



A MAGYAR
TUDOMÁNY
ÜNNEPE

MTA



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2



Melyik út a legrövidebb a fúzióhoz?

2024. november 8.

POKOL GERGŐ

BME TTK Nukleáris Technikai Intézet, egyetemi docens,

Magyar Nukleáris Társaság, elnök



Total 162 **Tokamaks 79** **Stellarators/Heliotro.. 23** **Laser/Inertial 14** **Altern. Concepts 46** **Exp 141** **Plant 21**

● Tokamaks
● Stellarators/Heliotrons
● Laser/Inertial
● Altern. Concepts



Country	Count
United States	45
Japan	26
China	14
Russia	13
United Kingdo..	8
France	5
Germany	5
Italy	4
Pakistan	4
Sweden	4
Brazil	3
Canada	3
India	3
Iran	3
Republic of K..	3
Costa Rica	2
Czech Republic	2
Spain	2
Switzerland	2
Ukraine	2
Australia	1
Denmark	1
Egypt	1
European Uni..	1
Israel	1
Kazakhstan	1
Libya	1
Portugal	1
Thailand	1

Operating 100 **Under construction 14** **Planned 48**

Public 111 **Private 51**

[IAEA Fusion Device Information System (FusDIS) (2024)]



A MAGYAR
TUDOMÁNY
ÜNNEPE

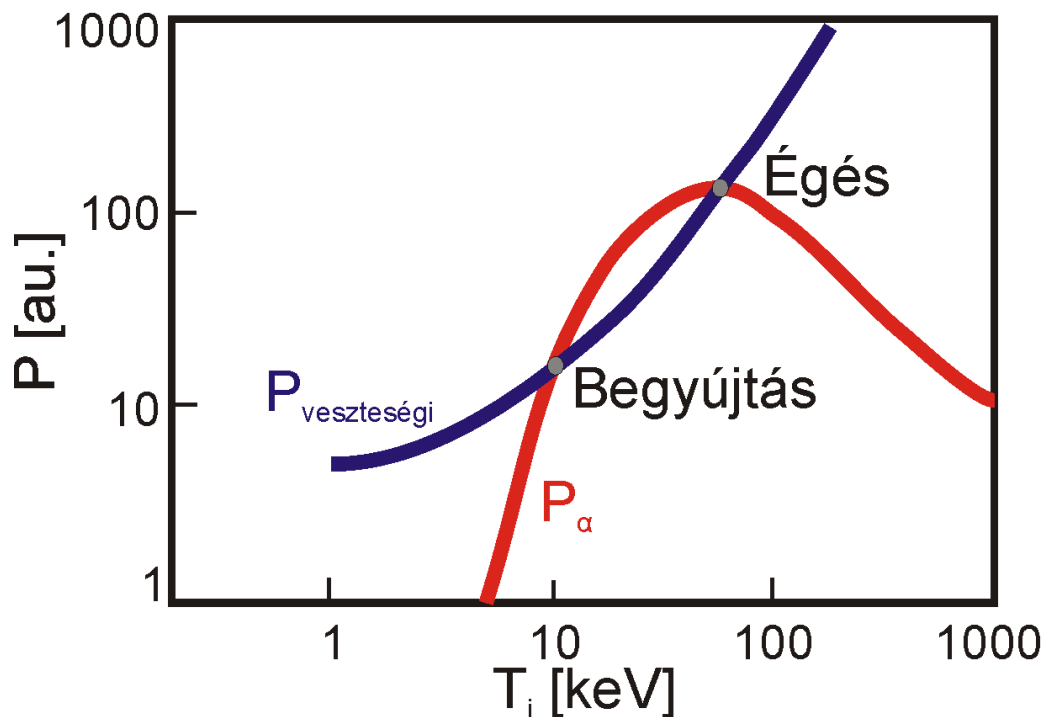
MTA



Hogyan lehet ezeket összehasonlítani?

Folytonos vagy tranziens működés?

