tekercsek, (3) plazma, (4) plazmaáram, (5) mágneses erővonal, (6) mágneses tengely, (7) radiális irány, (8) toroidális irány, (9) poloidális irány



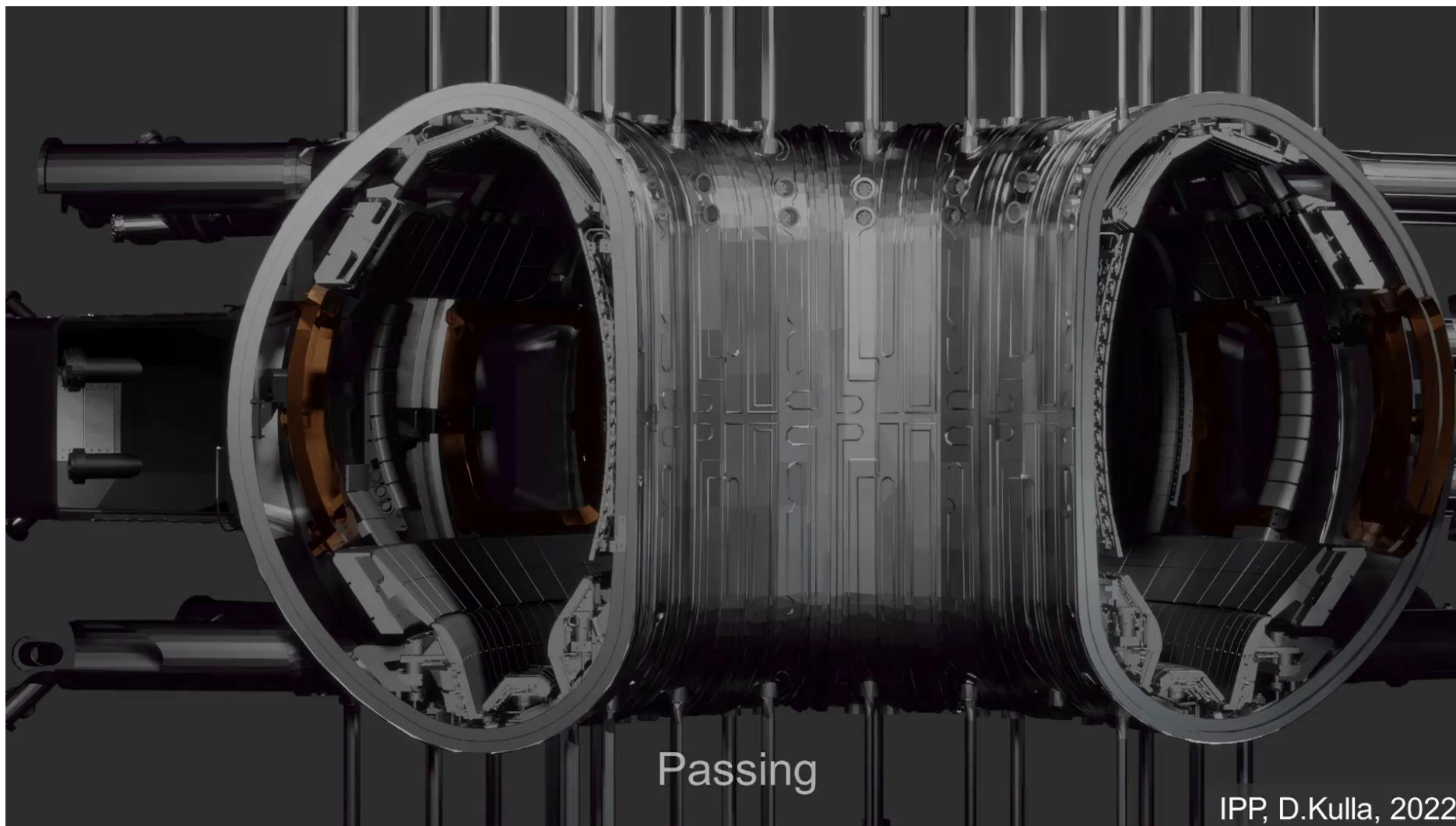








Mágneses összetartás toroidális geometriában

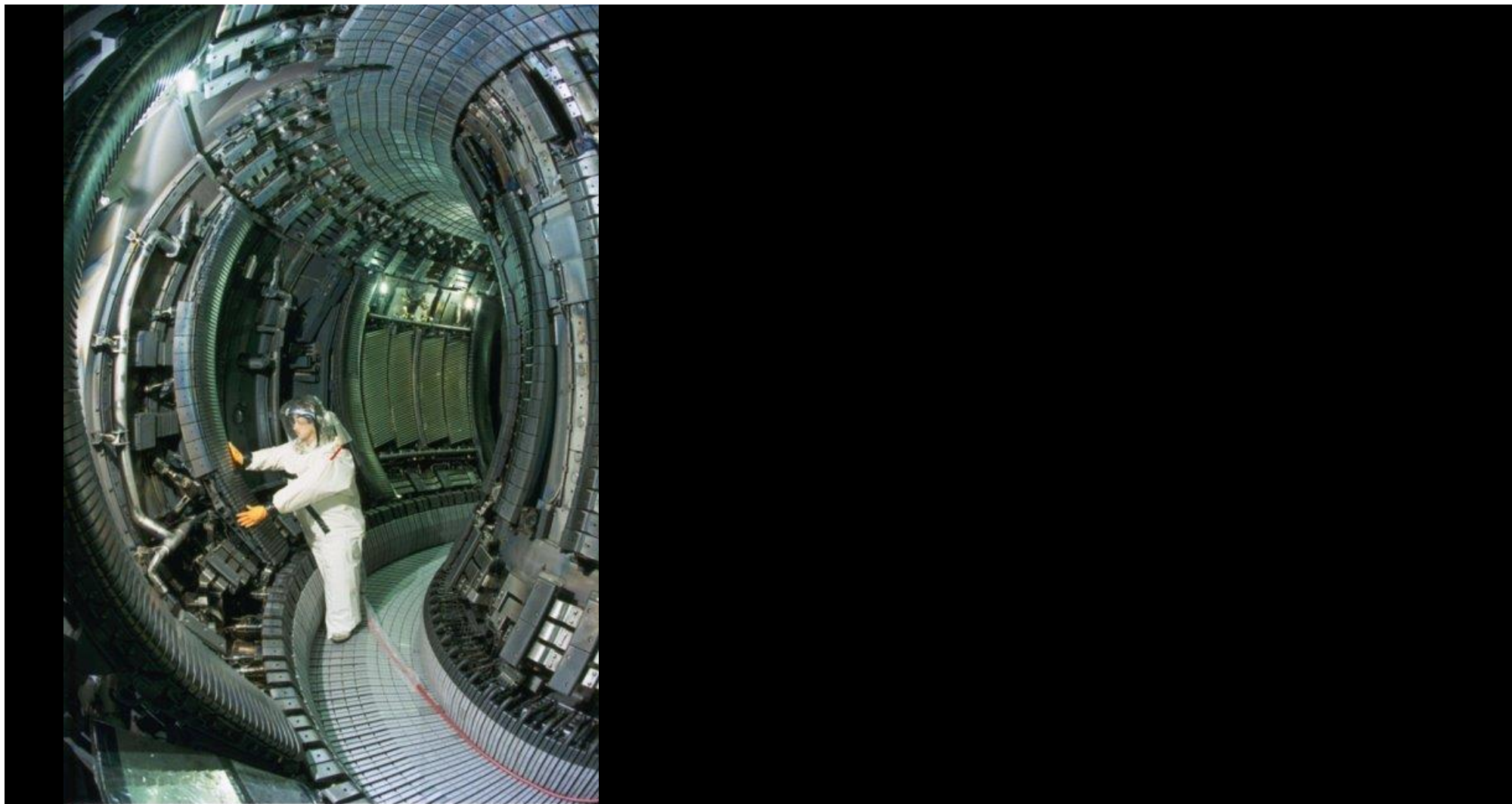


<https://www.youtube.com/watch?v=l1aaJrCPo40>

ASDEX Upgrade tokamak



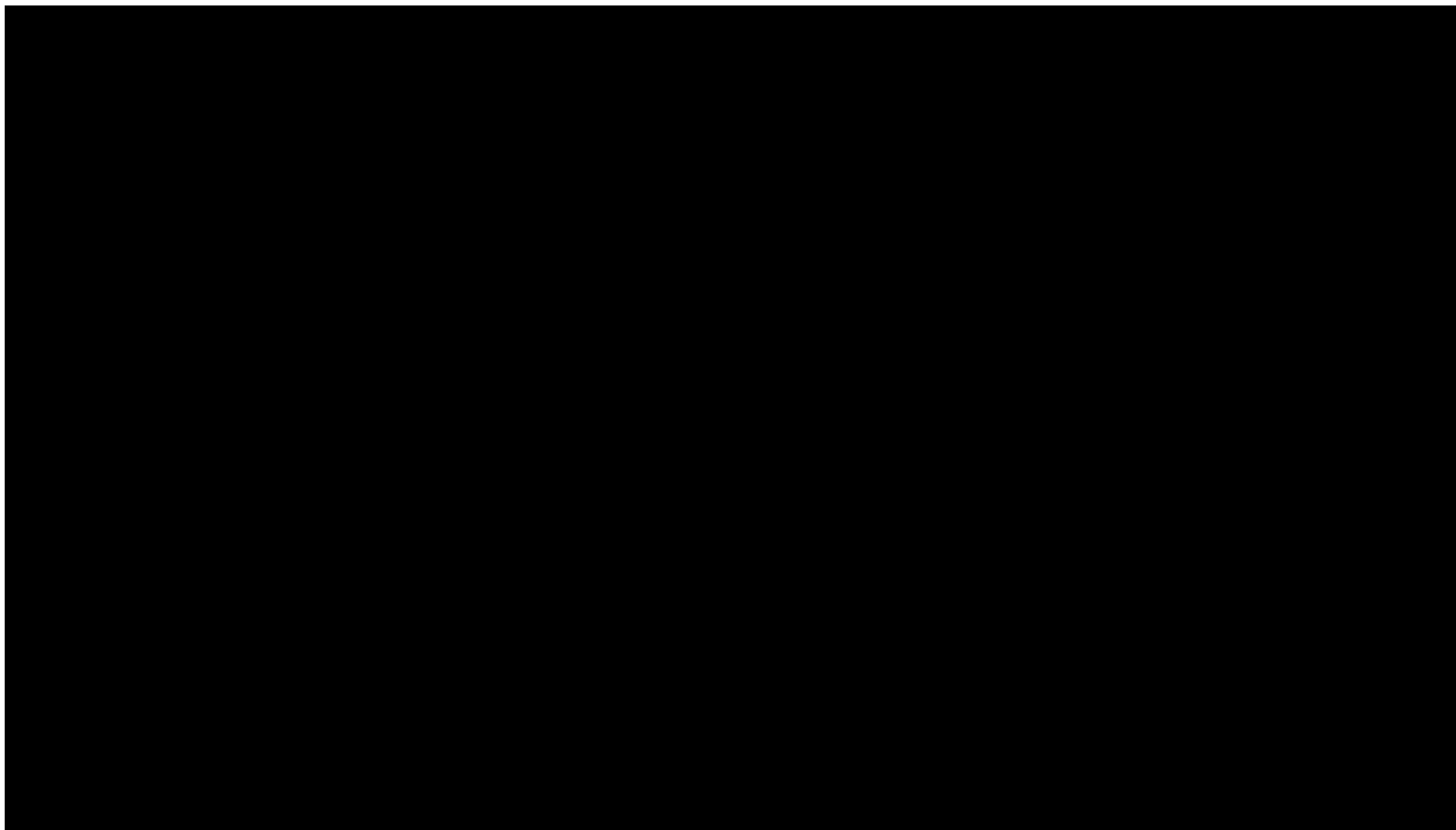
JET világrekord lövés, 59 MJ fúziós energia, 2022. december 21, #99 971



<https://www.youtube.com/watch?v=vR0H4MO9x3g>



Wendelstein 7-X kísérletek kompozíciója



