

# Nanofúzió

fúzió + lézer + nanotechnológia

**T.S. Biró** – NAPLIFE, NKFIH nemzeti lab program<sup>1,2,3,4,5,6</sup>

<sup>1</sup>  Eötvös Loránd  
Kutatási Hálózat  Fizikai Kutatóközpont, Budapest

<sup>2</sup>University of Bergen, <sup>3</sup>Szegedi Egyetem, Kvantumelektronika és optika, Analitikai Szervetlen kémia. <sup>4</sup>Budapesti Műszaki Egyetem, Elektronikai technológia  
<sup>5</sup>Debreceni Egyetem, Fogorvosi Kar <sup>6</sup>ELKH Energiakutató Központ, MFA

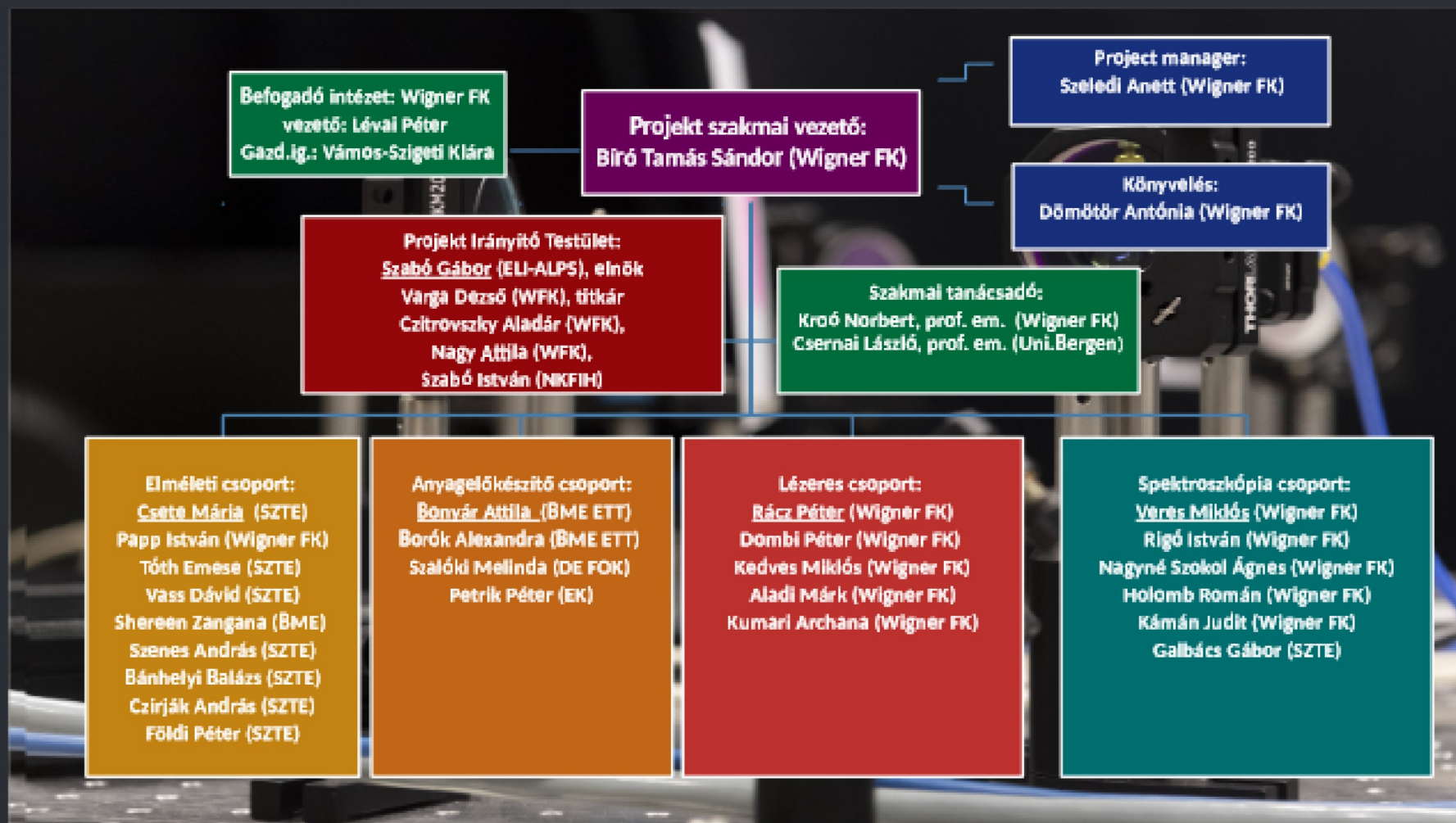


Magyar Tudomány Ünnepe, Kolozsvár, 2021. november 12.



# A csapat

<https://wigner.hu/naplif>



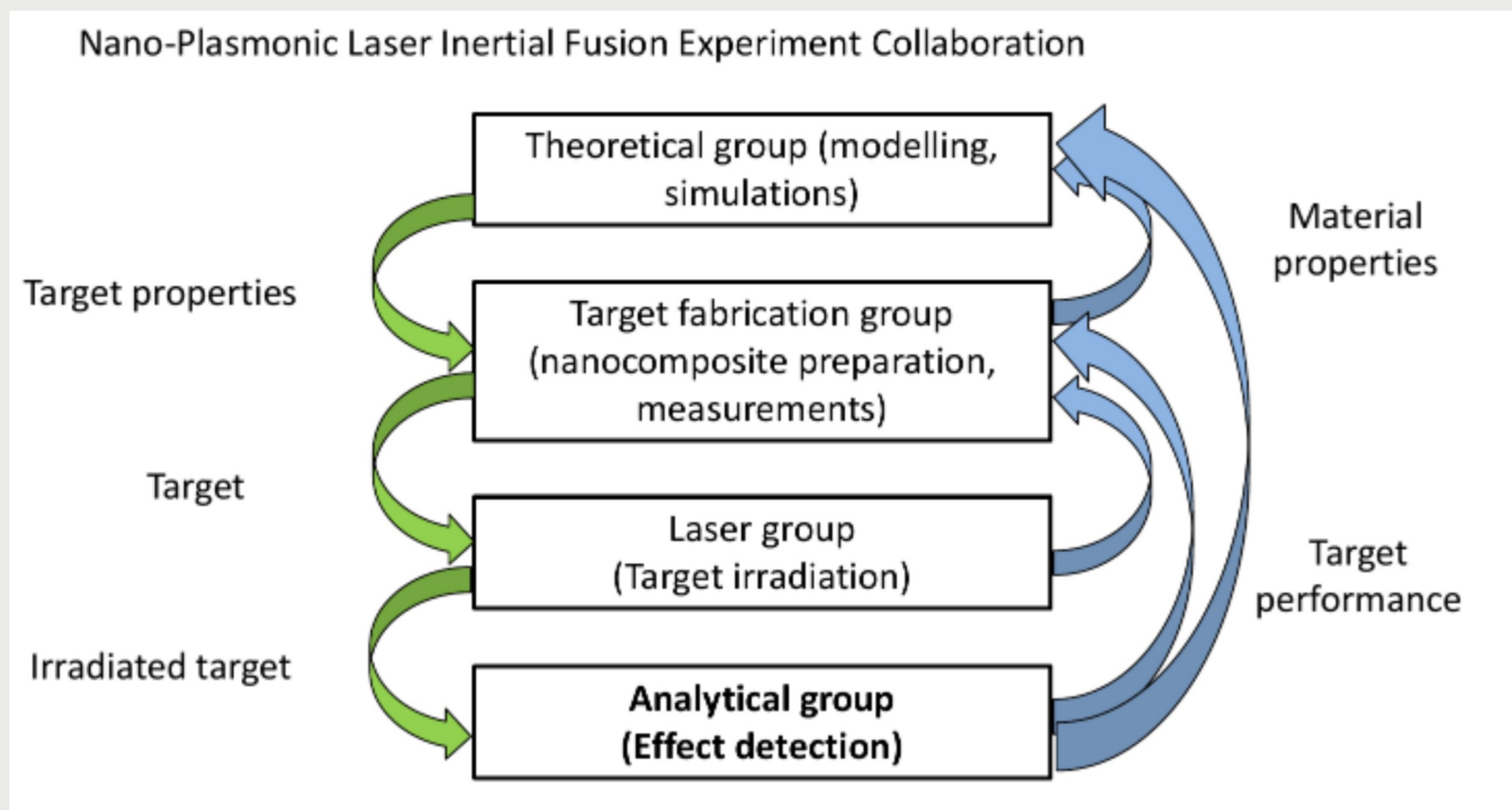


# Munka-relációk

Kámán Judit:

**Gold nanorods induced nanoplasmonic effect on structural changes during high intensity laser irradiation of UDMA polymer**

Judit Kámán<sup>1</sup>, István Rigó<sup>1</sup>, Miklós Veres<sup>1</sup>, Ágnes Nagyné Szokol<sup>1</sup>, Péter Rácz<sup>1</sup>, Márk Aladi<sup>1</sup>, Miklós Kedves<sup>1</sup>, Áttila Bonyár<sup>2</sup>, Melinda Szalóki<sup>2</sup>, Alexandra Borók<sup>1</sup>, Zsolt Fogarassy<sup>2</sup>, Mária Csete<sup>1</sup>, László Csernai<sup>2</sup>, Norbert Kroó<sup>1</sup>, Tamás Biró<sup>1</sup>



# Három kérdés

- 1 Miért a magfúzió?
- 2 Mit csinálnak mások?
- 3 Mit csinálunk mi?