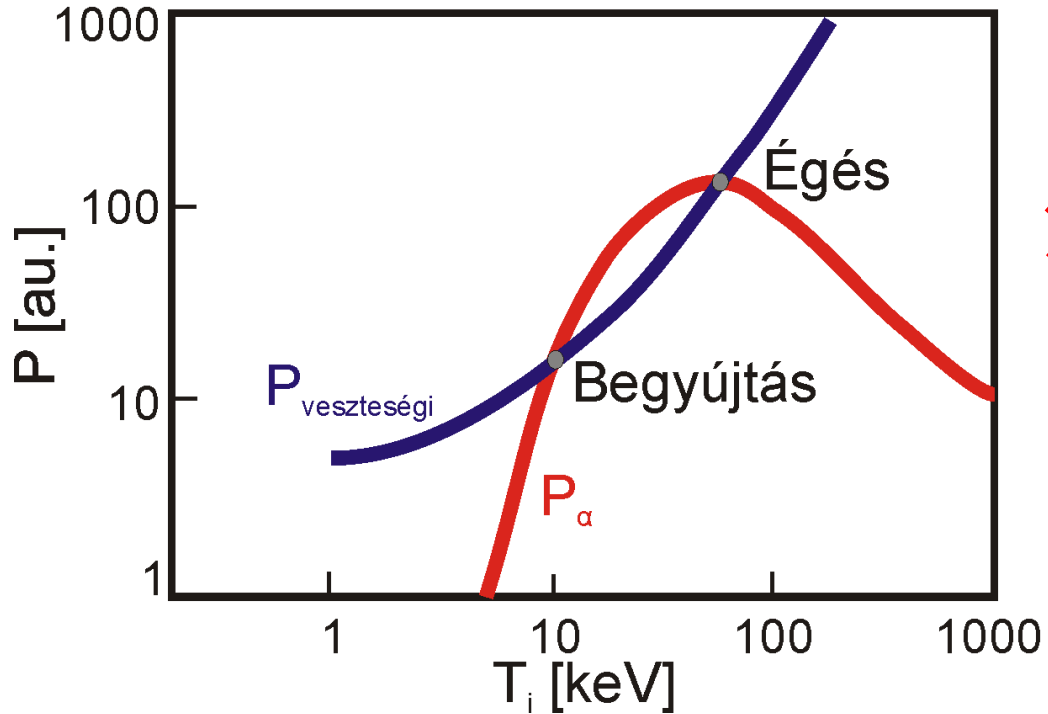
α -részecske fűtés



(Minden fúziós reakcióban keletkezik töltött részecske, ami tud fűteni.)

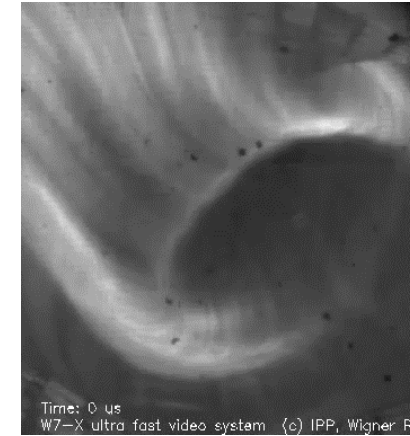
Folytonos vagy impulzus működés?

α -részecske fűtés



(Minden fúziós reakcióban keletkezik töltött részecske, ami tud fűteni.)

Folytonos üzemben a fűtés kikapcsolható!



[Wendelstein 7-X]

Impulzus üzemben a fűtés hatásfoka kritikus!



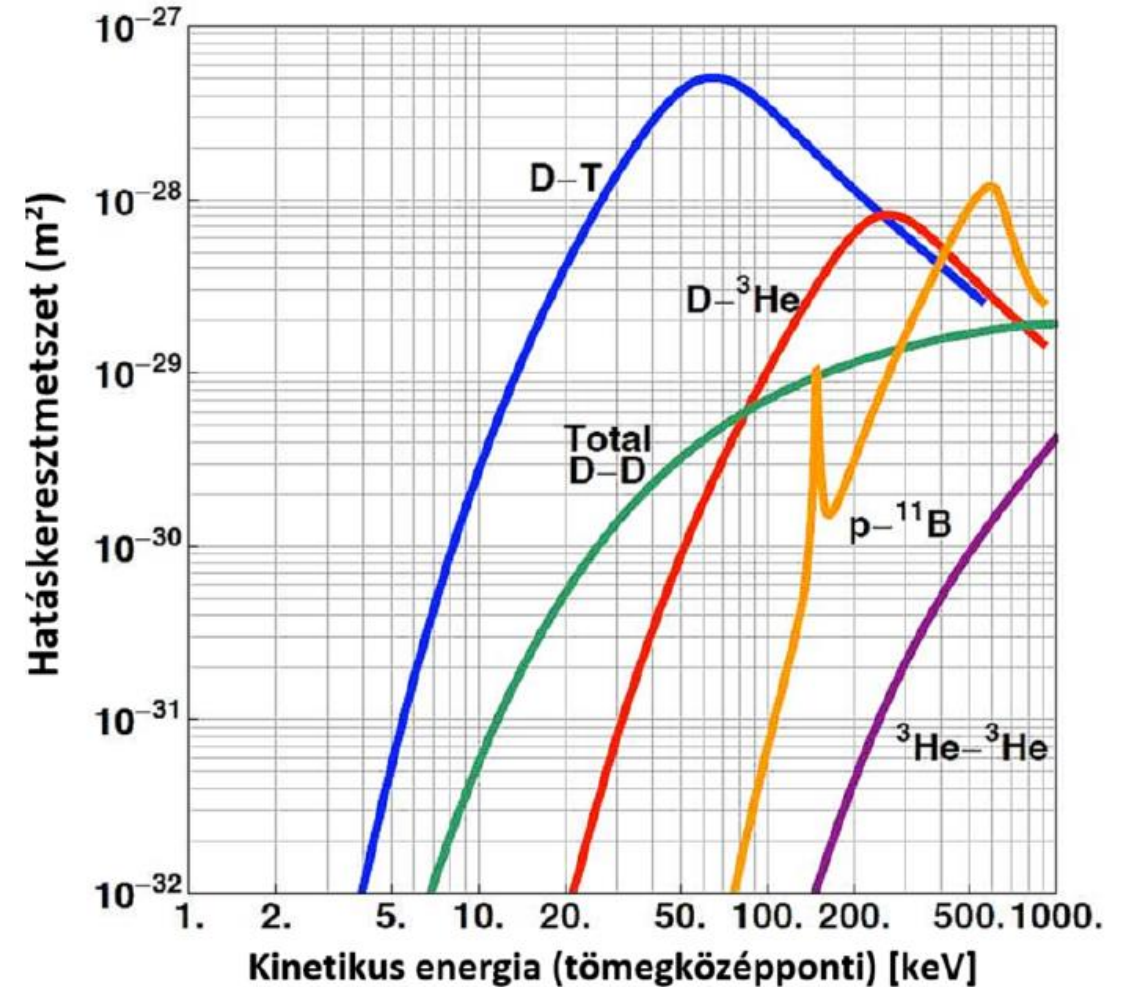
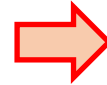
[Zap Energy]