<https://www.youtube.com/watch?v=k2T5x0uIOfY>



A plazma mágneses összetartása működik!

Réz tekercsekkel túl nagy a veszteség (100 MW-os nagyságrend) → szupravezető tekercsek kellene!

Plazma maga is kelt mágneses teret, nemlineáris rendszer → szabályozása nem triviális, stabil üzemmódok megtalálása komplex feladat.

Akkor megérkeztünk? (JET rekord – 2021 decembere; EAST 1056 s-os stabil állapotú plazma – 2021 decembere; W7-X 8 perces plazma, 1,3 GJ tárolt energia – 2023 február)

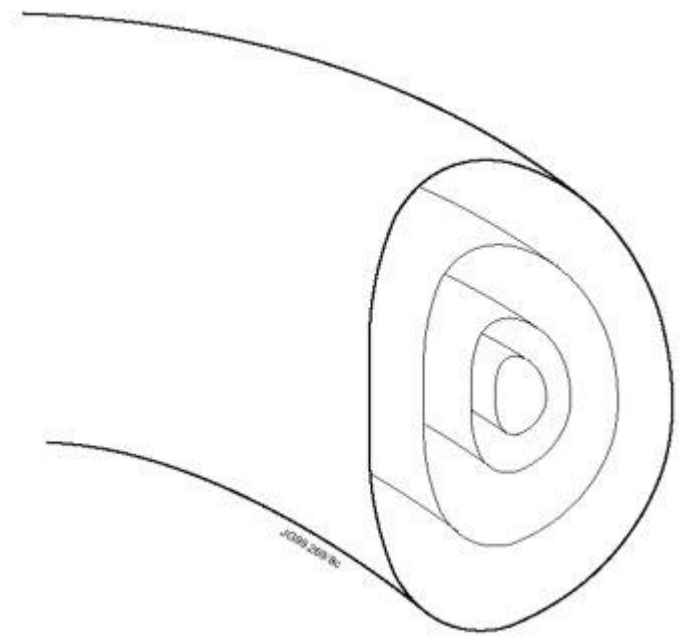
Közeledünk a célok felé!

Miért nincs még fúziós erőmű?

