



A MAGYAR  
TUDOMÁNY  
ÜNNEPE

MTA

HUN-REN  
Magyar Kutatási Hálózat



Energiatudományi  
Kutatóközpont



# Magyarok a fúzióban

SZEPESI TAMÁS ZOLTÁN

plazmafizikus, projektvezető (JT-60SA videódiagnosztika)



[iter.org, ChatGPT]



A MAGYAR  
TUDOMÁNY  
ÜNNEPE

MTA

HIUN  
REN



# A kezdetek

# Simonyi Károly és a fúziós energiatermelés

A szabályozott fúziós kutatások

- az 50-es évek elején kezdődtek
- több országban, párhuzamosan, titkosított!

1958, Genf: 2. „Atoms for Peace” konferencia

- nyilvánosságra hozták az eredményeket  
(„30 év múlva megvalósul a fúziós reaktor”)

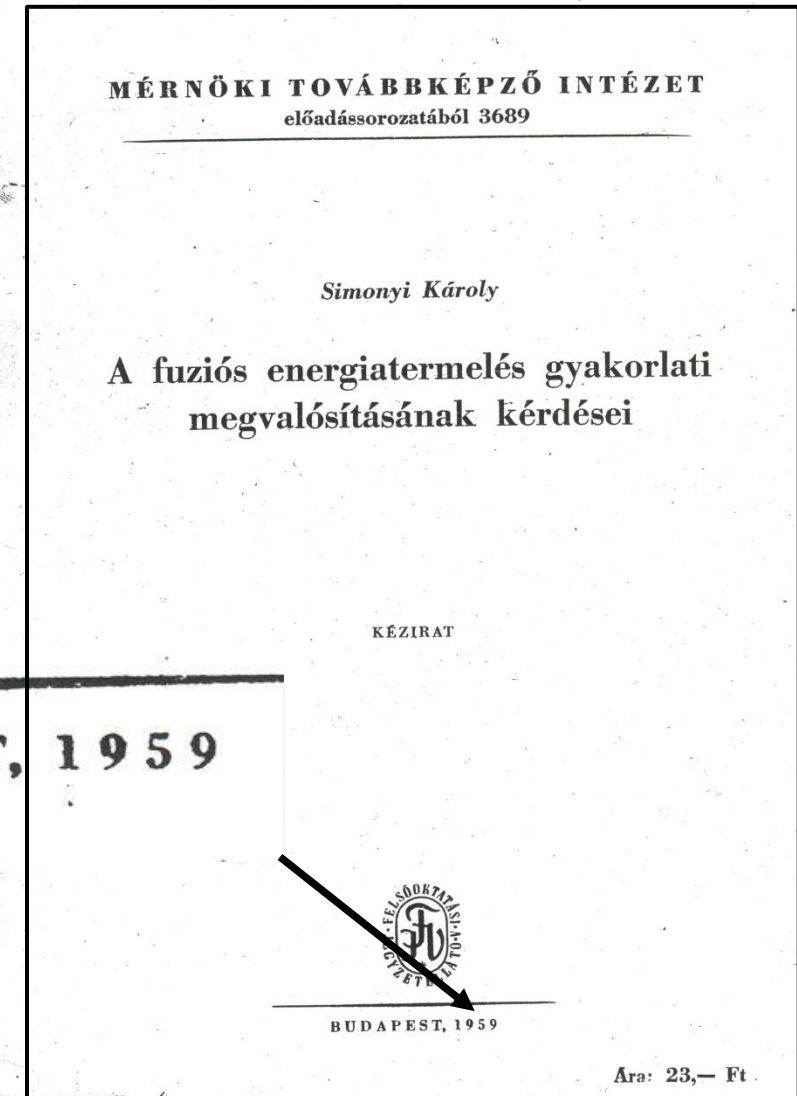
*Simonyi Károly már 1959-ben megjelentetett egy magyar nyelvű jegyzetet a fúziós energiatermelés megvalósításának lehetőségéről.*

*Ebben szinte mindennek az alapja benne van amivel ma foglalkozunk. Ez a munka sajnos félbemaradt.*



[Fortepan / Kereki Sándor]

Simonyi Károly



# Mindeközben a világ többi részén

1958 után

- útkeresés különböző mágneses összetartású konfigurációkkal
- lineáris csapda, toroidális pinch stb.