# A Szent Grál

olcsó, tiszta és sokáig elég sok energia



- A magfúzió **természetes** folyamat
- A csillagokban kb. 13 mrd éve folyik
- Kis méretben lenne jó (van? nincs?)
- Szabályozható és nem szennyező módon

# Az áramtermelés elvi forrásai

környezeti aspektusok

ember: 150 W, PAKS: 1.902.000.000 W

- Fa: 50 év alatt újul, szennyező
- Szén: nem újul, erősen szennyező
- Olaj: nem újul, szennyező
- Szél: megújul, szakadozó, hangszennyezés hatásfok 3%
- Víz: megújul, lokális, gátszakadás veszély tárolással 100 %
- Napelem: megújul, szemetet termel
- Maghasadás: nem újul, de újítható, szemetel
- Fúzió: sok üzemanyag van, rövid felezési idejű a szemét  
**termelt energia / tüzelőanyag magasan legnagyobb!**

# Szélerőmű

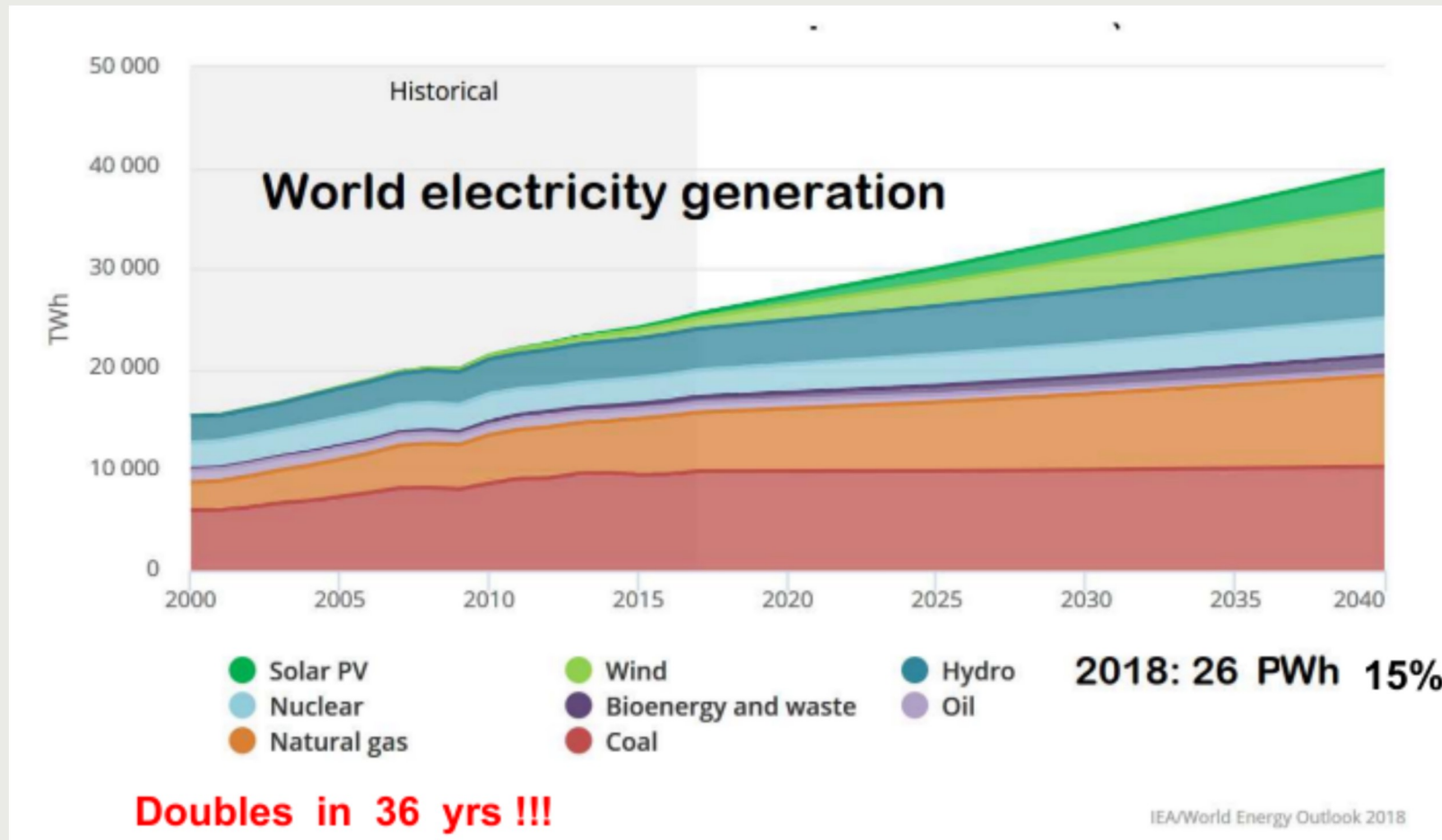


turbulencia → max 6 MW



# Elektromos energia termelése

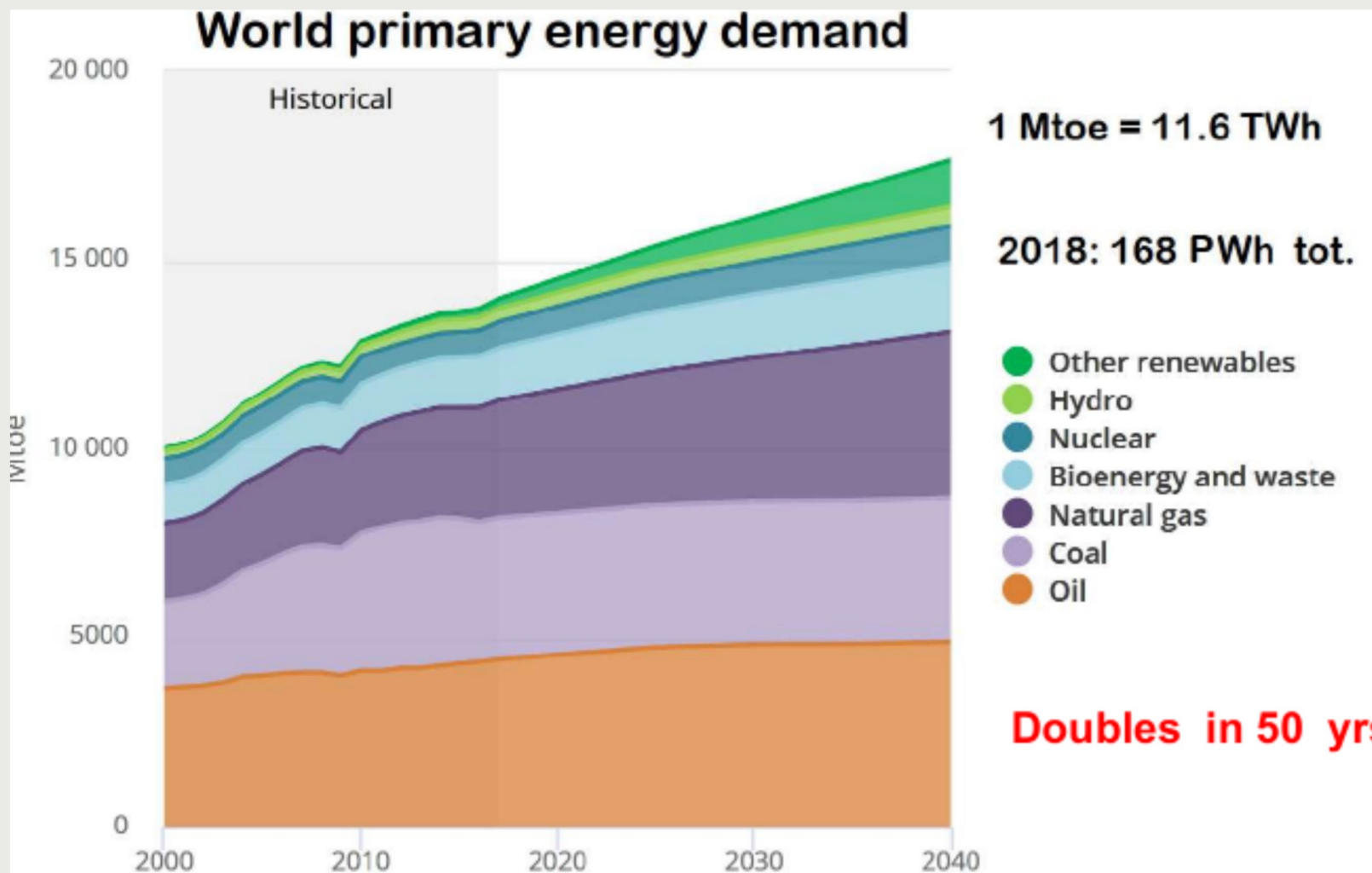
a források összetétele





# Energiaigény

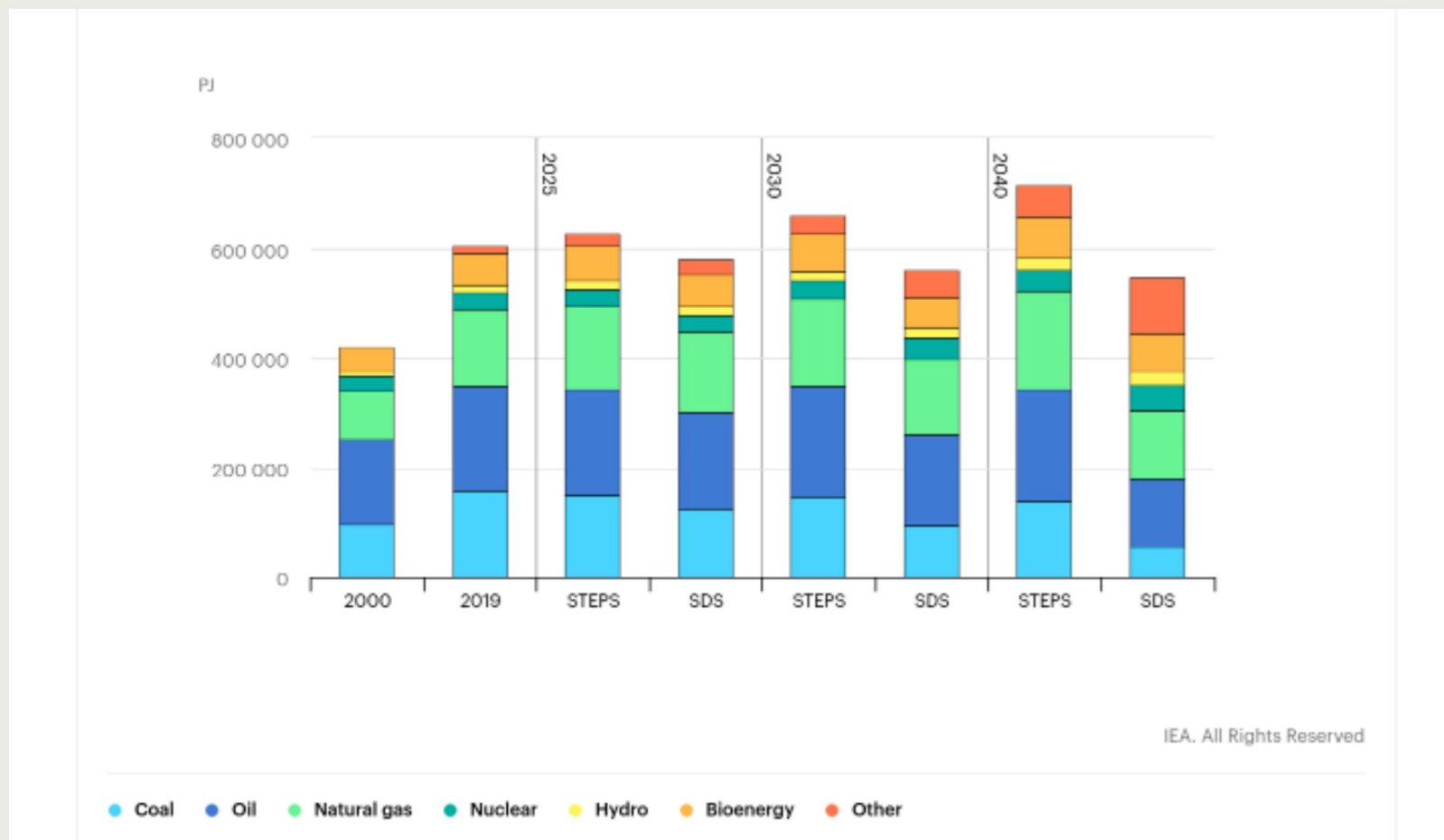
”Jósolni nehéz, különösen a jövőt illetően”



# Energiaigény



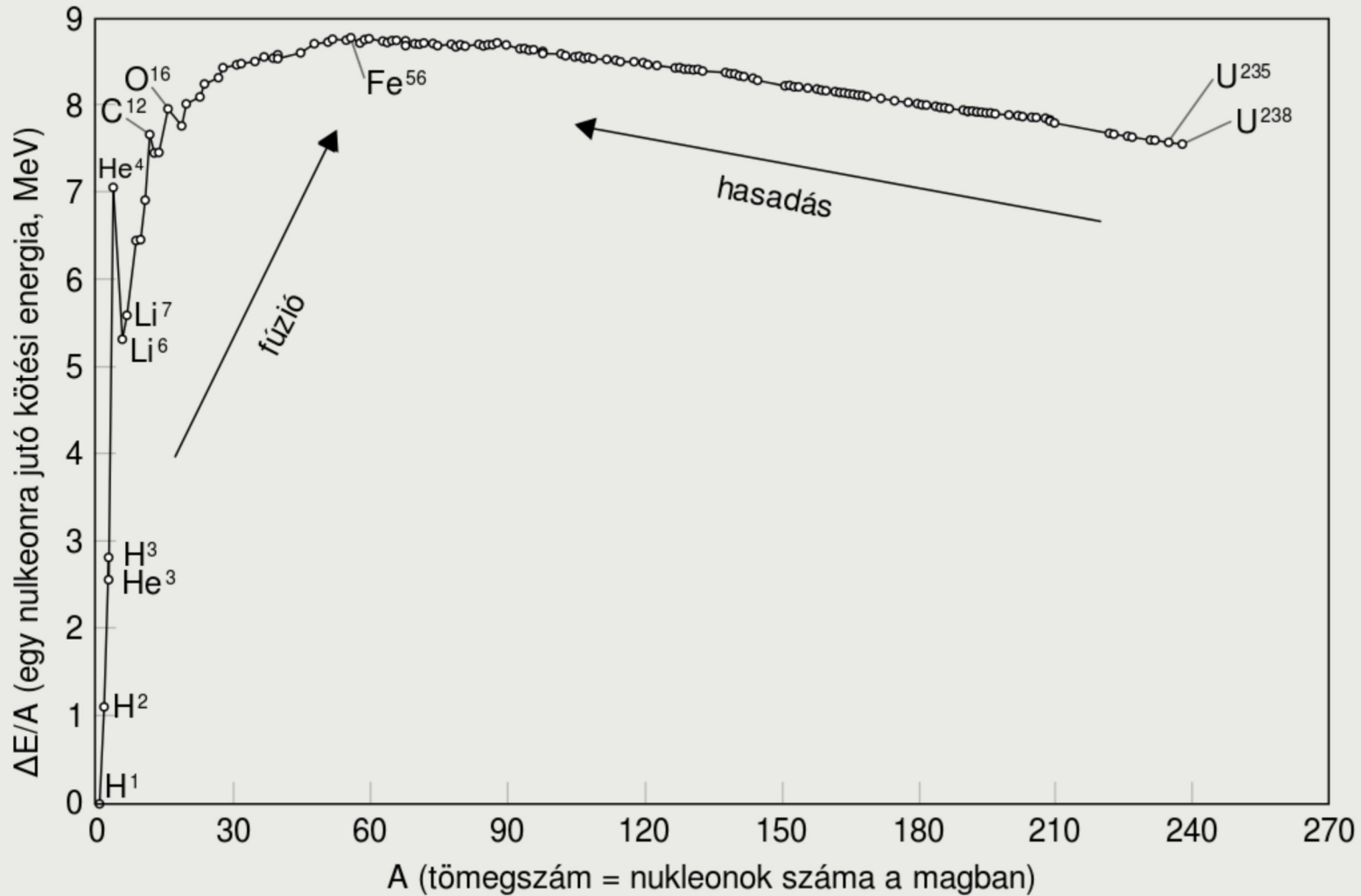
”Jósolni nehéz, különösen a jövőt illetően”