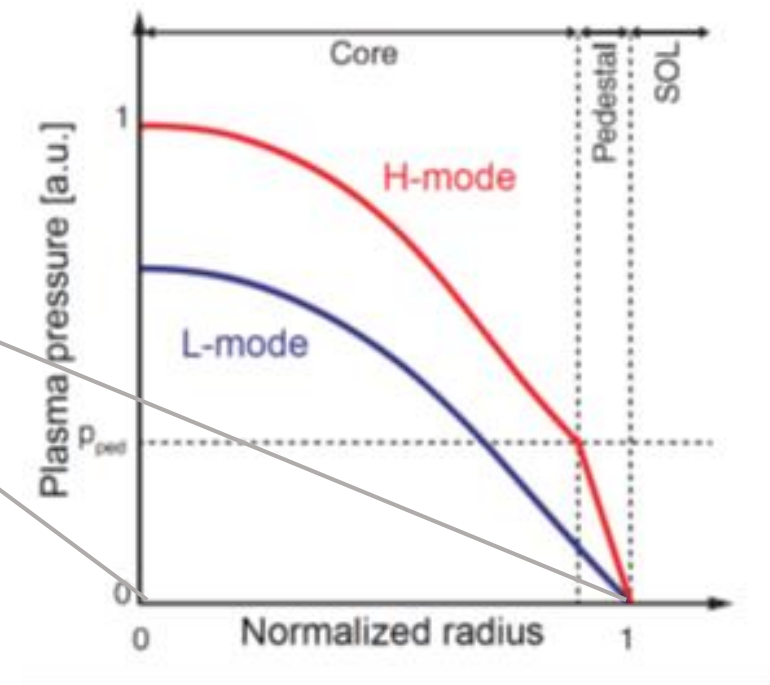
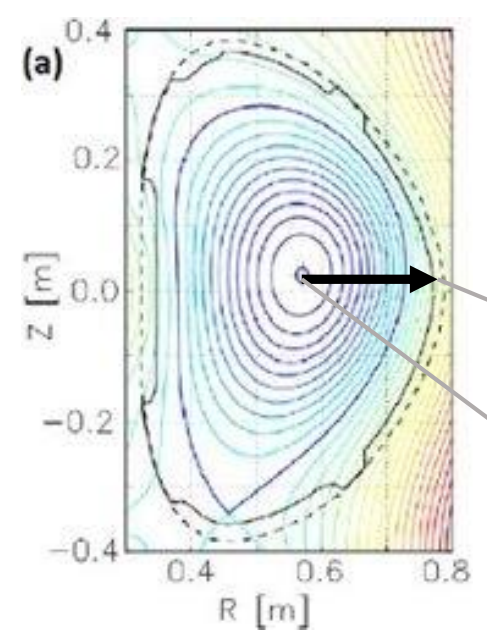


Transzport a mágnesesen összetartott fúziós plazmákban

A mágneses térrel párhuzamos transzport nagyon gyors. A plazmaparaméterek (I , p , n stb.) ezeken belül kiegyenlítődnek.



Mágneses felületek

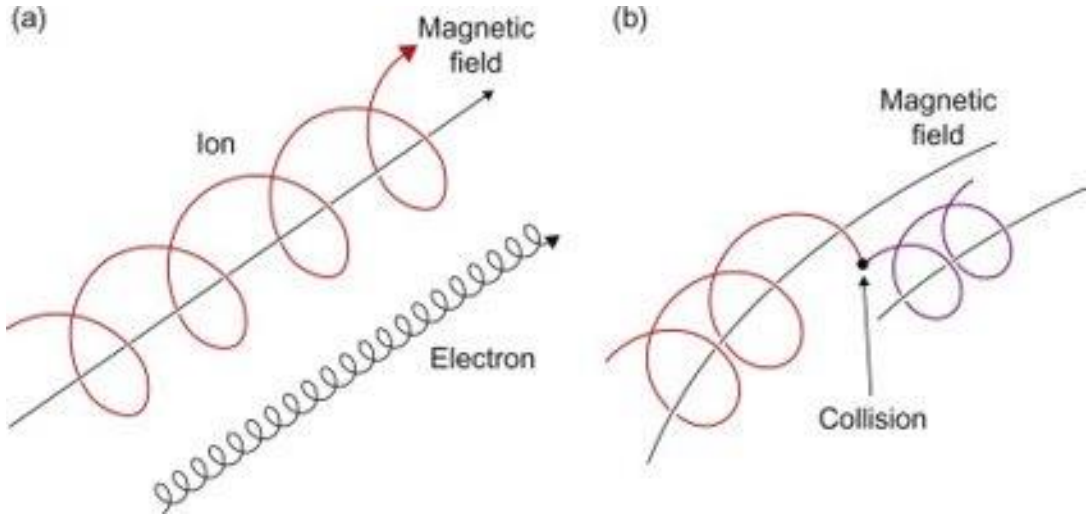


Plazmaprofilok



Transzport a mágneseesen összetartott fúziós plazmákban

A mágneses térre merőlegesen a transzport jóval lassabb.
A részecskék közötti ütközések ritkák (10 - 1000 m szabad úthossz), de nem elhanyagolhatóak.



Klasszikus transzport: véletlen lépések.
Lépésköz: Larmor-sugár. Oka: nyomásgradiens.

Neoklasszikus transzport: klasszikus transzport toroidális geometriában

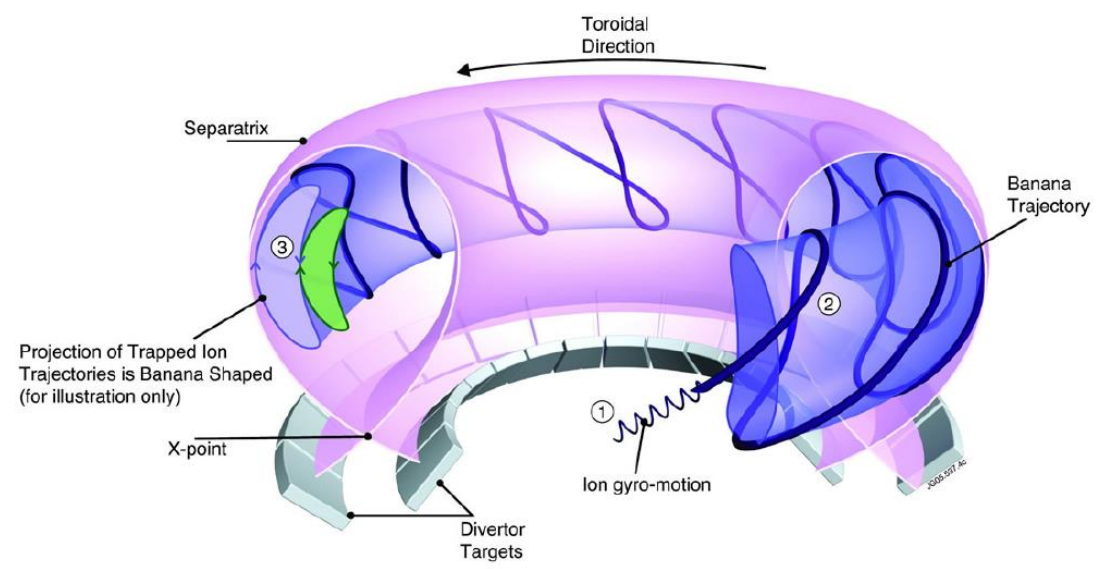
Anomális transzport → plazmaturbulencia

Klasszikus transzport (a mért transzport nagyságrendekkel nagyobb, mint amit innen várunk)



Transzport a mágnesesen összetartott fúziós plazmákban

A mágneses térre merőlegesen a transzport jóval lassabb.
A részecskék közötti ütközések ritkák (10 - 1000 m szabad úthossz), de nem elhanyagolhatóak.