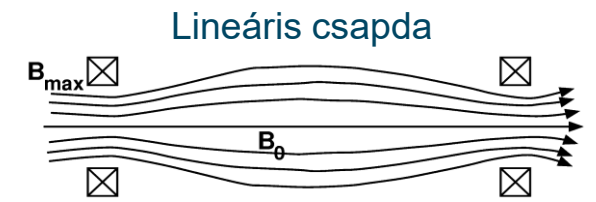
**1960: Tokamak** (Kurcsatov Intézet, Szovjetúnió)

- 1000 eV = 10 millió °C
- nemzetközi hitetlenkedés

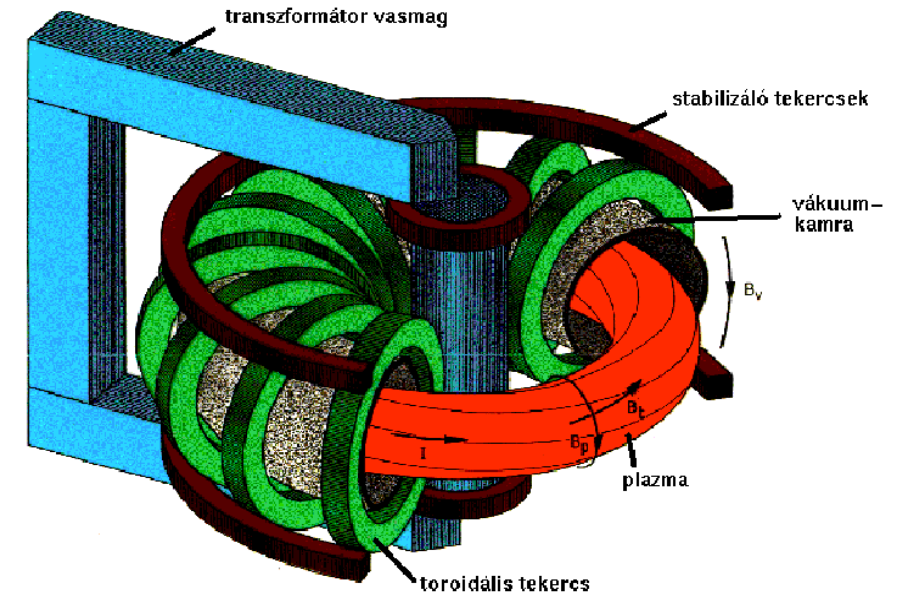
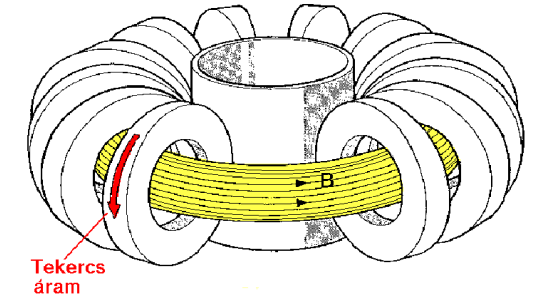
1969: Angol hőmérsékletmérés Moszkvában!

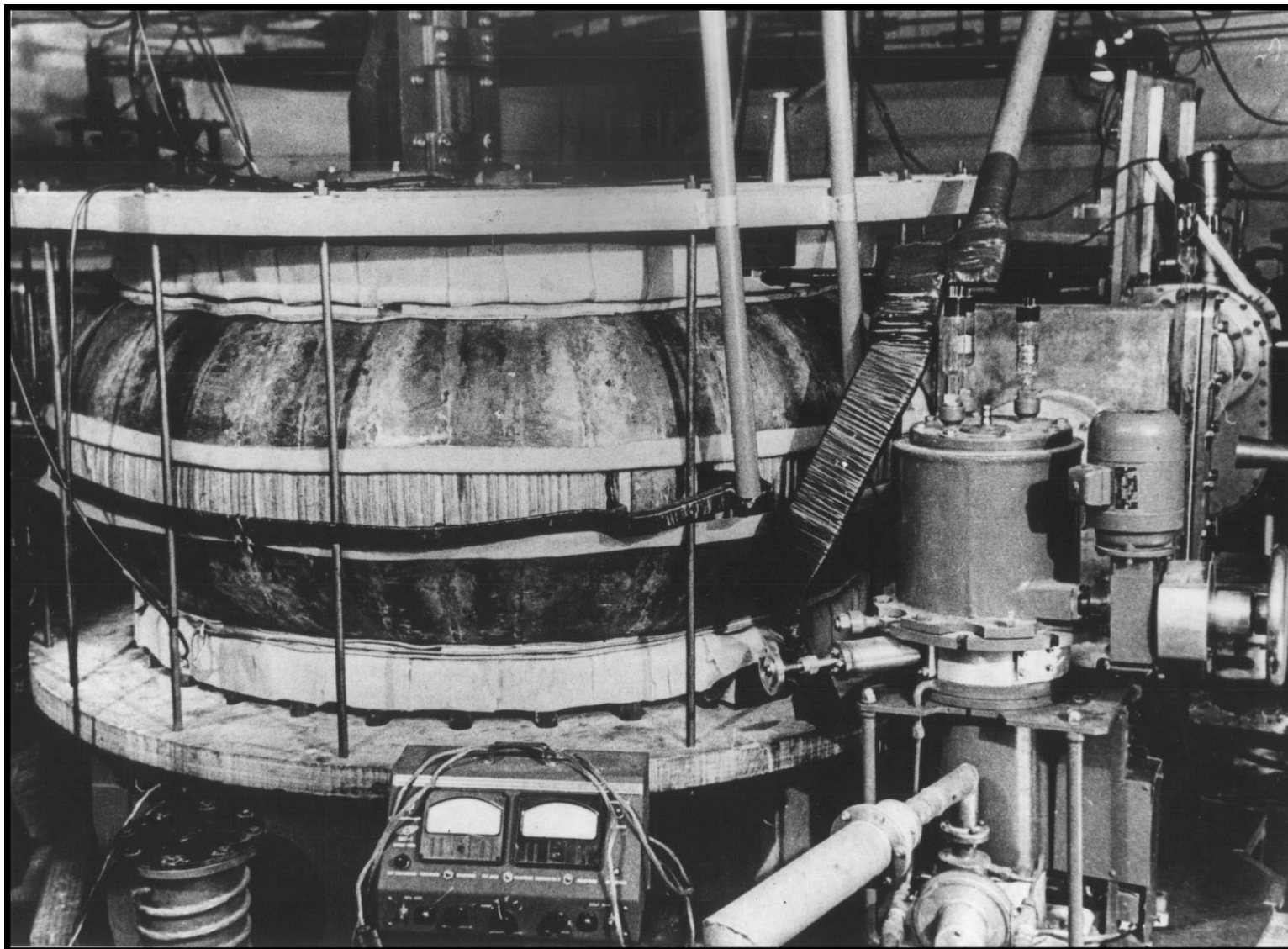
- lézeres Thomson-szórás a T3 tokamakon
- ✓ Igaz a hőmérséklet!