Termikus plazma vagy gyors részecskék?

Fúziós reakciókat létrehozni könnyű:

Az egyik részecskét felgyorsítjuk, és rálőjük a másik részecskére!

→ Így remekül kimérhetők pl. a **hatáskereszt-**
metszetek!



Termikus plazma vagy gyors részecskék?

Fúziós reakciókat létrehozni könnyű:

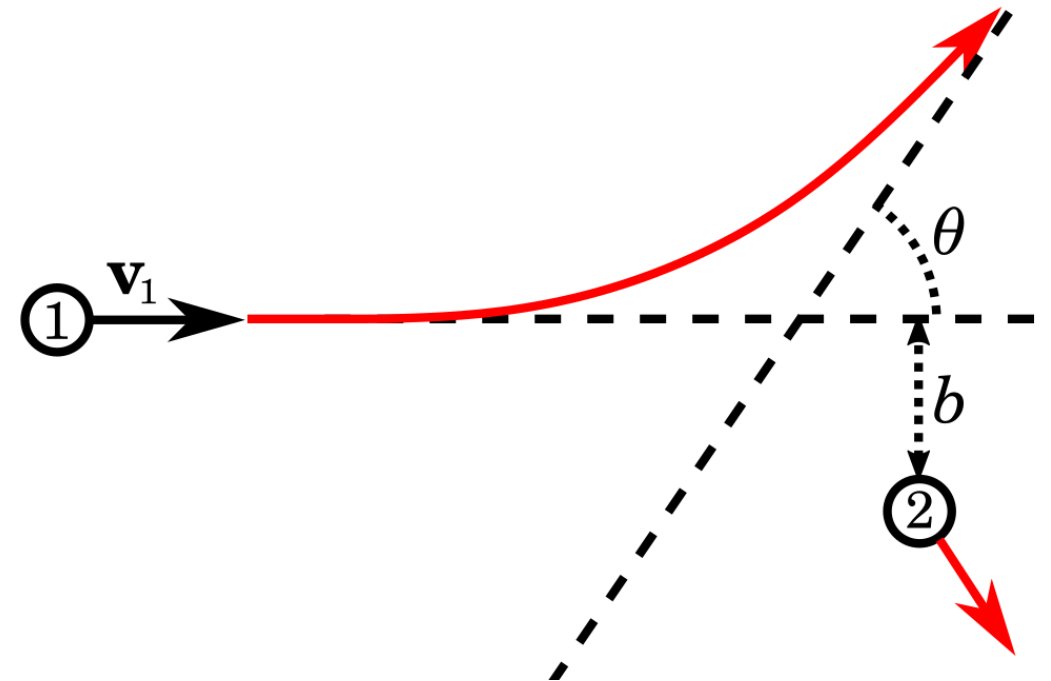
Az egyik részecskét felgyorsítjuk, és rálőjük a másik részecskére!

→ Így remekül kimérhetők pl. a hatáskeresztmetszetek!

A rugalmas Coulomb-szórás sokkal valószínűbb:

100 000-szer gyakoribb, mint a fúzió!

A rugalmas ütközések elosztják az energiát, és így már nem jöhet létre fúzió!



Termikus plazma vagy gyors részecskék?

Fúziós reakciókat létrehozni könnyű:

Az egyik részecskét felgyorsítjuk, és rálőjük a másik részecskére!

→ Így remekül kimérhetők pl. a hatáskeresztmetszetek!