IEA. All Rights Reserved

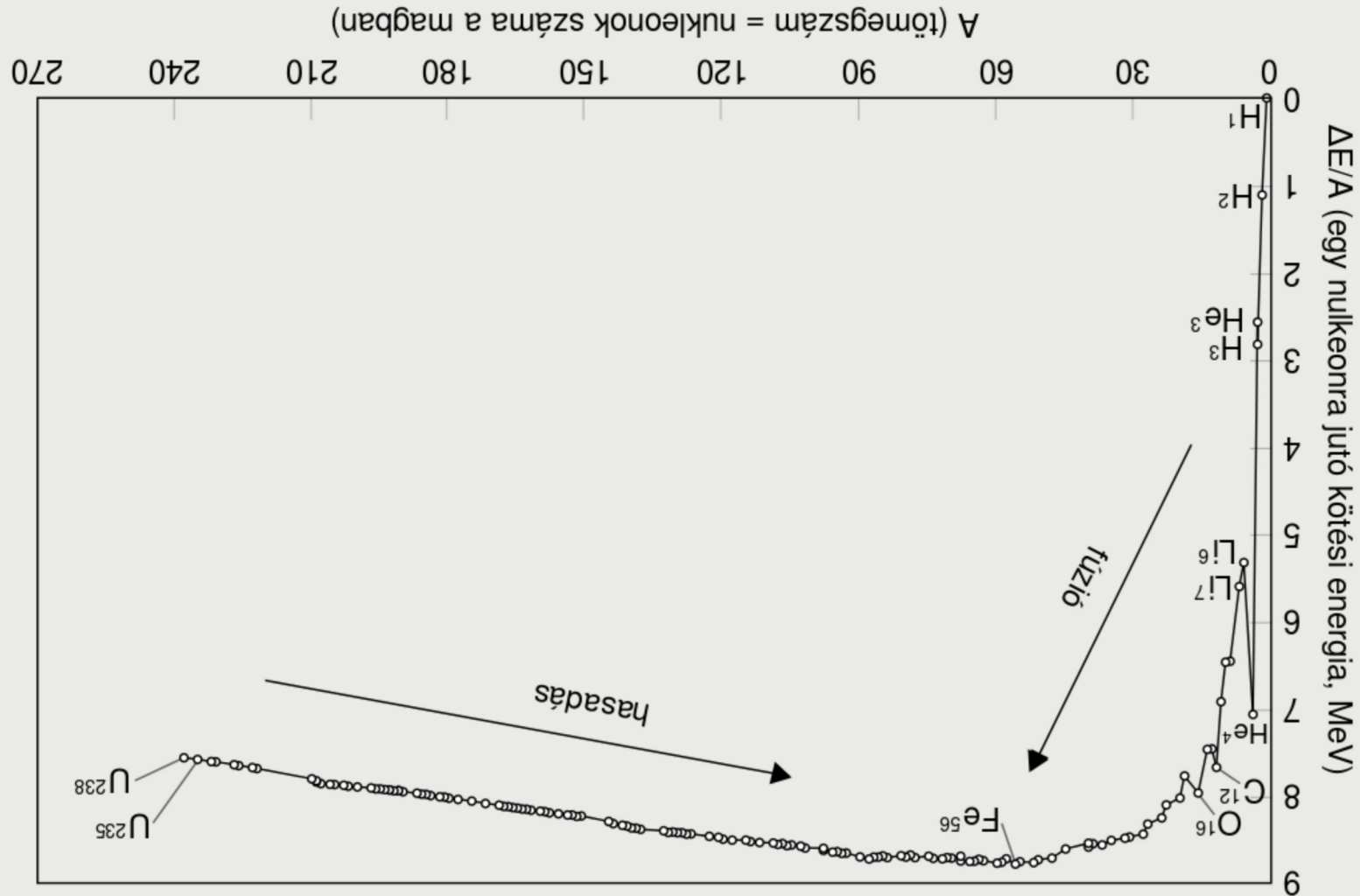
# A magfúzió fizikai alapja

## atommagok kötési energiája



# A magfúzió fizikai alapja

## atommagok kötési energiája



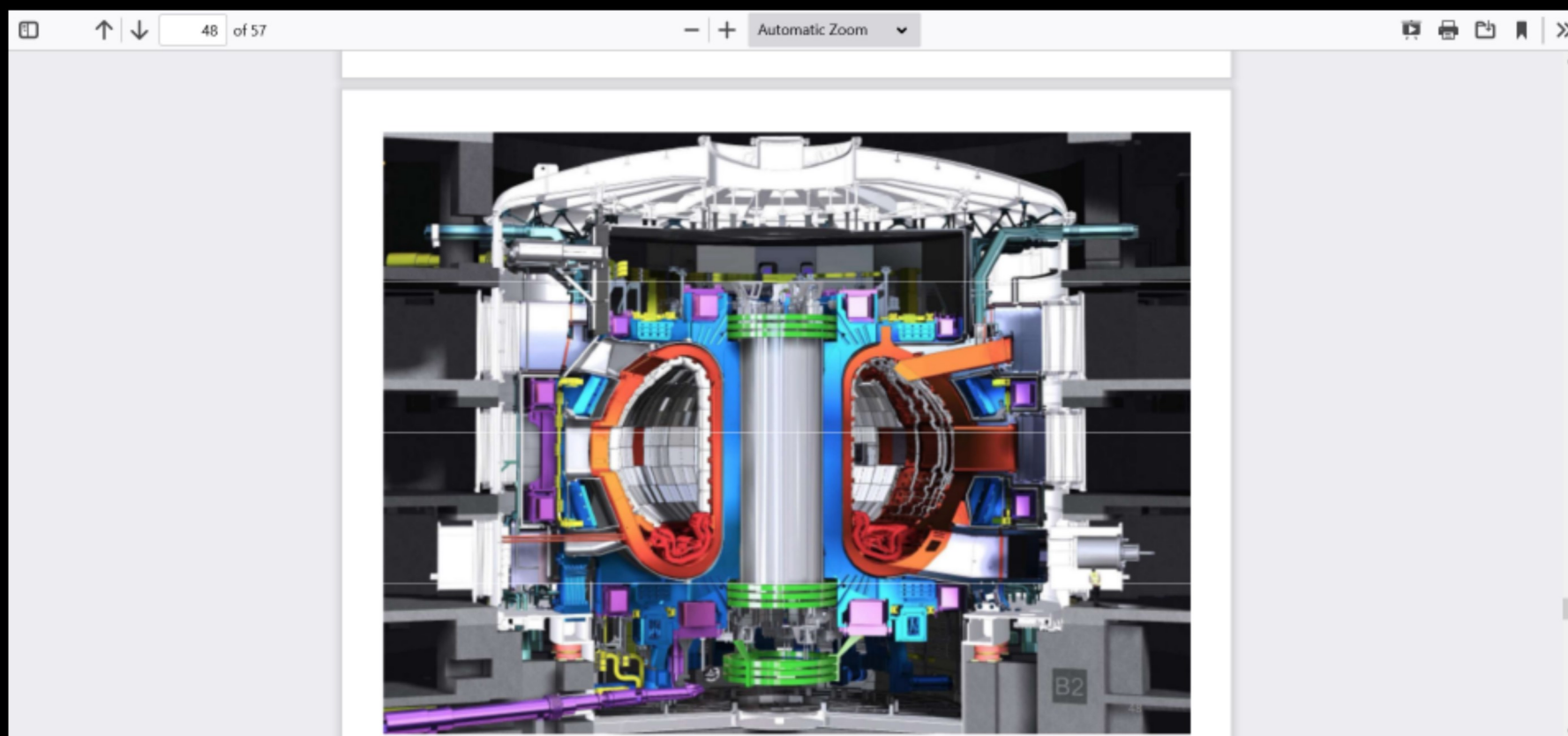


# 1. technika: Mágneses bezárás

ITER



# 1. technika: Mágneses bezárás tokamak



# 1. technika: Mágneses bezárás

Forró plazma: 150 M K;

Mágneses terek: tórusz (tokamak), csavart (sztellarátor)