1970-80: Tokamak építési láz mindenhol



Toroidális pinch





# T1 TOKAMAK

a világ első tokamak berendezése

## Helyszín:

- Kurchatov Intézet, Moszkva

## Jellemzők

- réz vákuumtartály
- 0,4 köbméter plazma

<https://www.iter.org/sci/BeyondITER>



A MAGYAR  
TUDOMÁNY  
ÜNNEPE

MTA

HIUN  
REN



# Az MT-1 születése

# Az MT-1 születése

A világ tokamak építési lázban ég, nemzetközi verseny a „Q=1” körülményekért\*: USA, SzU, EU, Jp

A KFKI szeretett volna egy új nagyberendezést: ciklotron, lineáris gyorsító, tokamak...

➤ a korábbi ciklotron elment az ATOMKI-ba (Debrecen), egy gyorsító túl nagy lett volna

Ajándék az Efemov Intézetől: a korábbi TT-3 tokamak → MT-1 (Magyar Tokamak)

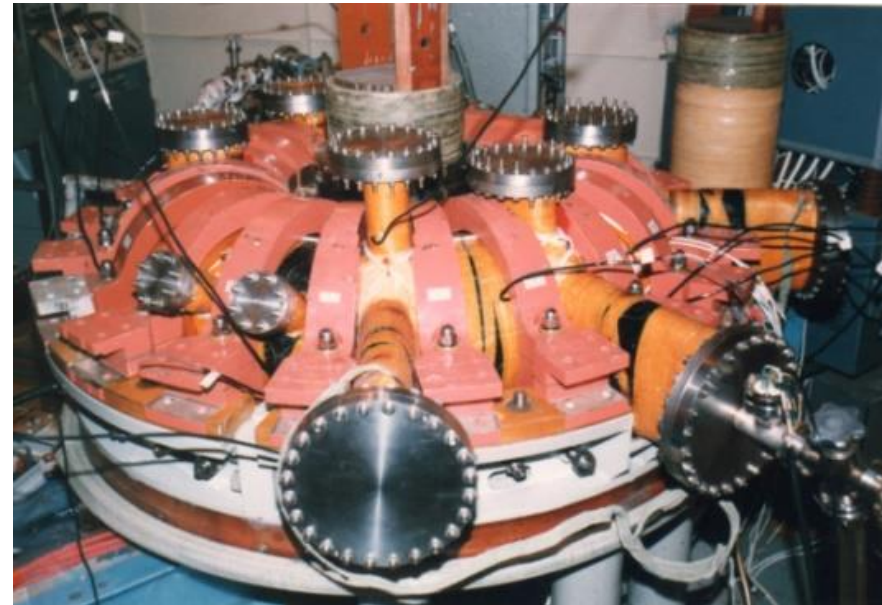
1975: célprogram a tokamak felépítésére, vezető: Pócs Lajos

1976-79: összeszerelés, beüzemelés

1979. május 31. első plazmakisülés

1979 vége: teljes üzemi paraméterek elérése

➤ 1,2 T mágneses tér, 35 kA plazmaáram



Pócs Lajos

[tudosnaptar.kfki.hu]

\* plazma fűtésére fordított teljesítmény = fúziós teljesítmény



# MT-1 TOKAMAK

az első magyar tokamak

## Helyszín:

- KFKI, Budapest

## Jellemzők

- korszerű (a maga nemében)
- speciális toroidális tekercsrendszer, gyorsan szétszedhető féltekercek
- vastag rézköpeny, a plazma stabilizálására
- kondenzátortelepes áramellátás
- ❑ viszonylag kevés megfigyelőport