Klasszikus transzport: véletlen lépések.
Lépésköz: Larmor-sugár.

Neoklasszikus transzport: klasszikus transzport toroidális geometriában (gradB drift, banánpályák stb.)

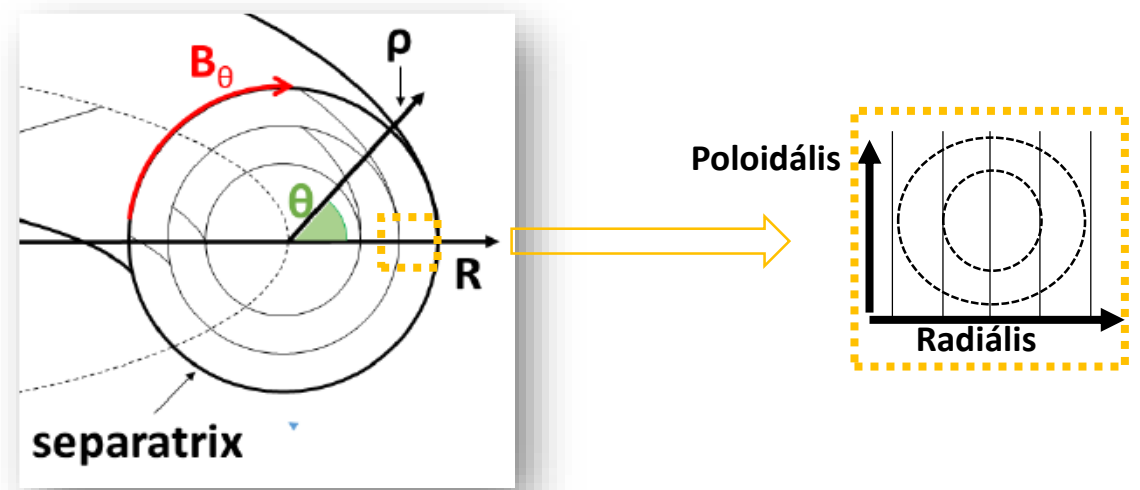
Anomális transzport → plazmaturbulencia

Neoklasszikus transzport (a mért transzport annál is nagyobb, mint amit innen várunk)



Transzport a mágnesesen összetartott fúziós plazmákban

A mágneses térre merőlegesen a transzport jóval lassabb.
A részecskék közötti ütközések ritkák (10 - 1000 m szabad úthossz), de nem elhanyagolhatóak.



Anomális transzport (ez adja a transzport nagy részét!)

Klasszikus transzport: véletlen lépések.
Lépésköz: Larmor-sugár.

Neoklasszikus transzport: klasszikus transzport toroidális geometriában

Anomális transzport: mm/cm-es skálán hullámok és örvények alakulnak ki (a skálák közötti kölcsönhatással) → plazmaturbulencia



De van remény: a **H-mód!**

Ha T és n elég nagy, akkor a turbulenciát nyírt áramlások a plazma szélén elnyomják.

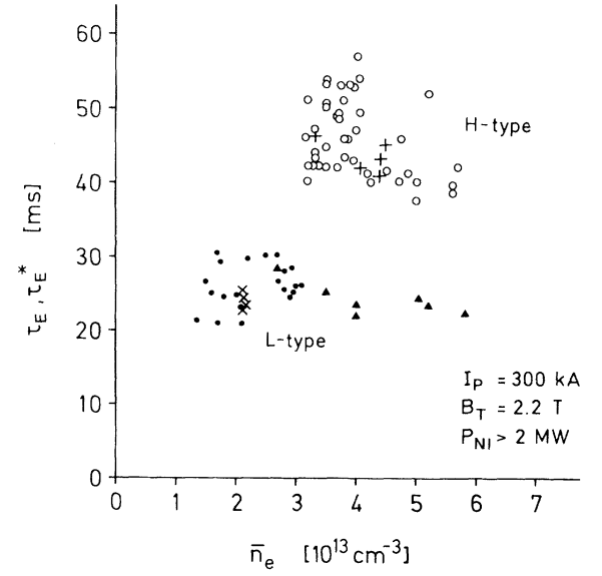
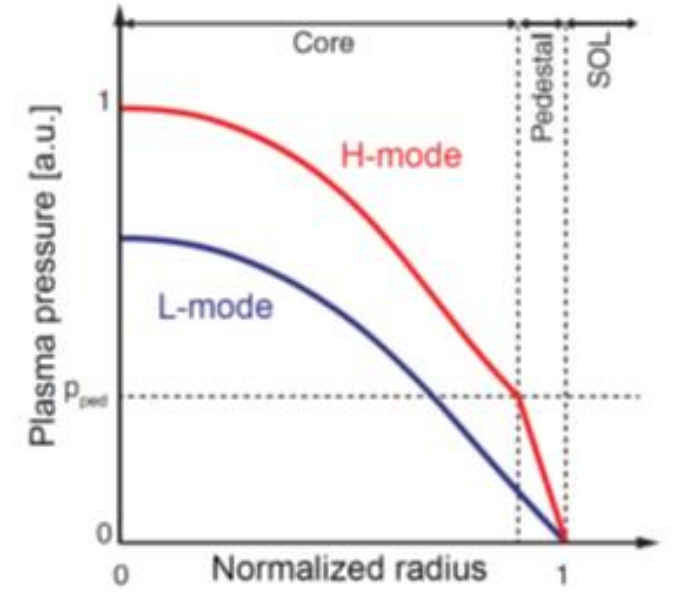
Ennek hatására kialakul egy transzportgát a plazma szélén, a nyomásgradiens megnő.

A plazma átkerül egy jobb összetartású állapotba.

Emlékszünk az elején Fritz Wagnerre és a H-módra?

H-mód \rightarrow (Újabb) instabilitások, amiket kezelni kell!

Mi lenne jó nekünk egy áramtermelő reaktorhoz?



Wagner, Fritz, et al. *Physical Review Letters* 49.19 (1982)



A plazma kezelése – mi a reaktorkompatibilis?

1. Instabilitások minimalizálása, ugyanakkor szennyezők és „hamu” kivonása.
2. Állandósult állapotú üzemmód tokamakok esetén is (ITER – 3000 s, DEMO – több órás kisülések)
3. Magas lesugárzott energiahányad jó összetartás mellett.

Az ITER célja pont ezeket demonstrálni!