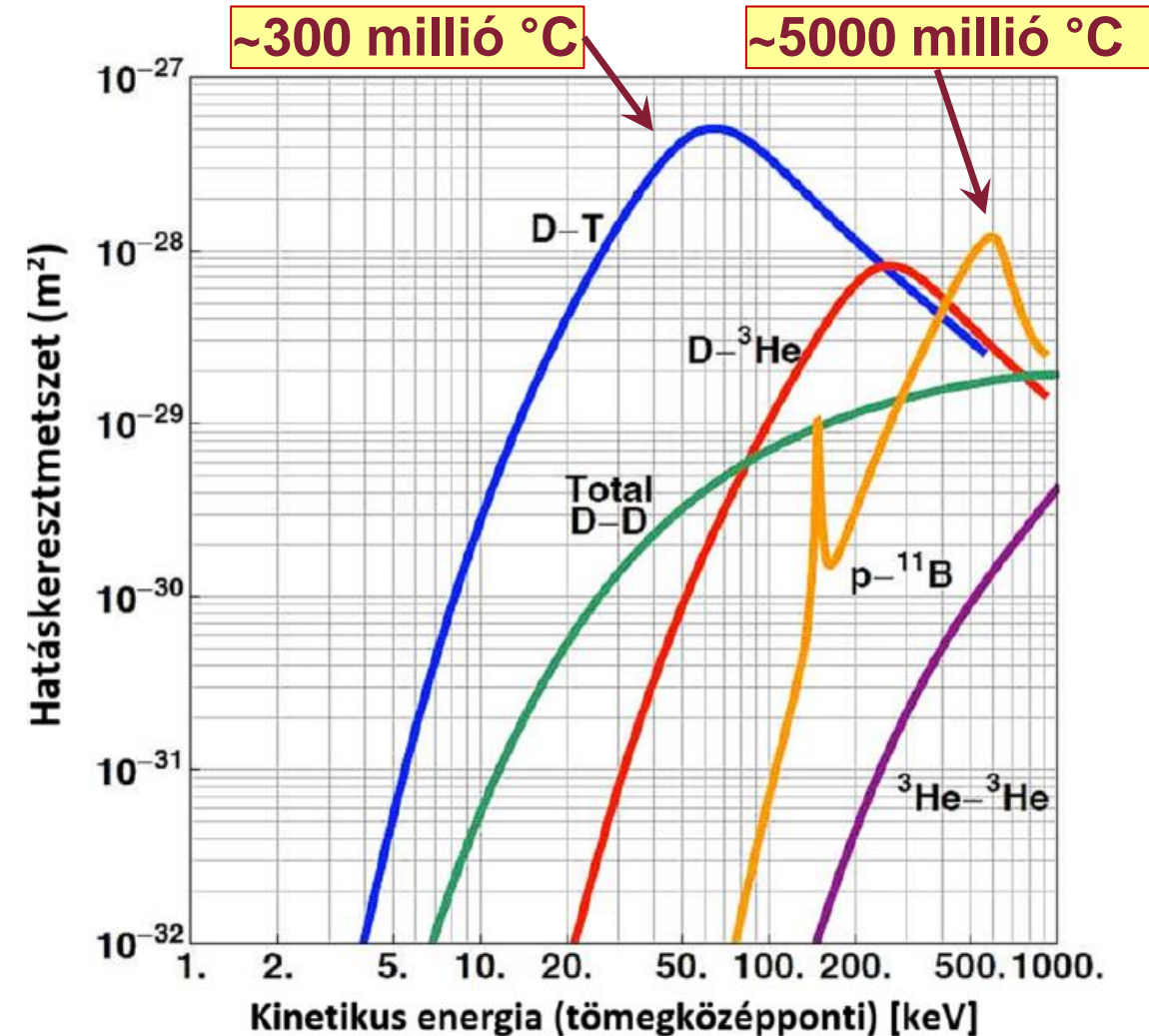
A rugalmas Coulomb-szórás sokkal valószínűbb:

100 000-szer gyakoribb, mint a fúzió!

A rugalmas ütközések elosztják az energiát, és így már nem jöhet létre fúzió!

A rugalmas szórás termikus közegben csak újraosztja az energiát:

Ha az átlagos részecskeenergia elég a fúzióhoz, akkor nem baj!



Termikus plazma vagy gyors részecskék?

Fúziós reakciókat létrehozni könnyű:

Az egyik részecskét felgyorsítjuk, és rálőjök a másik részecskére!

→ Így remekül kimérhetők pl. a hatáskeresztmetszetek!

A rugalmas Coulomb-szórás sokkal valószínűbb:

100 000-szer gyakoribb, mint a fúzió!