# 80-as évek: MT-1

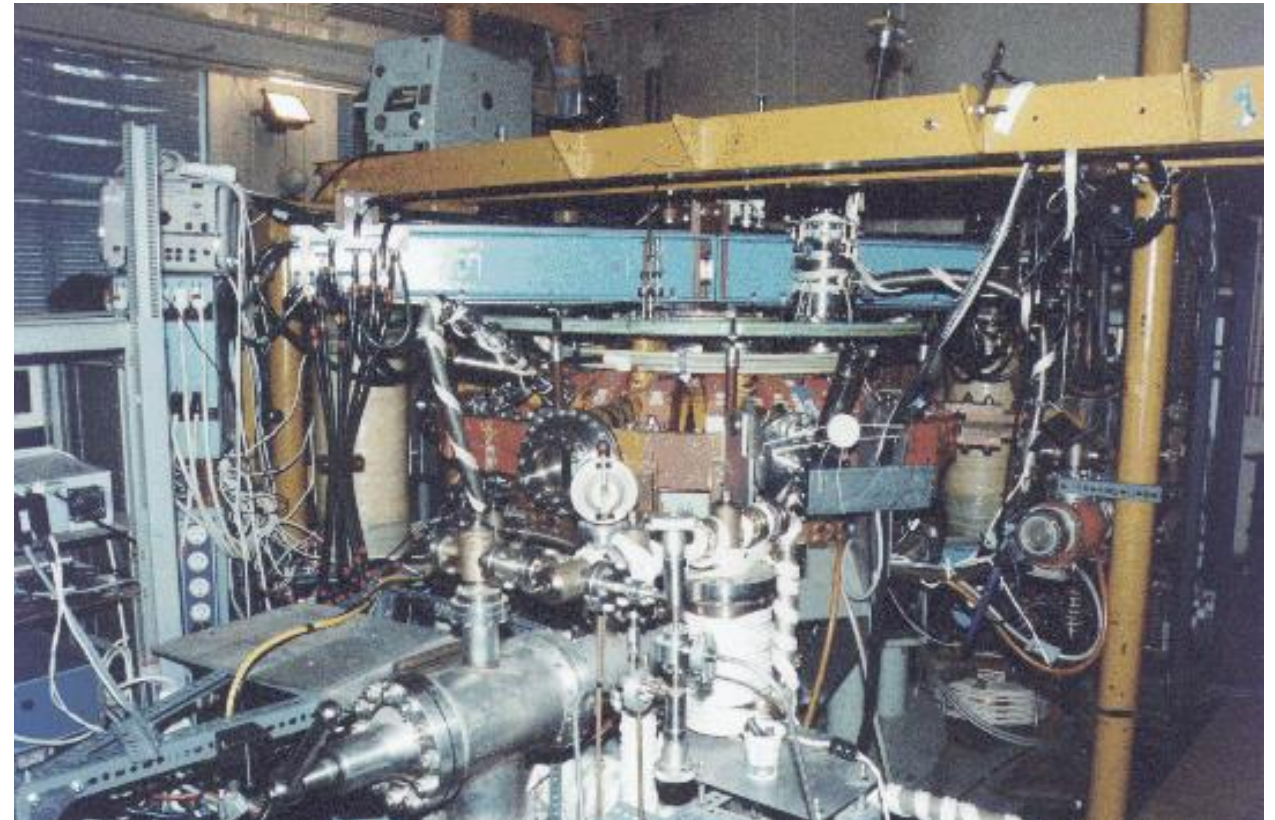
A fősodorbeli kutatások a nagy tokamakok irányába mutatnak  $\leftrightarrow$  mit adhat egy kis tokamak?

- Speciális technika fejlesztése: diagnosztika, fűtés – ha ez később adaptálható „nagyban” is
  - Adott jelenségkör részletes vizsgálata – nagyon drága / veszélyes lenne nagy tokamakon
- lézer blow-off technika (mikropelletek)
  - röntgen tomográfia
  - videódiagnosztika

# 90-es évek: MT-1M

1992-ben a tokamak nagyfelújítást kapott

- rézköpeny kikerült → aktív szabályozás
  - nagyobb vákuumkamra
  - több megfigyelőport
  - új, PC hálózatos adatgyűjtőrendszer
- sokkal részletesebb mérések



# Az MT-1M korszak vége

A magyar fúziós kutatások a kezdetektől fogva bizonyos problémákkal működtek:

- ❖ kiváló szakemberek, DE nem volt a *teljes tokamak technikát* egyben átlátó ember
- ❖ a programnak nem volt világos célja
- ❖ túl alacsony volt a kutatók létszáma (ideális: 15-20 kutató + ugyanennyi diák)
- ❖ a szovjet együttműködés a tokamak beüzemelése után lassan megszűnt

## 1993-95 között lényeges változások

- intenzív német kapcsolatok alakultak ki (Jülich, Garching)
- a munka egy része külföldre tolódott a nagyobb kísérletekhez
- megszűnt a fiatal utánpótlás, a csoport a kritikus tömeg alá került
- a tudományos teljesítmény értékelési szempontja egyedül a publikáció lett
  - a fúziós terület világszerte eleve keveset publikál
  - a kis tokamak kevésbé releváns
- az USA-ban csökkentették a fúziós költségvetést, leállították a TFTR-t
- a szovjet-orosz kutatások technikai és pénzügyi zsákutcába kerültek