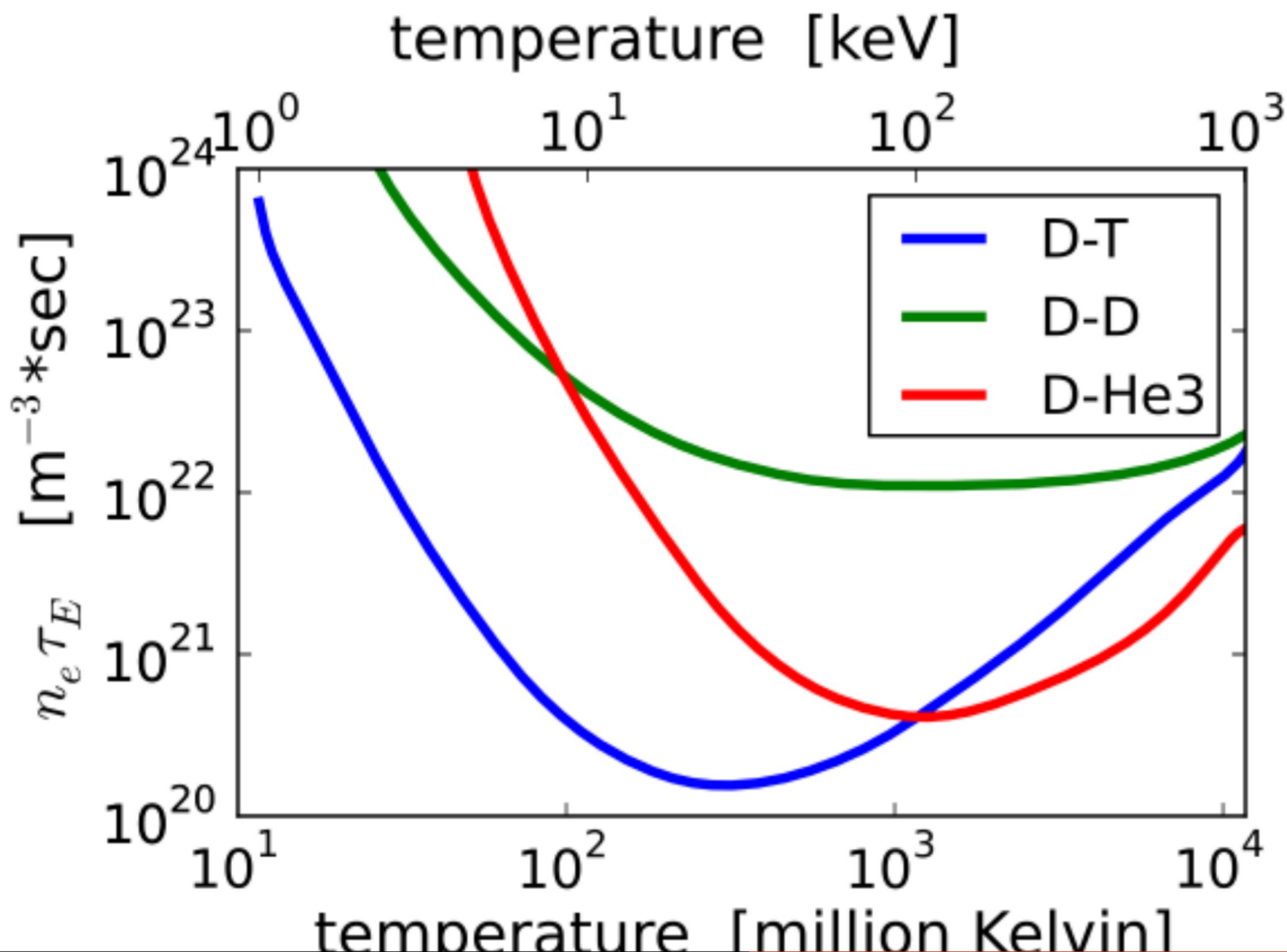
Stabilizálás: szupergyors videó felügyelet