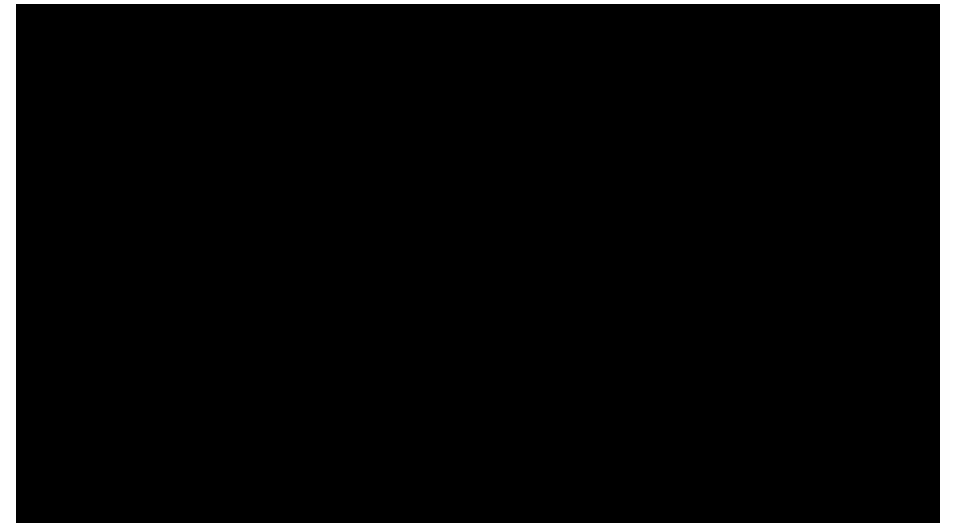
A rugalmas ütközések elosztják az energiát, és így már nem jöhet létre fúzió!

A rugalmas szórás termikus közegben csak újraosztja az energiát:

Ha az átlagos részecskeenergia elég a fúzióhoz, akkor nem baj!

Minél közelebb áll a plazma az egyensúlyi sebességeloszláshoz, annál kevesebb veszteséget okoznak a rugalmas ütközések!

Egyes berendezéstípusokban a gyors részecskék a stabilitáshoz is kellhetnek!



Működési elv - megvalósíthatóság?

1. Szükséges-e új fizikai folyamat?

1. Magfizika (műon-katalizált, szilárdtestfizikával csatolt magfizika?, lézerterekkel csatolt magfizika?)
2. Fúziós "láncreakció" termalizáció nélkül?

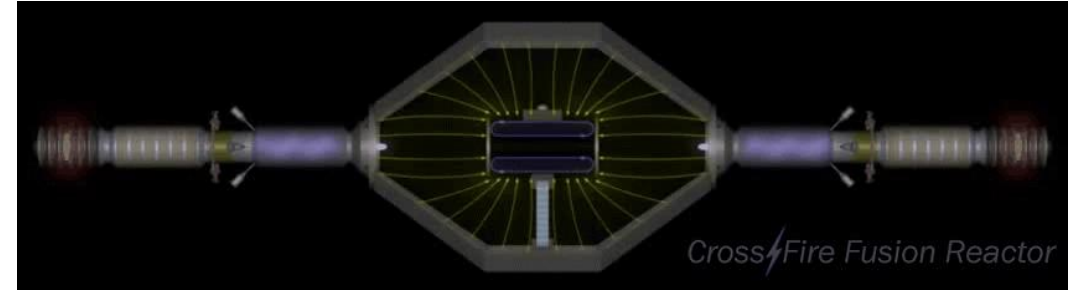
2. Mennyi új technológia szükséges?

1. Tríciumszaporítás a köpenyben
2. Neutronmentes fúziós reakciók
3. Neutronsugárzásnak ellenálló anyagok
4. Magashőmérsékletű szupravezetők
5. Rendkívüli szilárdságú szerkezeti anyagok
6. Vastag folyékony fém köpeny
7. Nagy hatásfokú lézerek