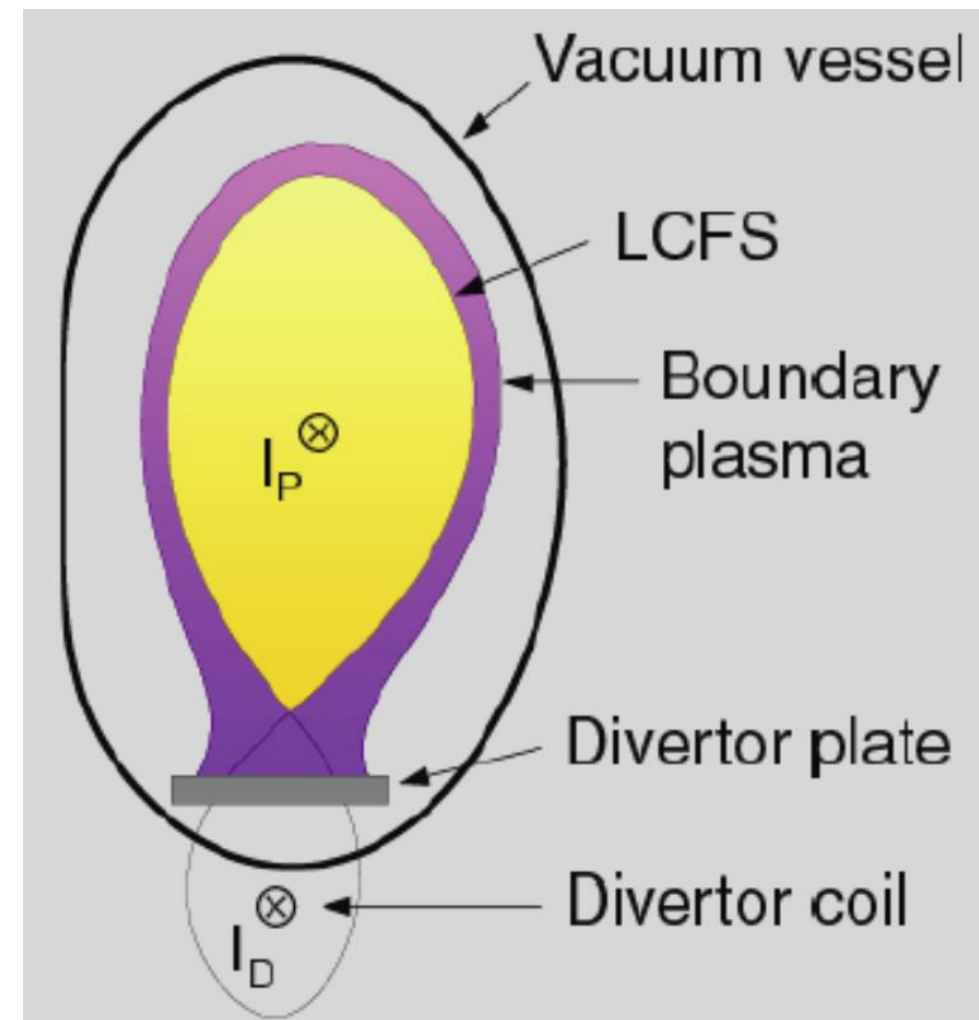
Emellett: JET – impulzus üzemmód

JT-60SA – állandósult üzemmód

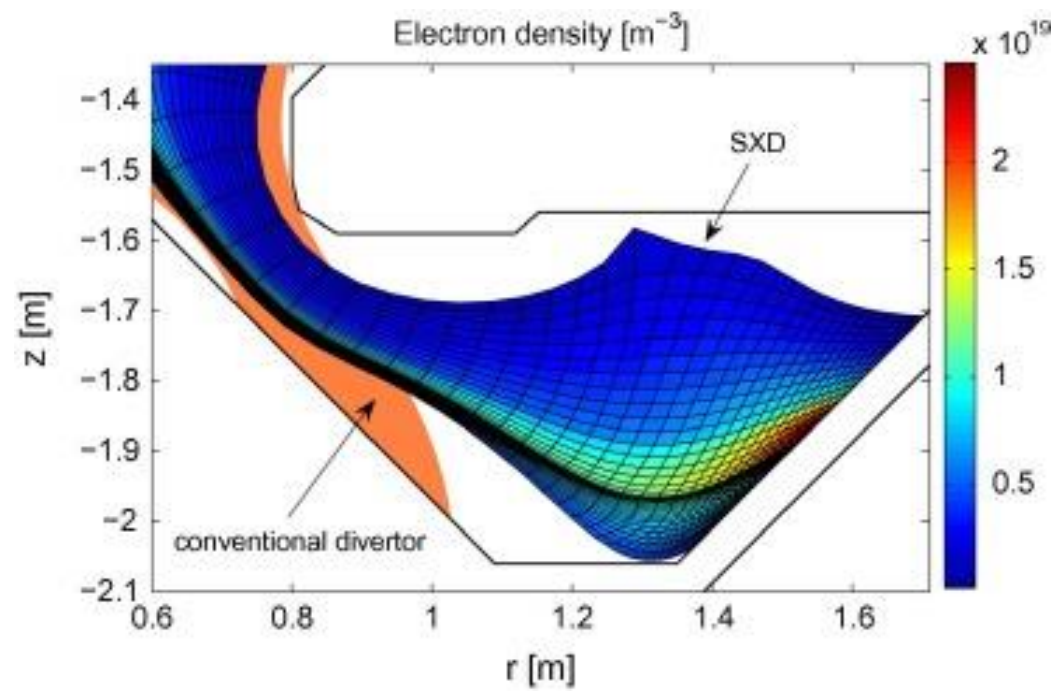
Kis- és közepes méretű tokamakok (pl. AUG) –

teljes fém fal

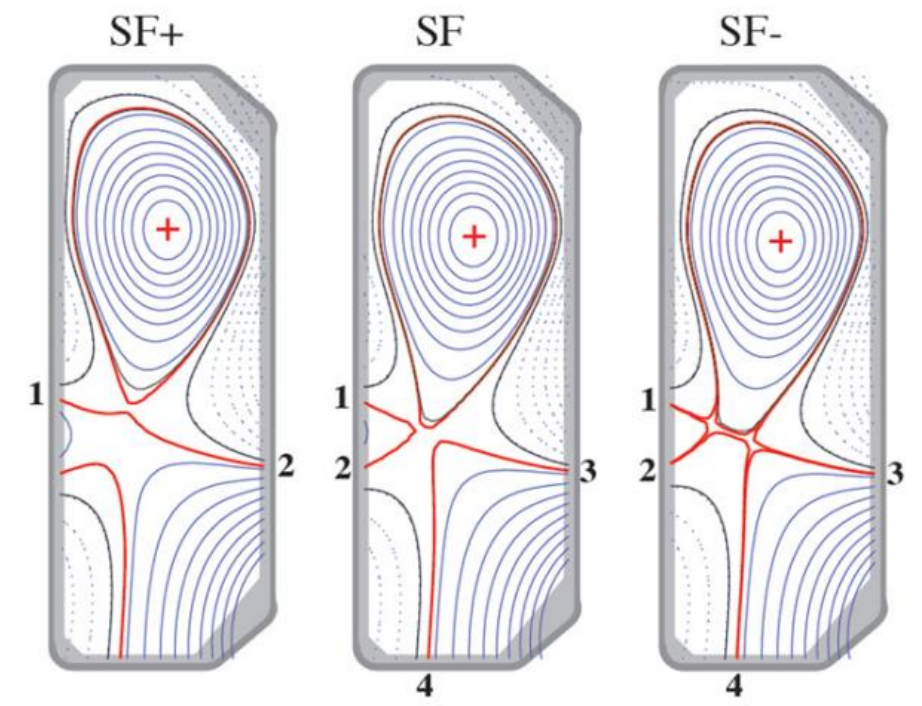
Sztellarátorok?



Divertortípusok: standard, szuper-X, hópehely



Szuper-X divertor



Hópehely divertor

Csökkentik a hőáramot a divertorelemeken: nagyobb úthossz és nagyobb felület.