Lawson kritérium: elérve 2000-ben 10-20 másodpercre

Instabilitások: önmagát lefojtja jó esetben

# Lawson kritérium

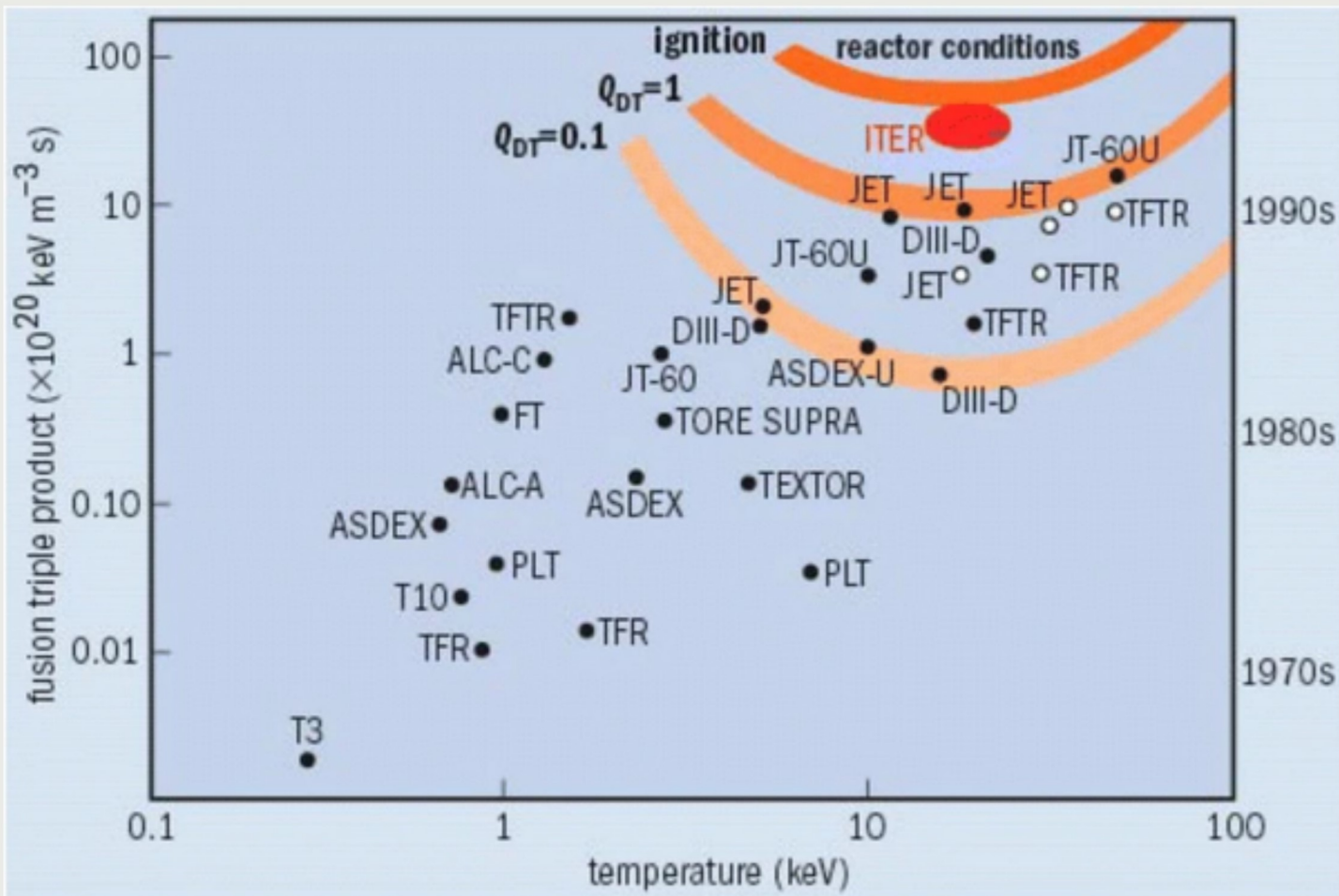
összetartási idő \* sűrűség





# Lawson triple product

összetartási idő \* sűrűség \* hőmérséklet



$$nT\tau_E \geq 3 \cdot 10^{21} \text{ sm}^{-3} \text{ at } T = 14 \text{ keV}$$

## 2. Technika: Tehetetlenségi fúzió a NIF-nél épület





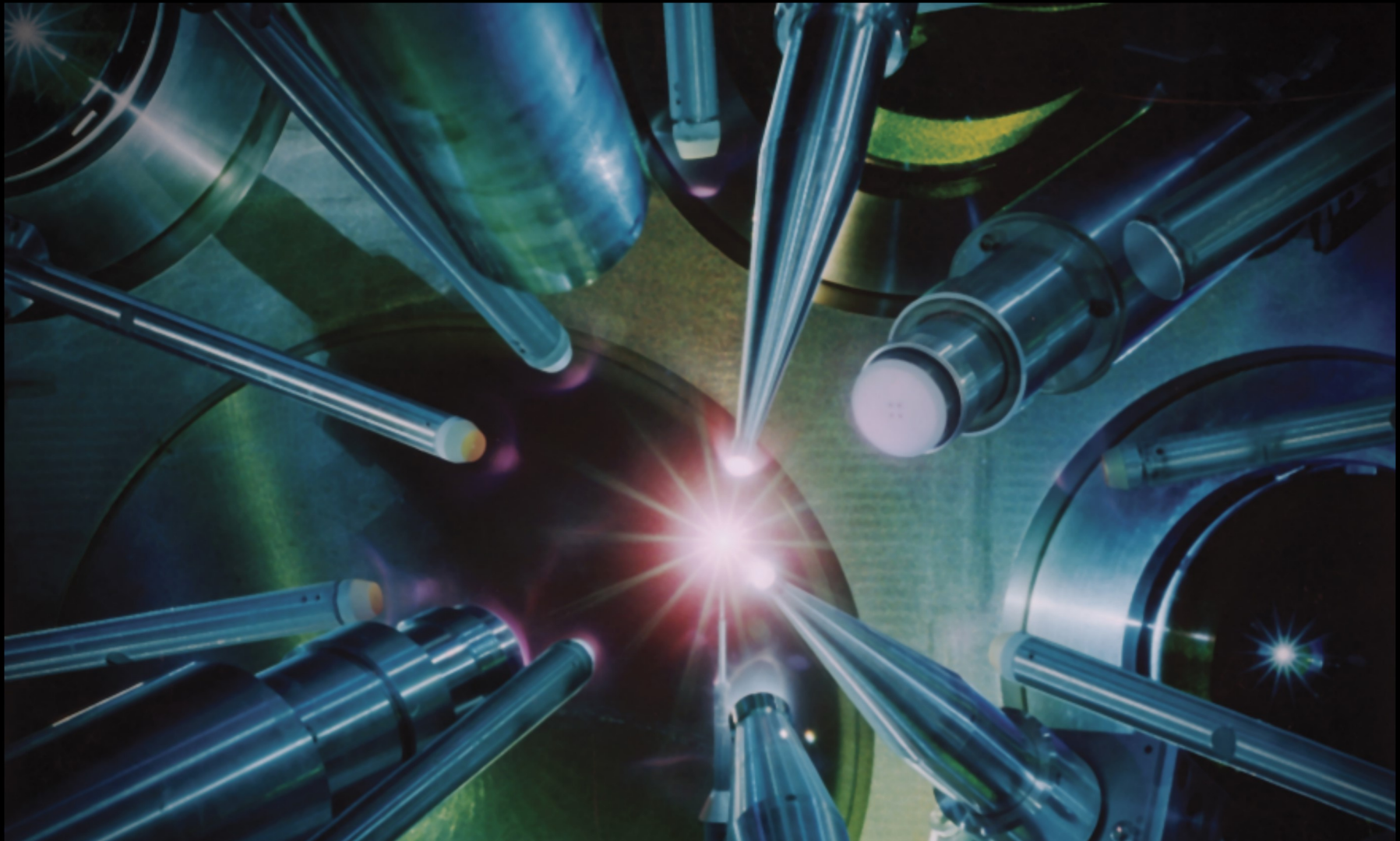
## 2. Technika: Tehetetlenségi fúzió a NIF-nél beemelés



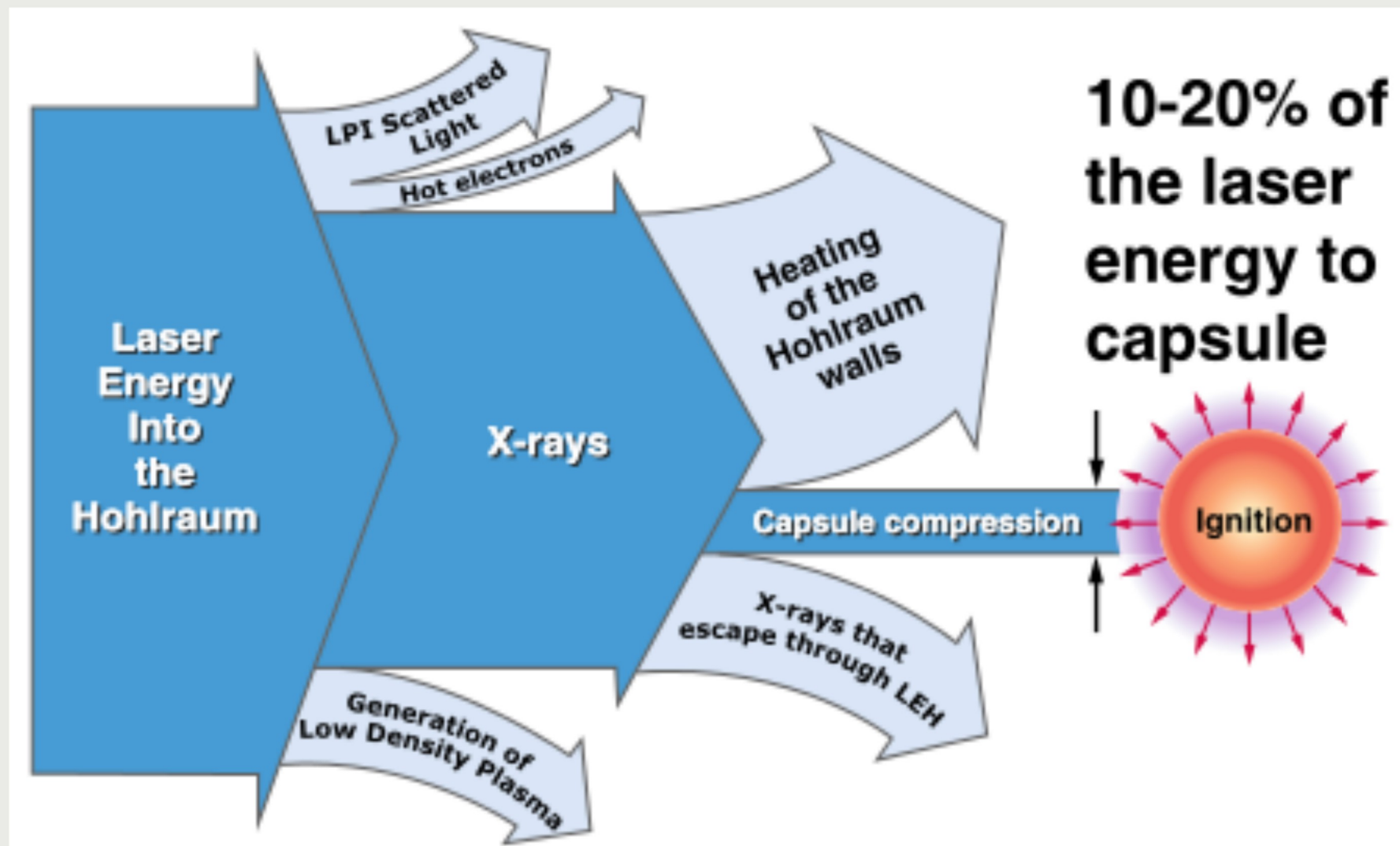


## 2. Technika: Tehetetlenségi fúzió a NIF-nél

192 sugár



## 2. Technika: Tehetetlenlégi fúzió a NIF-nél hatékonyság





## 2. Technika: Tehetetlenségi fúzió a NIF-nél

Rövid pulzus mód (10-20 ns tömörítés, 5 ns begyújtás)

Lézeres begyújtás a target legközepén (2021.Aug.17: 1.9 MJ ért oda, 1.35 MJ-t termelt)

Gömbszerű, soklézeres (NIF: 192 lézer á 1.8 MJ, csúcs 500 TW ps)

Raleigh-Taylor instabilitás

Lawson kritérium: a target közepén teljesül, de az égés lassan terjed kifelé, a tágulás a nagy nyomás miatt gyors, így a target nagy része nem gyullad meg