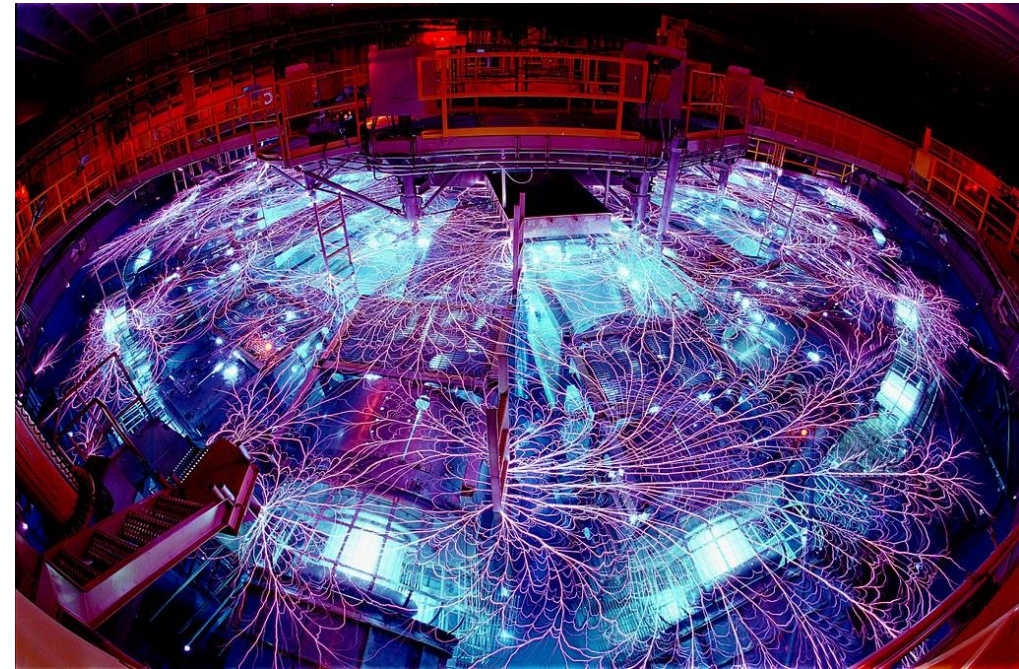
3. Fejlesztés időigénye

1. Fejlesztési ciklus hossza
2. Fejlesztési ciklusok szükséges száma
3. Kiegészítő technológiai rendszerek komplexitása

4. Gazdasági versenyképesség



[[CrossFire Fusion, https://www.crossfirefusion.com/](https://www.crossfirefusion.com/)]



[[Sandia Z-Machine, www.sandia.gov](http://www.sandia.gov)]



A MAGYAR
TUDOMÁNY
ÜNNEPE

MTA



Melyik a legrövidebb út a fúzióhoz?

Működési elv - megvalósíthatóság?

1. Szükséges-e új fizikai folyamat?

1. Magfizika (műon-katalizált, szilárdtestfizikával csatolt magfizika?, lézerterekkel csatolt magfizika?)
2. Fúziós "láncreakció" termalizáció nélkül?

Jobb, ha a fizikai alapok már tisztázottak!

2. Mennyi új technológia szükséges?

1. Tríciumszaporítás a köpenyben
2. Neutronmentes fúziós reakciók
3. Neutronsugárzásnak ellenálló anyagok
4. Magashőmérsékletű szupravezetők
5. Rendkívüli szilárdságú szerkezeti anyagok
6. Vastag folyékony fém köpeny
7. Nagy hatásfokú lézerek

**Minél kevesebb kifejlesztendő új technológia!
A fizikai alapok már legyenek meg!**

3. Fejlesztés időigénye

1. Fejlesztési ciklus hossza
2. Fejlesztési ciklusok szükséges száma
3. Kiegészítő technológiai rendszerek komplexitása

A berendezésméret fontos paraméter, de a technológia érettsége is!