**1997-ben döntés született a tokamak leállításáról** (MTA konszolidációja keretében)

# Az MT-1M korszak vége

A magyar fúziós kutatások a kezdetektől fogva bizonyos pro

- ❖ kiváló szakemberek, DE nem volt a *teljes tokamak tech*
- ❖ a programnak nem volt világos célja
- ❖ túl alacsony volt a kutatók létszáma (ideális: 15-20 kutató)
- ❖ a szovjet együttműködés a tokamak beüzemelése után la

## 1993-95 között lényeges változások

- intenzív német kapcsolatok alakultak ki (Jülich, Garching)
- a munka egy része külföldre tolódott a nagyobb kísérletek
- megszűnt a fiatal utánpótlás, a csoport a kritikus tömeg a
- a tudományos teljesítmény értékelési szempontja egyed

  - a fúziós terület világszerte eleve keveset publikál
  - a kis tokamak kevésbé releváns

- az USA-ban csökkentették a fúziós költségvetést, leállító
- a szovjet-orsz kutatások technikai és pénzügyi zsákutca

**1997-ben döntés született a tokamak leállításáról (MTA konszolidációja keretében)**

Az MT-1M tokamak vákuumkamrája  
a HUN-REN Wigner Fizikai Kutatóközpont épülete előtt



Az MT-1M tokamak vákuumkamrája

A tokamak több millió Celsius fok hőmérsékletű plazmát összezáró mágneses berendezés, amelyet az atomenergia fejlesztésére használnak. Az MTA KFKI RTKI-től 1979-től 1995-ig működött az MT-1, majd annak felújított változata, az MT-1M tokamak. Ezen a berendezésen végrehajtott kísérletek alapulá meg a tokamakok tervezéséhez szükséges energiatermelési célú nagyenergetikus kísérletekhez.

2012



A MAGYAR  
TUDOMÁNY  
ÜNNEPE

MTA

HIUN  
REN



# EURATOM, EUROfusion

# Fúzió Magyarországon, 2. menet

2000-ben Mo. belépett az EURATOM-ba, EU-s támogatás fúziós kutatásokra

- Elmélet vagy kísérlet? Saját kísérlet vagy bedolgozás meglévő nagy kísérletekbe?
- Diagnosztika-szolgáltató, főbb területek:
  - plazmaturbulencia
  - pelletek
  - fúziós reaktortechnológia

Jelentős fejlesztés saját technológiai bázis és ipari háttér kialakítására

- saját videokamera, lavinadióda detektorok, pelletbelövő, vákuumtechnika, gépészeti tervezés

2014 EUROfusion konzorcium – Európai Bizottság célja: 2050-es évekre valamennyi áramot termelni

- tagjai az európai fúziós laboratóriumok
- Fúziós Útiterv (Fusion Roadmap) a kutatások összehangolása érdekében
- egyetlen fejlesztési út: ITER – DEMO vonal, biztonsági tartalék: sztellarátor (Wendelstein 7-X)
- erős hangsúly a technológiai fejlesztéseken
- csak az ITER-hez és a DEMO-hoz szükséges feladatok kapnak EU-s támogatást

# Fúzió Magyarországon, 2. menet

A magyar fúziós csoport ismét fejlődésnek indult:

- mérnökcsoporth felállítása – lépést tartva a hangsúlyosabb technológiai iránnyal
- projekt management és informatikai háttér – elkerülhetetlen az együttműködésekhez
- szoros kapcsolat BME-vel (modellezés, optika, gépészet)

## Egyetemi oktatás, fúziós tantárgyak indítása

- BME (FuseNet ajánlása alapján felépített képzés) + ELTE, Szegedi Egyetem
- fúzió témájú államvizsga 2011-től
- magfúzió témájú tárgyak: 8 (2 bevezető, 6 haladó)
- ❖ sajnós a diákok elvándorlása jelentős
  - korábban a PhD-t, most már sokan az MSc-t is külföldön végzik
  - aki külföldre ment tanulni/dolgozni, később nem tért vissza a magyar fúziós kutatásba

A magyar fúziós csoport (EK (Wigner FK) + BME) globálisan jelentős fúziós kutatási szereplő lett

- számtalan diagnosztika projekt a berendezések finanszírozásában, 50-300 kEUR/db
- tudományos eredmények: jelentős publikációs tevékenység (nem a mennyiség, hanem a minőség...)