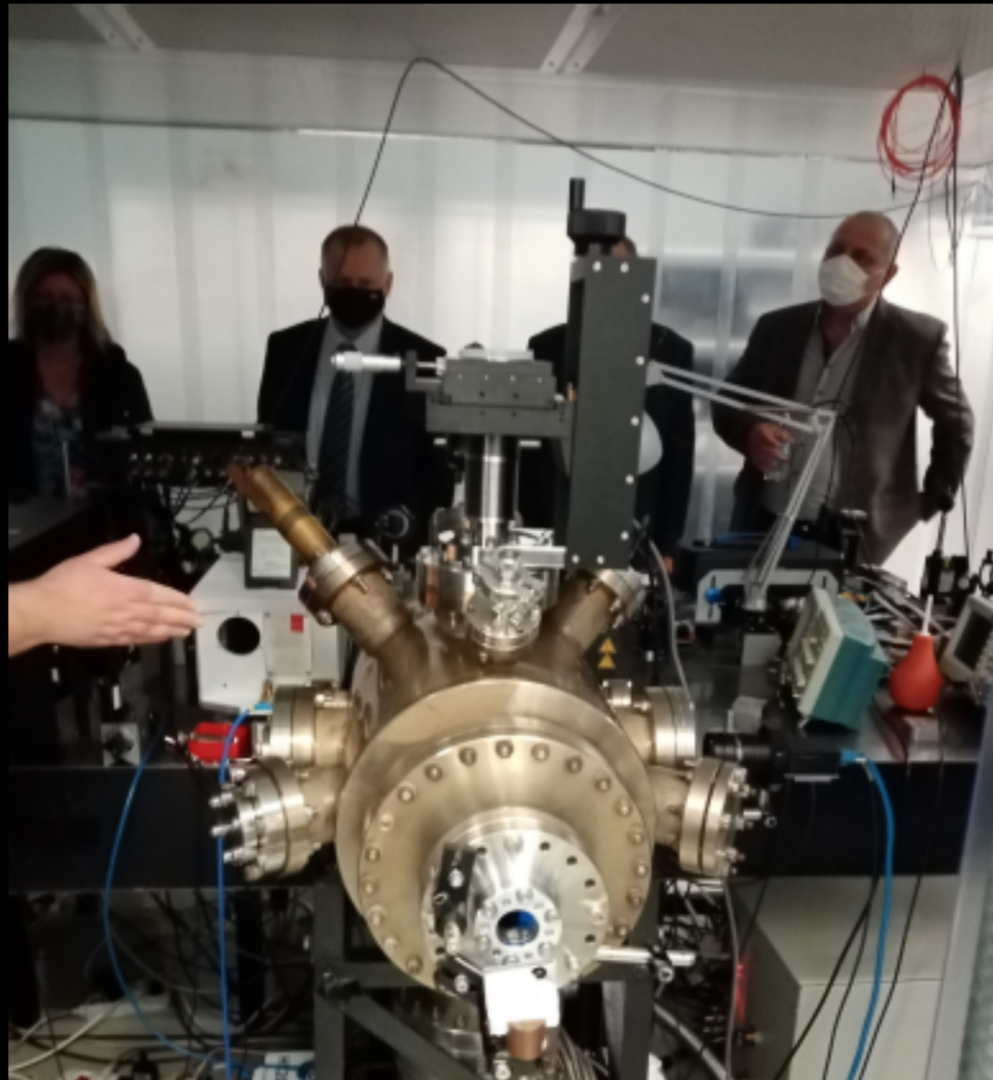
→ Bemenő 430 MJ, kimenő 53 MJ Aug. 2021

## 3. Egyéb technikák

- Kétoldali belövés (kínaiak, Bonasera)
- Lézeres gyorsítás (CERN AWAKE, GSI)
- Hirtelen törés, fraktális anyagok (LENR)
- Plazmonikus erősítés (sokan, de nem fúzióhoz)
- Szinkron begyűjtés (egyelőre elmélet; rövid impulzus kell hozzá)

# 3. Technika: a mi projektünk

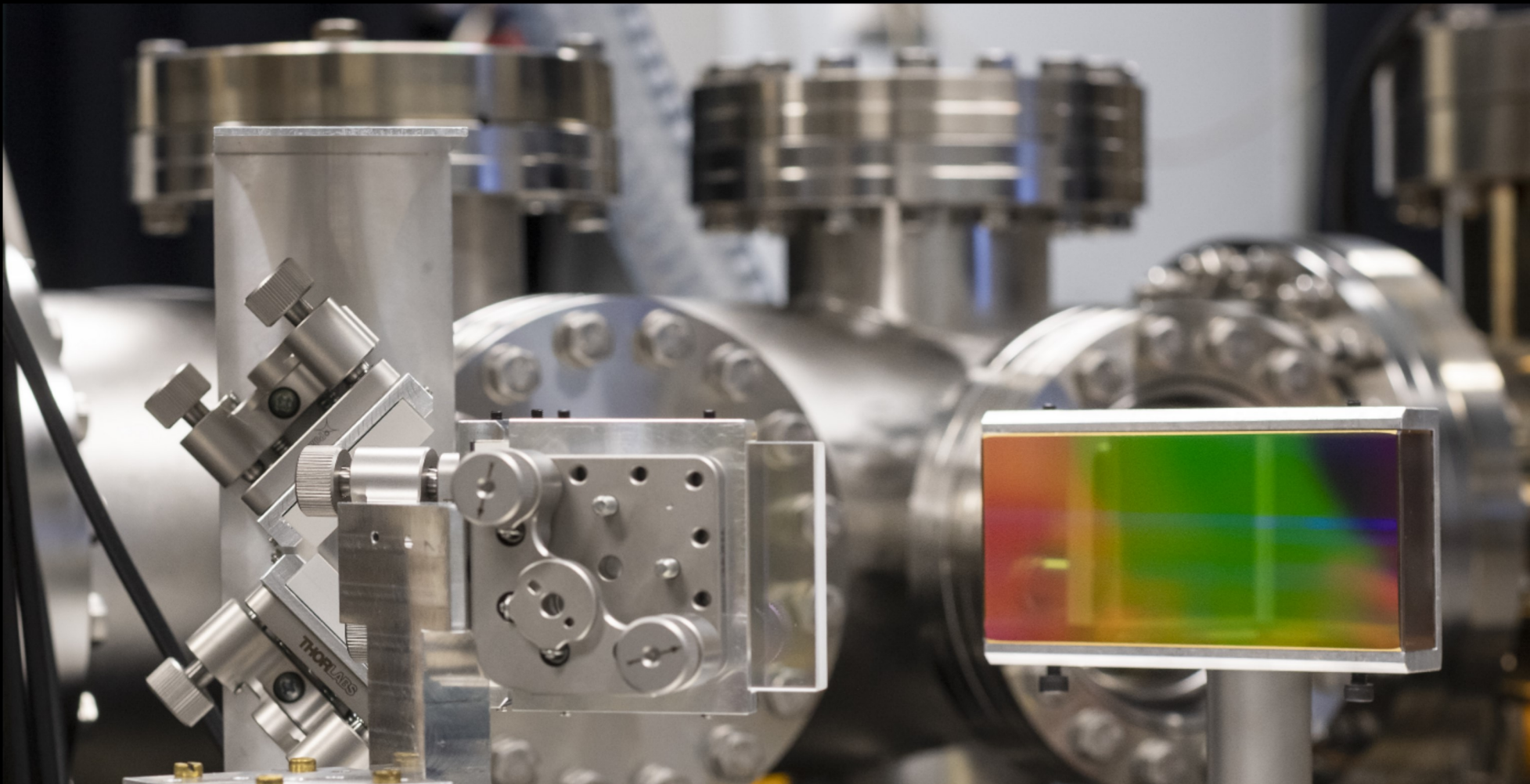
## Wigner lézer vákumkamra





# 3. Technika: a mi projektünk

## Wigner lézer vákumkamra



# 3. Technika: a mi projektünk

RMI lab lézerasztal





# 3. Technika: a mi projektünk

## Wigner Raman lab

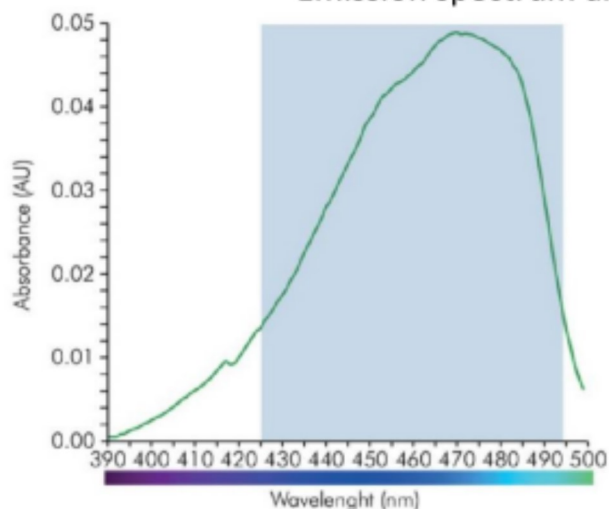


# 3. Technika: a mi projektünk

## Céltárgy készítés

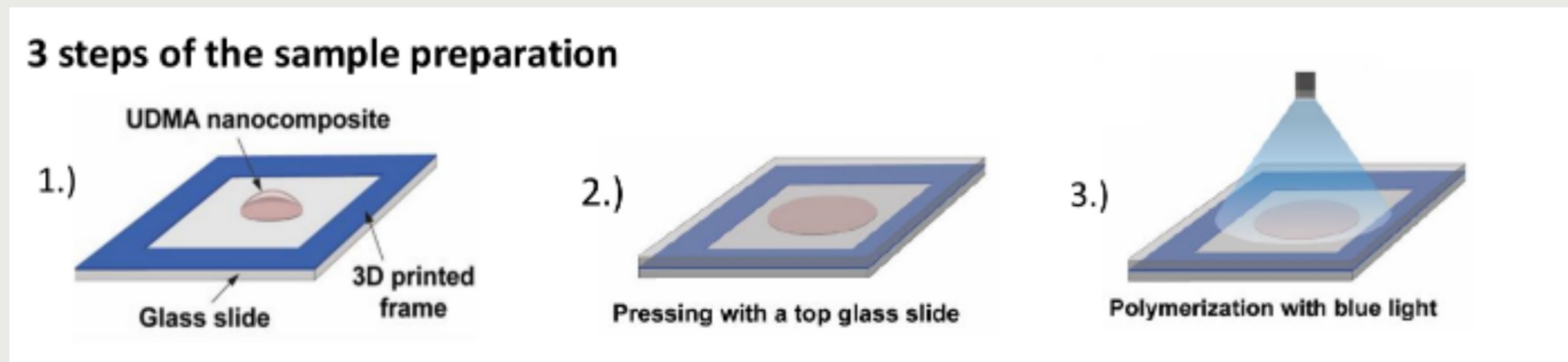
The selected polymer is **UDMA** (urethane dimethacrylate) with **TEGDMA** (Triethylene Glycol Dimethacrylate) dilution monomer, **CQ** (Camphorquinone) photoinitiator and **EDAB** (ethyl 4-dimethylaminobenzoate) co-initiator, which is a well-known mixture in dentistry.