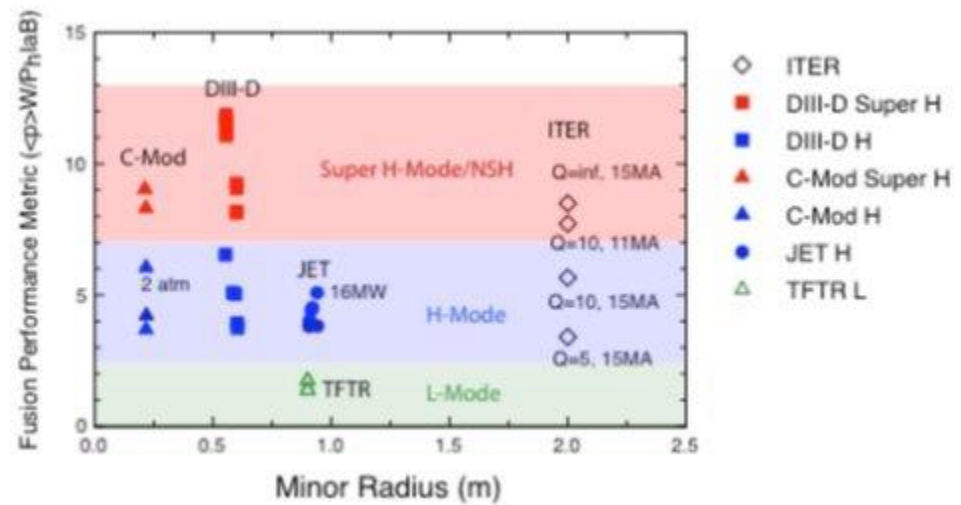
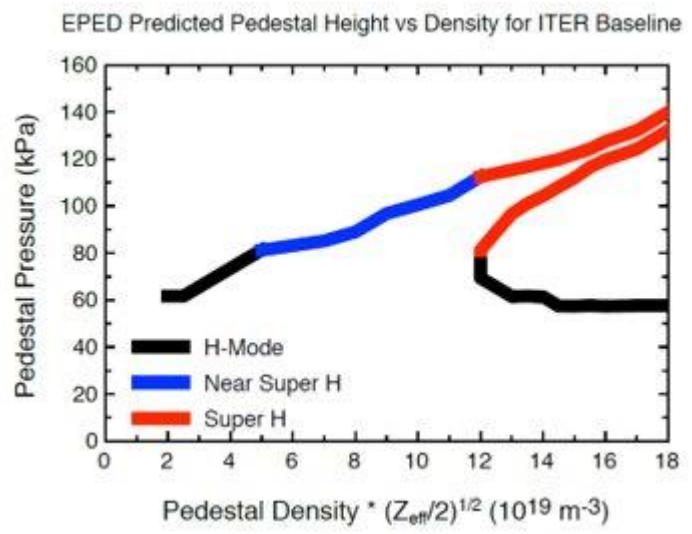
ITER scenáriók

Parameter	Inductive Operation	Hybrid Operation	Non-inductive Operation
Plasma Current, I_p (MA)	15	13.8	9
Safety Factor, q_{95}	3.0	3.3	5.3
Confinement Time, τ_E (s)	3.4	2.7	3.1
Fusion Power, P_{fus} (MW)	500	400	360
Power Multiplication, Q	10	5.4	6
Burn time (s)	300 – 500	1000	3000



Milyen más üzemállapotok vannak még?

- Nincsenek ELM instabilitások, mégis jó az összetartás (**QH mód**)
- Nincsenek ELM instabilitások, mert a plazma L-módban van (**RT L-mód**)
- A részecske-összetartás nem jó, az energiaösszetartás viszont igen (**I-mód**)
- És van a: **szuper H-mód!**





A fúzió, mint ideális energiaforrás

Bőséges üzemanyag: láttuk, hogy deutérium és trícium kell hozzá, ráadásul meglehetősen kevés (néhány 100 kg évente egy 1 GW-os erőmű működtetéséhez. Előbbiből sok van, utóbbit lítiumból tudjuk tenyészteni, ebből is sok van (pl. tengervíz, földkéreg).

Tiszta: nem keletkeznek végtermékként radioaktív izotópok. Azonban a szerkezeti elemek felaktiválódásával és a tríciumszivárgással vigyázni kell.

Biztonságos: láncreakció és megszaladás nincs. Radioaktív anyag viszont jelen van (lásd fentebb), így a működés minden fázisában tartani kell a mérnöki gátakat.

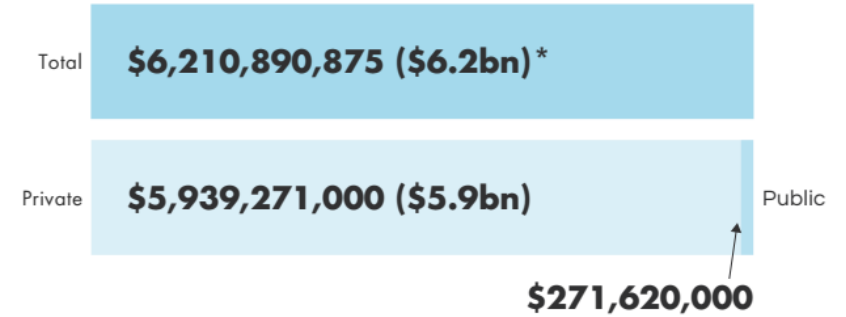
Szabályozott: a D-T fúzió kicsiben nem megy. A plazma teljesítménye perces időskálán változtatható, de ezt a technológiának is támogatnia kell. A reaktor-releváns üzemállapotokat még kutatni kell, ahogy a folyamatos működés kialakítása is tartogat még kihívásokat.



Mi a helyzet a startupokkal?



Jelenleg 40+ nagyobb magáncég
Főleg az USA-ban (egyelőre)



Fusion Industry Association report 2023.



Mi a helyzet a startupokkal?

Jelenleg 40+ nagyobb magáncég

Területileg: USA, UK, Németország, Kanada, Kína, Japán, India

Vannak köztük régi motorosok (pl. Princeton Fusion Systems – 1992., vagy a TAE Technologies – 1998.) és teljesen újak (pl. Commonwealth Fusion – 2018., vagy a Proxima Fusion – 2023).

Vannak függetlenek (pl. TAE Technologies) és nagyobb egyetemek/kutatóintézetek spin-out cégei (pl. Commonwealth Fusion Systems – MIT, Proxima Fusion – IPP).

2021: az első olyan év, amikor több pénz áramlik a magáncégekbe, mint az állami finanszírozású kutatásba.



Mit csinálnak?

Van, aki csak ígéretet (a nagy része ilyen), de még a koncepció sem látszik kivitelezhetőnek.

Van, aki elővesz egy régi ötletet és megpróbálja újra életre kelteni. Ez kivitelezhető, de az eredmény kétséges. Például:

- Zap Energy – Theta pinch
- TAE Technologies – Field Reverse Configuration
- General Fusion, Helion Fusion – Összenyomott Field Reverse Configuration

Van, aki be akar kapcsolódni a fúziós ipar ellátási láncába (pl. szupravezető mágneseket gyárt).



Mit csinálnak?

Van, aki teljes (nagy)berendezést épít, amiben egy új technológiát rövidebb időtávon próbál megvalósítani, mint az állami finanszírozású kutatások időbeli lehetőségei.