# Főbb kutatási területek: Videódiagnosztika

Saját fejlesztésű **intelligens kamera (EDICAM)**

- figyeli a berendezés teljes belső falát
- minden érdekes/veszélyes\* eseményt rögzítenek

Kommerciális **gyorskamera**

- rövid, de nagyon gyors eseményeket rögzítenek
- sebesség: akár 500 000 kép/mp

2015: Wendelstein 7-X: 10x EDICAM + 3x gyorskamera

2019: JT-60SA: 1x EDICAM



W7-X plazma EDICAM-mal

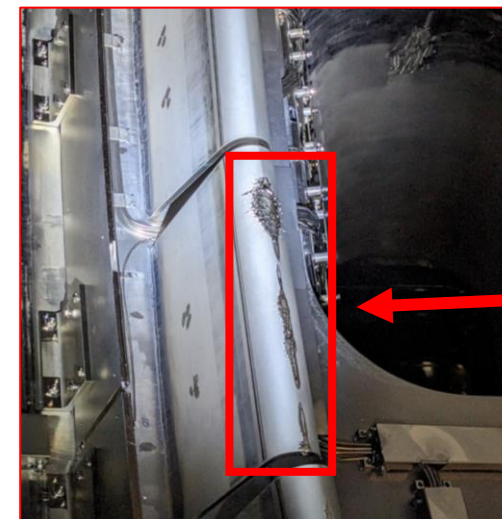


Ugyanez 1000x gyorsabb felvételen

Time: 0 us  
W7-X ultra fast video system (c) IPP, Wigner R



JT-60SA esemény észlelés EDICAM-mal



# Főbb kutatási területek: Nyalábemissziós spektroszkópia

Plazmába lőtt **atomnyaláb** (pl. Li, Na)

→ fényt bocsát ki a plazma hatására

→ gyors plazmasűrűség-mérés (1 millió mérés / mp)

Magyar fejlesztésű és gyártású **megfigyelőrendszerek**

→ detektor alakja és érzékenysége a nyalábhoz optimalizált

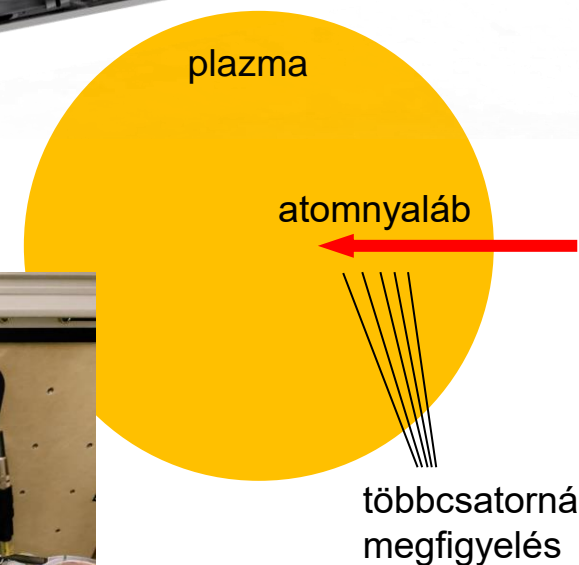
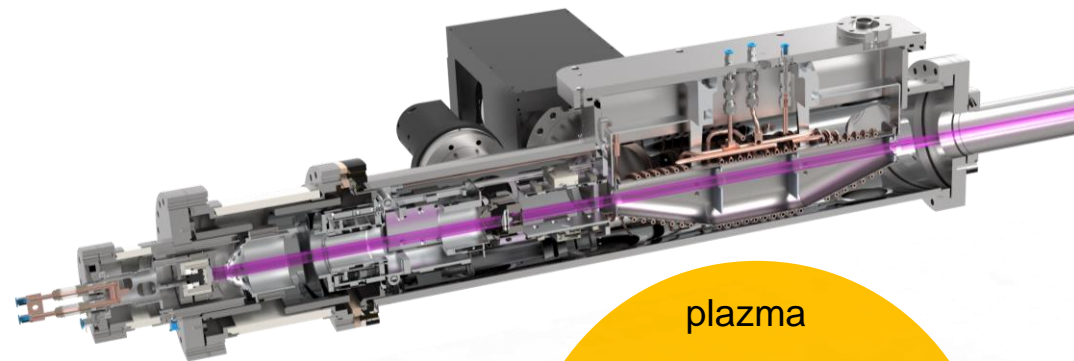
MAST, MAST-U, JET (UK)

ASDEX Upgrade, Wendelstein 7-X (D)

COMPASS (CZ)

TCV (CH)

KSTAR (Korea), EAST (Kína)



MAST-U optikai rendszer



# Főbb kutatási területek: Törtpellet-belövő fejlesztése

**Diszrupció** az ITER és a nagy tokamakok esetében:

- nagy hő- és erőhatások, belső fal túlterhelődhet
- el kell kerülni, szükség esetén a **hatásait csillapítani**