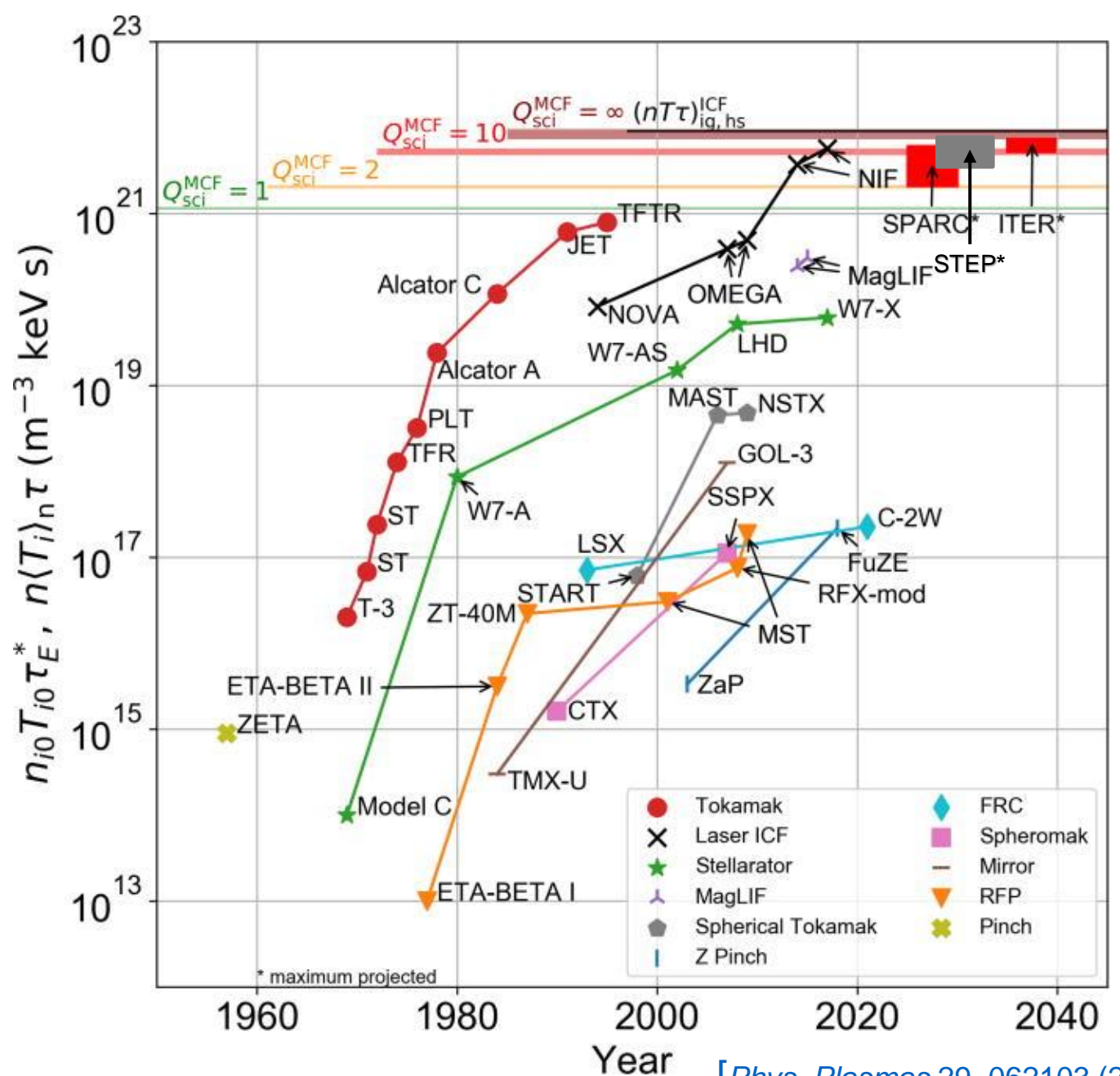
4. Gazdasági versenyképesség

A különböző koncepciók összehasonlítása

A közös mérték:

fúziós hármasszorzat =

= sűrűség x hőmérséklet x energiaösszetartási idő



[Phys. Plasmas 29, 062103 (2022)]

A különböző koncepciók összehasonlítása

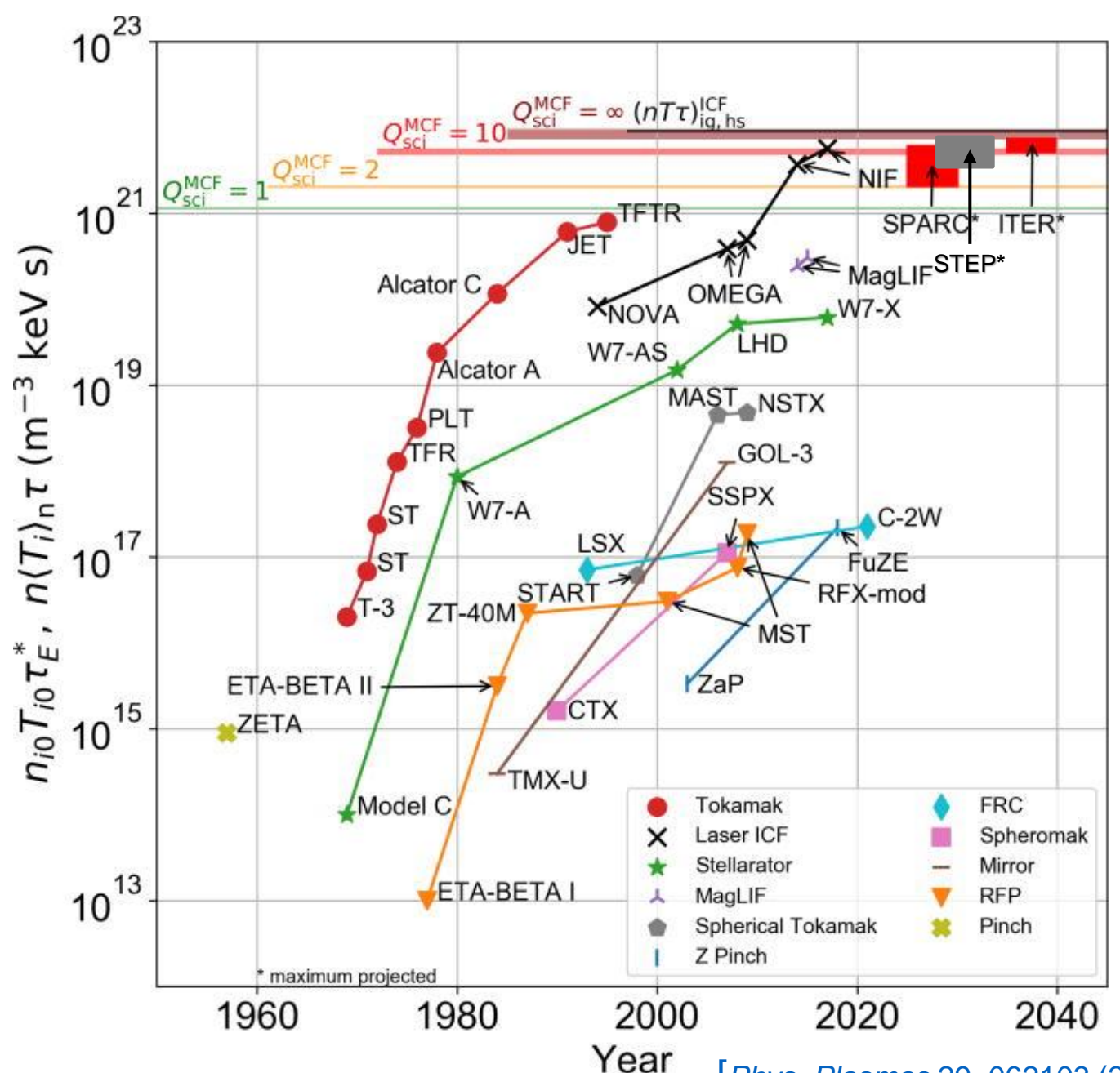
A közös mérték:

fúziós hármasszorzat =

= sűrűség x hőmérséklet x energiaösszetartási idő

Folyamatos üzemre képes:

Tokamak, sztellarátor,
szférikus tokamak, **RFP, tükör**



[Phys. Plasmas 29, 062103 (2022)]

A különböző koncepciók összehasonlítása

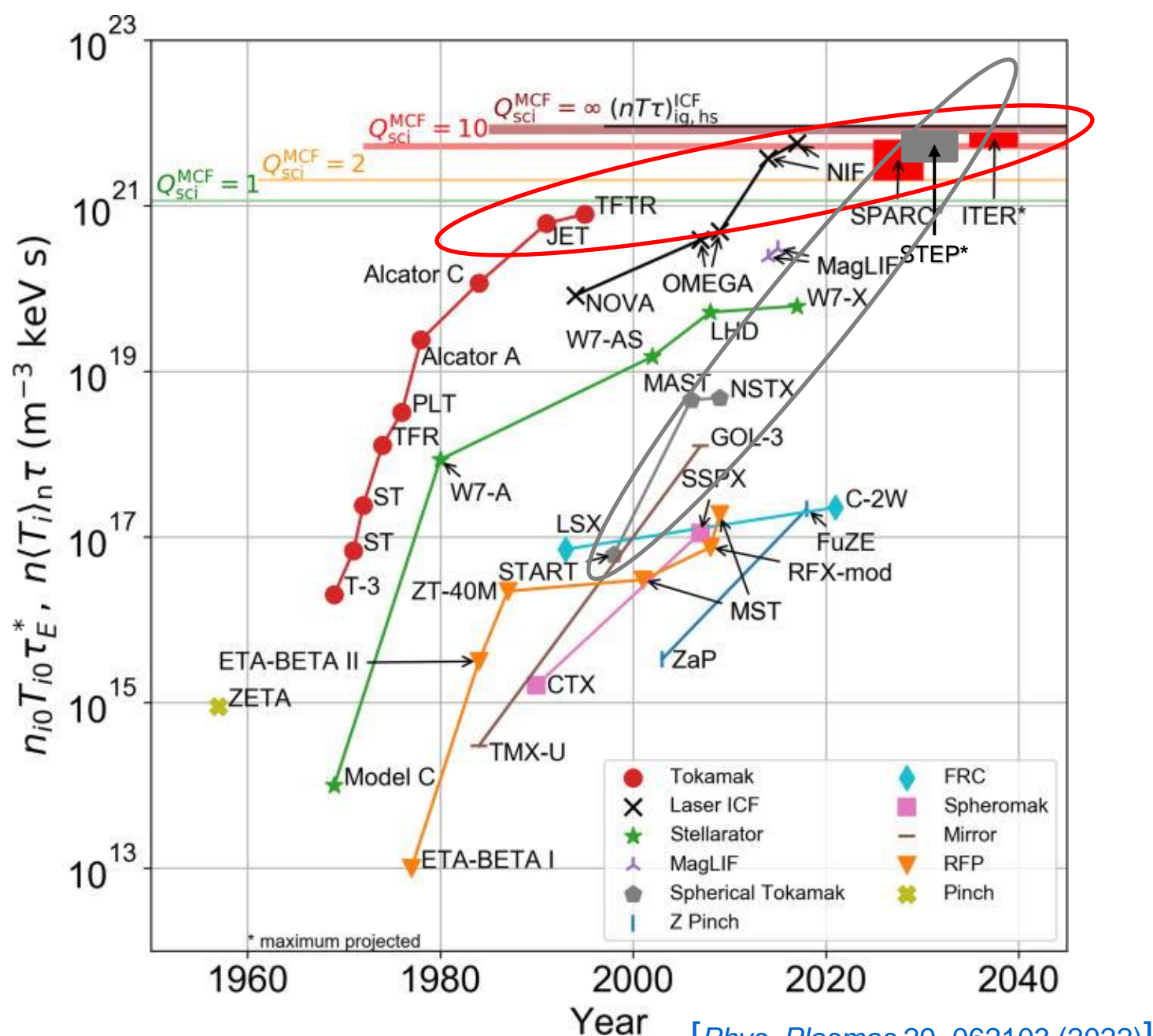
A közös mérték:

fúziós hármasszorzat =

= sűrűség x hőmérséklet x energiaösszetartási idő

Folyamatos üzemre képes:

Tokamak, sztellarátor,
szférikus tokamak, **RFP, mirror**



[Phys. Plasmas 29, 062103 (2022)]



A MAGYAR
TUDOMÁNY
ÜNNEPE

MTA



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2



Köszönöm
a figyelmet!

2024. november 8.

MTA