Tokamakok:

- SPARC/ARC (Commonwealth Fusion Systems) – magashőmérsékletű szupravezetőkkel nagyobb mágneses tér előállítása → kisebb berendezés (olcsóbb, könnyebb megépíteni stb.)
- STEP (Spherical Tokamak for Energy Production – UKAEA(!) → UK Industrial Fusion Solutions Ltd.) – szférikus tokamak koncepció további fejlesztése erőművé.
2024-re koncepcionális tervek, 2035-re fúziós égés(!), áramtermelés a hálózatra 2040-re.



Mit csinálnak?

Sztellarátorok:

- Type One Energy 
- Proxima Fusion (a mágneses tér további optimalizációja – QI) 
- Renaissance Fusion (magashőmérsékletű szupravezetők, folyékony fém divertor, saját szabadalom a szupravezetők gyártására, HTS felhelyezése közvetlenül a vákuumkamrára) 
- ~~Princeton Stellarators~~ → Thea Energy (sztellarátor csak síktekercecsekből, sztellarátor neutronforrás) 
- Helical Fusion (folyékony fém falelemek, WISE szupravezetők fejlesztése, anyagfizikai fejlesztések, távoli karbantartás) 



Jó ez nekünk? Előbb lesz így fúziós erőmű?

Nem véletlenül kellett államközi összefogás eredetileg a fúziós fejlesztésekhez.

Sokat fejlődött a technológia, nem?

Igen és ezt ezek a cégek ki is használják (public-private partnerships (PPP): állami finanszírozású kutatás → publikációk; magáncégek kutatása → szabadalmak, de minimum üzleti titok. → Érdekellentétek!

Nincs jogi környezet a megfelelő együttműködésre (ne csak „lenyúlják” a magáncégek a kutatóintézeteket) → USA már elkezdett erre figyelni.

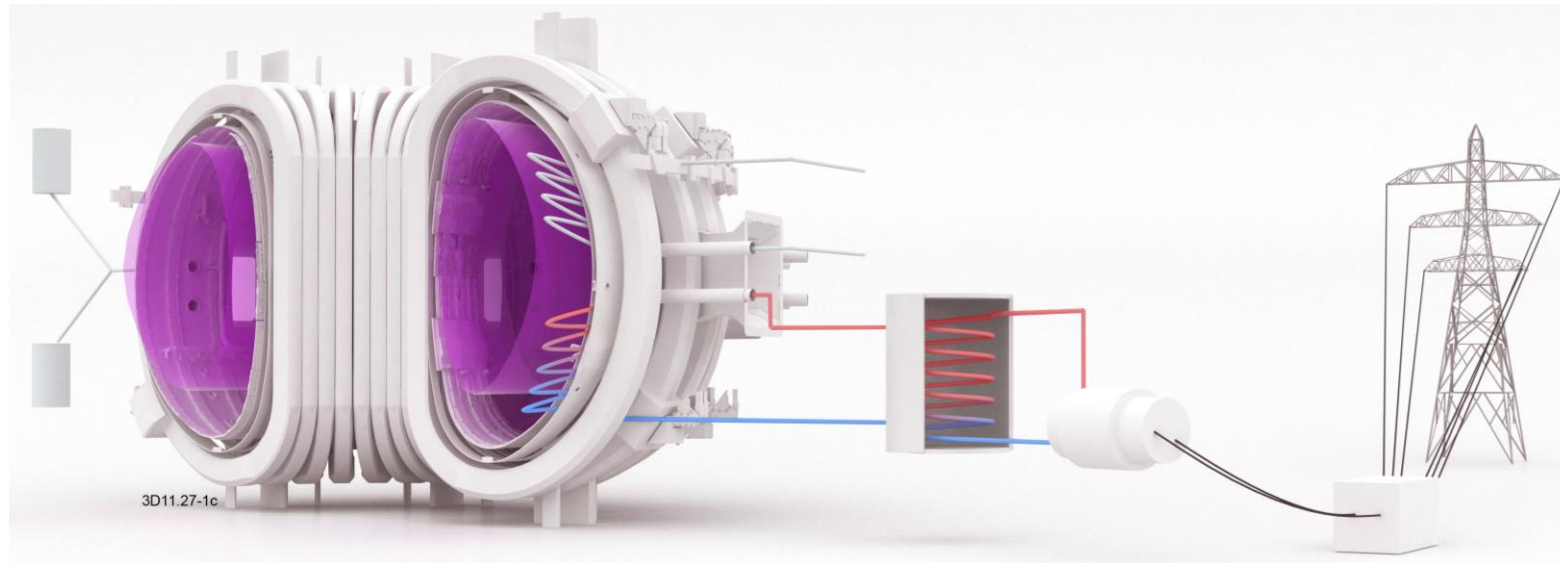


Mi a helyzet állami szinten?

ITER nemzetközi összefogásban – kísérleti projekt ↔ DEMO – mindenki épít egyet magának!

2021-2027: koncepcionális tervezés fázisában

2051: az erőmű indulása, 750 MW hálózatra táplált villamosenergia (2000 MW hőenergia)



EU-DEMO

Mi a helyzet állami szinten?

A koncepcionális tervezés 2015-ben készen lett.

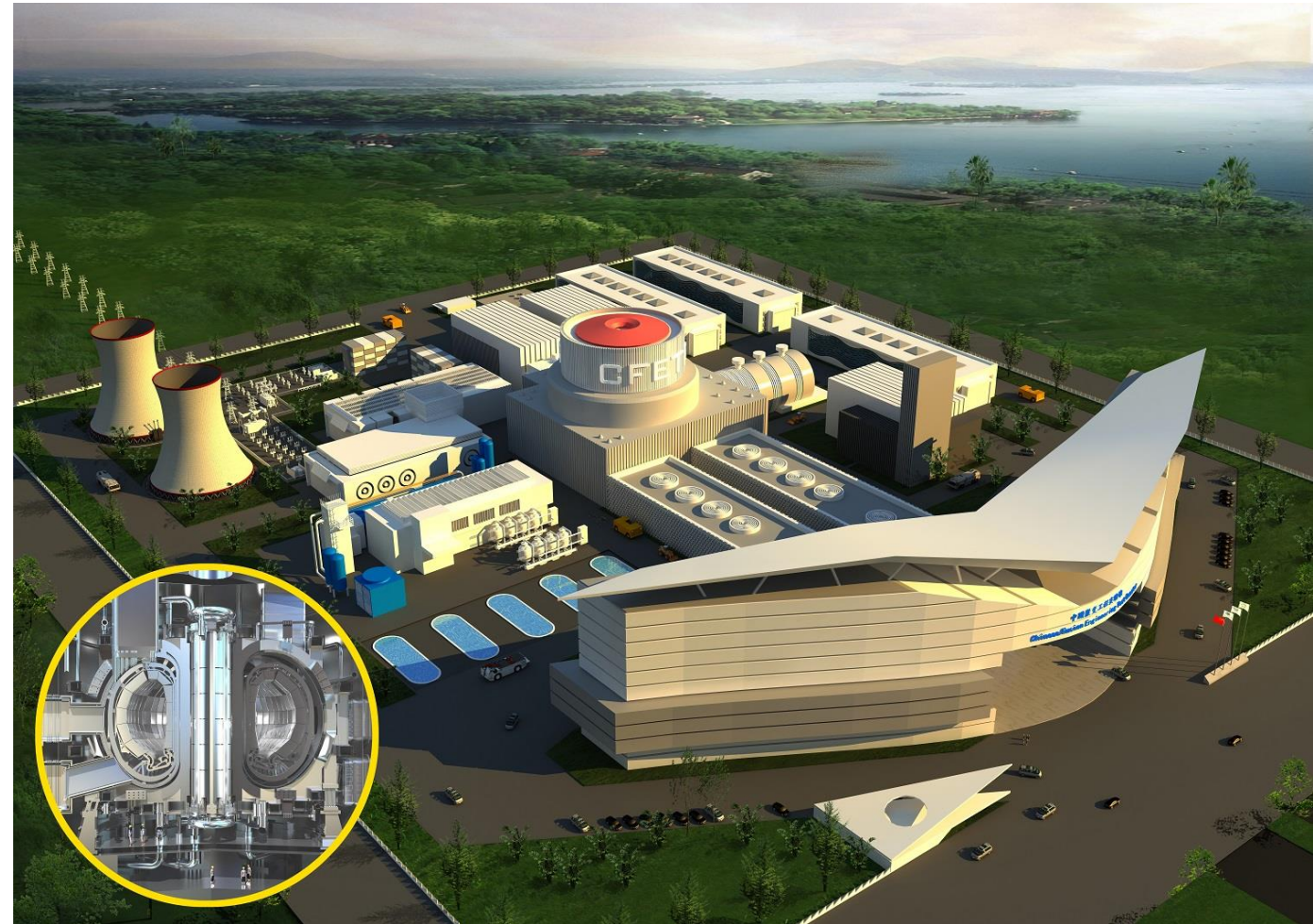
2020-2030: építés (még nem kezdődött el)