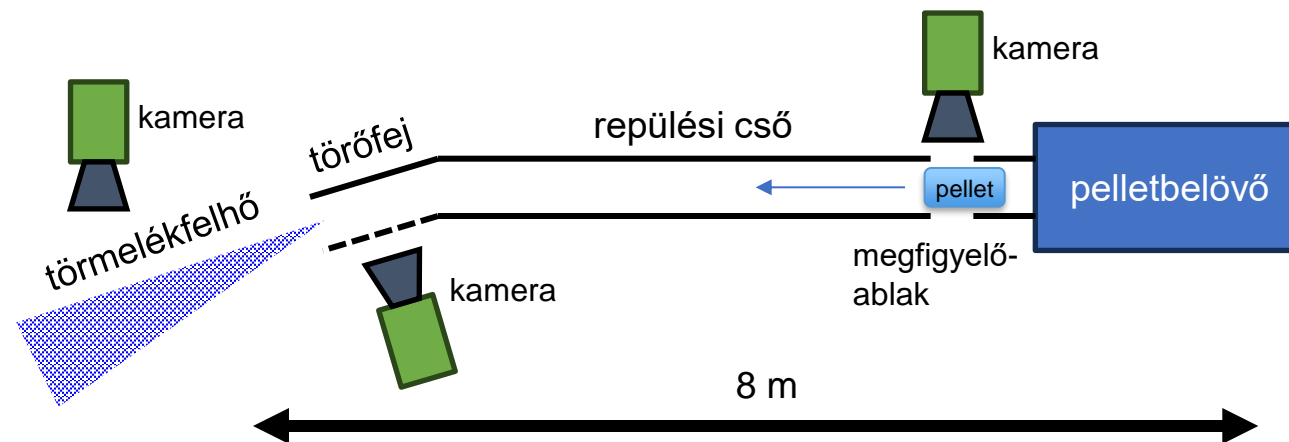
Tokamak „vészleállító” rendszer: **törtpellet-belövő**

- nagy mennyiségű, fagyasztott gáz gyors bejuttatása
- fagyott „gáztömb” = pellet, bejuttatás előtt összetörjük

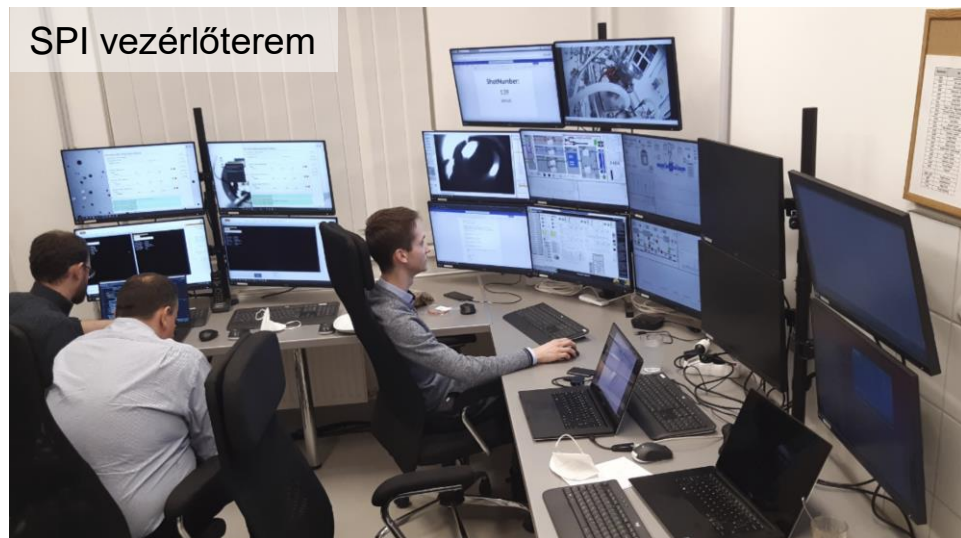
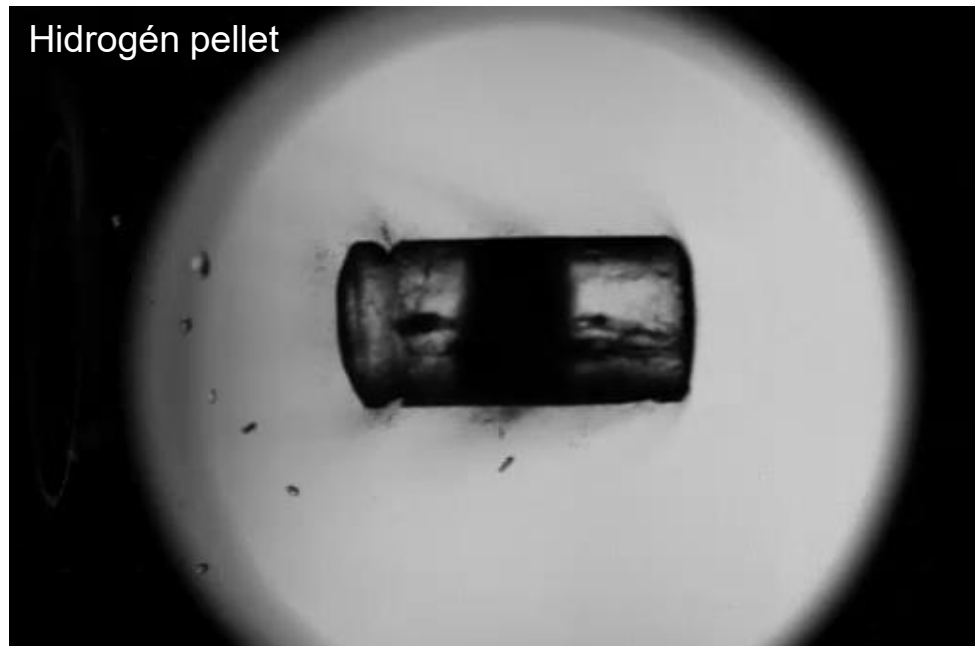