Cél:

Első fázis: 200 MW fúziós teljesítmény demonstrálása

Második fázis: 1 GW fúziós teljesítmény (DEMO validálás)

Neutronbesugárzásos tesztek fúziós környezetben.



CFETR – Chinese Fusion Engineering Test Reactor



Mi a helyzet állami szinten?

Dél-Korea: 2012., a „K-DEMO” koncepcionális tervezése elkezdődött, az építés kezdete: 2037., elektromos energiatermelés: 2050.

Első fázis (2037–2050.), komponensek fejlesztése és tesztelése. Második fázis: 2050 után; villamosenergia-termelés demonstrálása a hálózatra.

USA: nemzeti program indult, a privát szektor bevonásával a fúziós energia kommerciális hasznosításáért. 2035 és 2040 között tervezik felhozni magukat a világ vezető fúziós hatalmává, 2050-re állnának át karbonsemleges (vagy alacsony kibocsátású) technológiákra. Koncepcionális tervezés fázisában: Fusion Pilot Plant.

India bejelentette, hogy elkezdte az SST-2 építését, mely komponenseket fejleszt és tesztel a DEMO-hoz. Indulása 2027-ben várható. 2037-ben kezdenék az indiai DEMO építését.

Japán: DEMO koncepcionális tervezése folyik (JA DEMO), az építkezés várható kezdete: 2035.

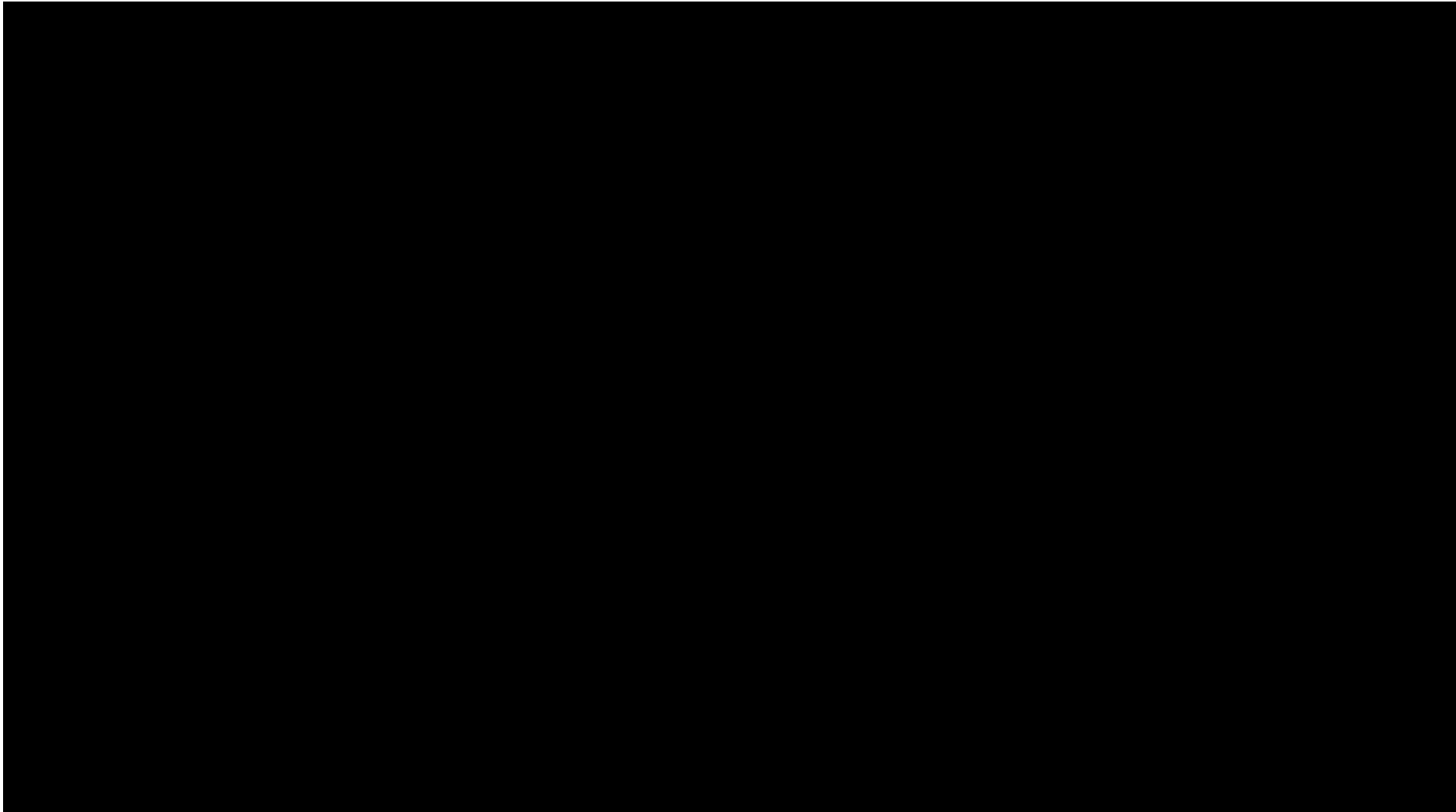
Oroszország: fúziós-fisszió hibrid létesítményt tervez DEMO Fusion Neutron Source (DEMO-FNS) néven, célja a fissziós üzemanyagok hatékonyabb előállítása, a végtermékek kezelése. A DEMO-FNS építését 2023-ban tervezték (nem indult még el), az ország 2050-re szintén szeretne hálózatra termelő fúziós erőművet, a DEMO-FNS ezen törekvések része.



De nagyon előreszaladtunk...



Az ITER telephely 2023 áprilisában



<https://www.youtube.com/watch?v=iHZjgPSfZNs>



Energiatudományi Kutatóközpont
Fúziós Plazmafizika Laboratórium



Köszönöm a figyelmet!