2020 nyertes pályázat: ITER Támogató Laboratórium

- törtpellet-belövő építése
- nagyméretű fagyasztott H és Ne pelletek
  - készítése és kilövése (épségben!)
- törés vizsgálata
- keletkező darabkák méretének mérése



# Főbb kutatási területek: Törtpellet-belövő fejlesztése





A MAGYAR  
TUDOMÁNY  
ÜNNEPE

MTA

HIUN  
REN



# Magyarok a külföldi fúziós kutatásban

# Alfvén-díjas magyar kutatók

## Prof. Dr. Porkoláb Miklós, MIT (USA)

- 1957 Kanada, azután Németország, USA
- plazmafűtés és áramhajtás rádióhullámokkal
- kiemelkedő tanító, sok diák, doktorandusz
- MTA külső tag
- Díjak
  - James Clerk Maxwell-díj (USA, 2009)
  - Hannes Alfvén-díj (EU, 2013)

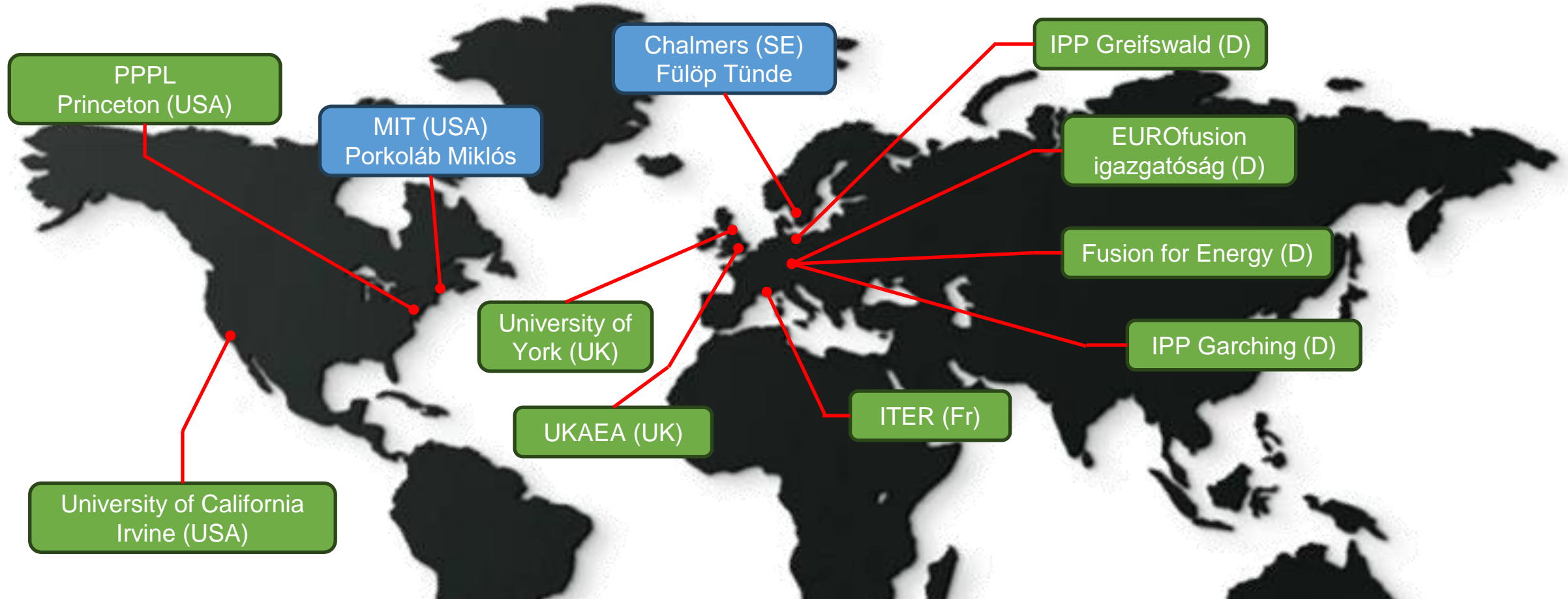


## Prof. Dr. Fülöp Tünde, Chalmers Műszaki Egyetem (Svédország)

- PhD-t már a Chalmers-en végezte
- elméleti plazmafizika, elfutó elektronok, diszrupciók
- Díjak
  - Hannes Alfvén-díj (EU, 2024)



# Magyar kutatók külföldi kutatóhelyeken



## Jó szakmai kapcsolatok

- együttműködés több témában
- kölcsönös szakmai segítségnyújtás



A MAGYAR  
TUDOMÁNY  
ÜNNEPE

MTA

**HUN-REN**  
Magyar Kutatási Hálózat



Energiatudományi  
Kutatóközpont

Köszönöm  
a figyelmet!



Fúziós  
Plazmafizika  
Laboratórium

**MTA**