Emission spectrum and equipment used for the photopolymerization



# 3. Technika: a mi projektünk

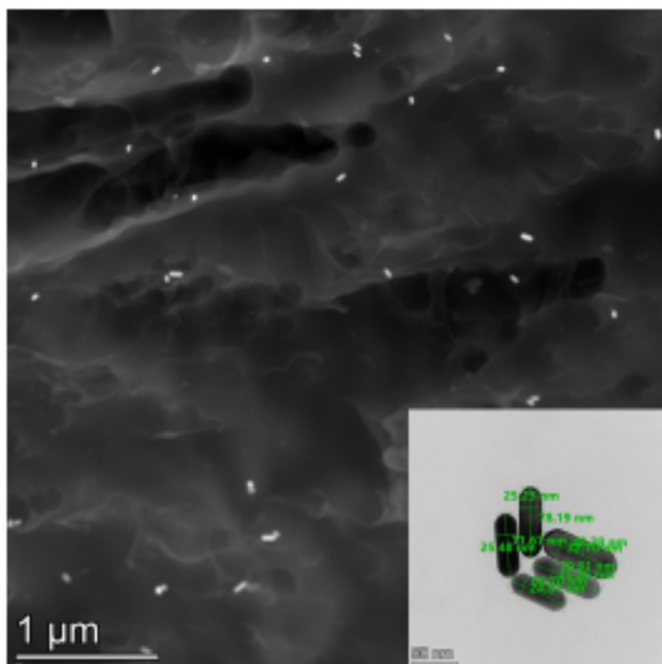
## Céltárgy készítés



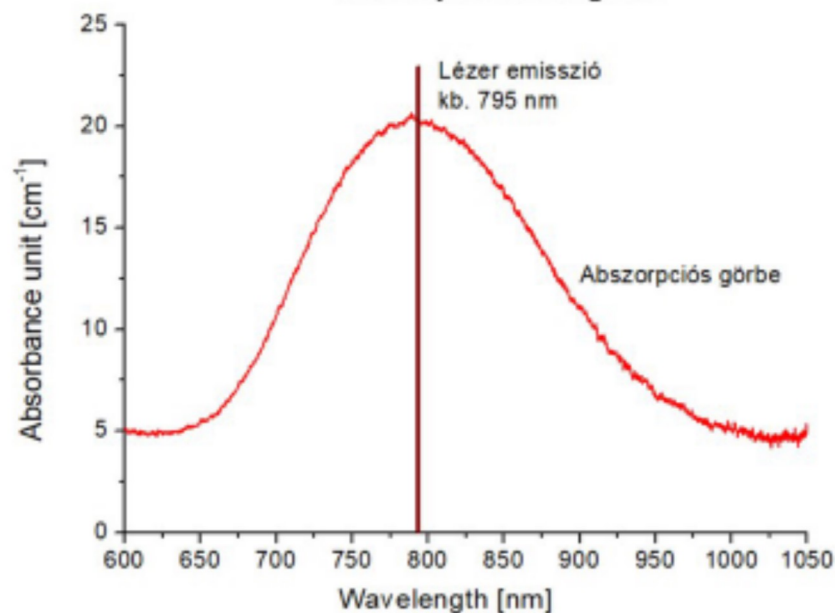
# Nanorudak polimerben

Au in UDMA

A polimer mátrixba ágyazott arany nanorudak TEM  
(transzmissziós elektronmikroszkópos képe)  
A kis kép a nanorudak külön (szűrűn), szintén TEM kép.



A nanokompozit abszorpciós görbéje, optikai spektroszkópiával mérve. Az elnyelési csúcs már a lézer emissziójára van hangolva.





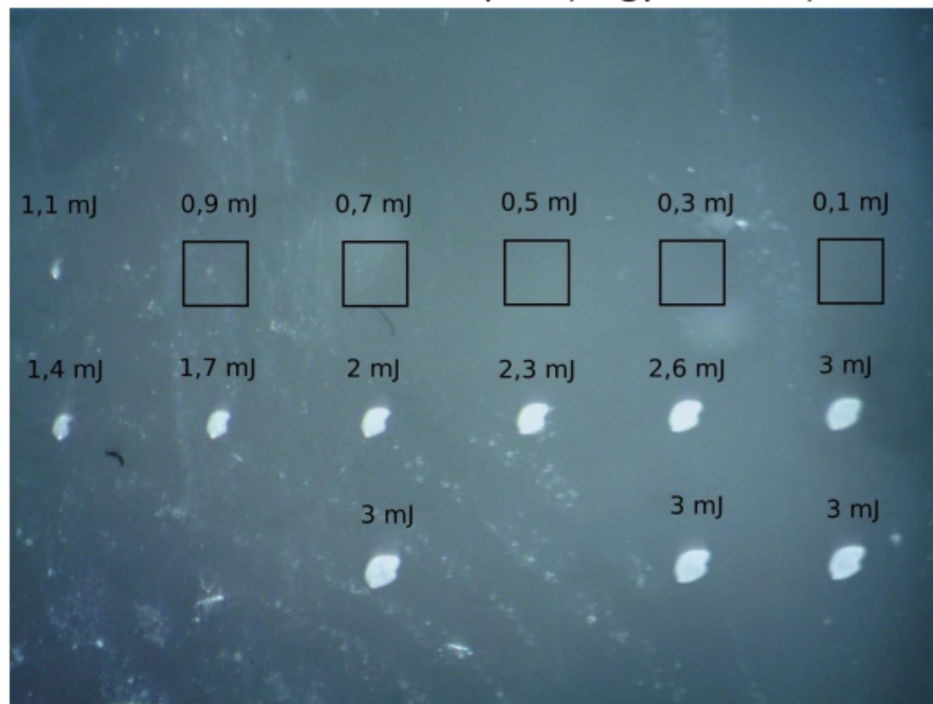
# Nanorudak hatása: plazmonikus erősítés

## Első kísérleti eredmények

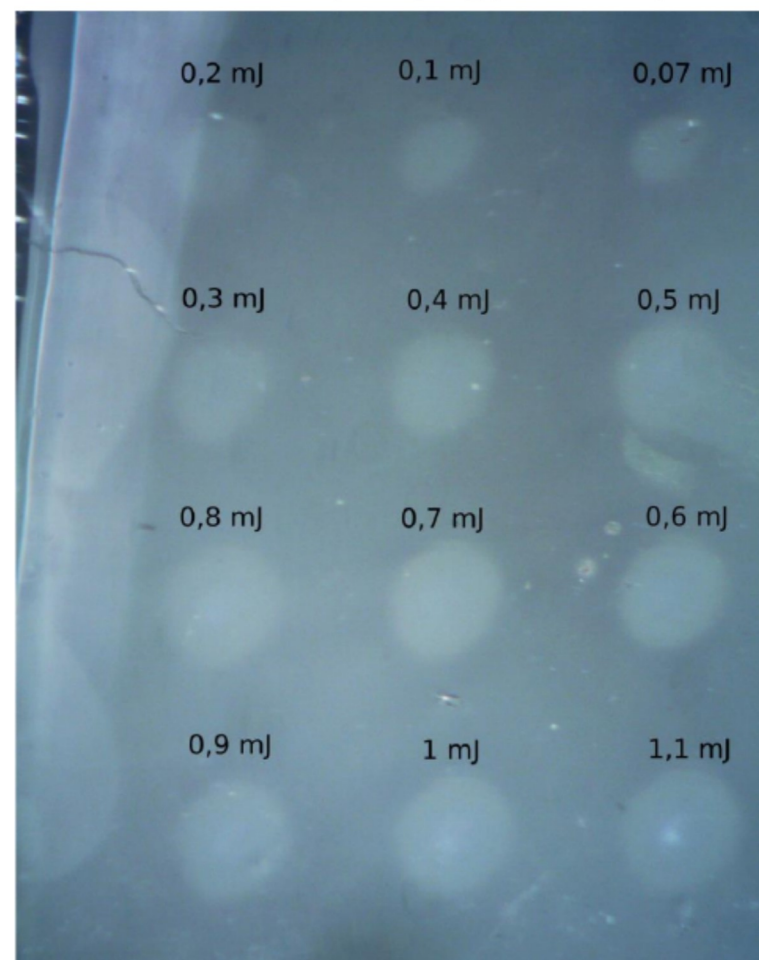
300 fs-os lézerimpulzusok

**A FÉNY ELÉRI AZ ARANY NANORÉSZECSKÉKET!**

Nem dopolt (nagyítás: 30x)



Dopolt (nagyítás: 40x)



Nanorészecskék  
lézersugár irányú  
eloszlása!

Fokusz:  $85\mu$  átmérőjű  
Impulzus: 300fs  
Intenzitás: max.  $\sim 4 \cdot 10^{14} \text{W/cm}^2$

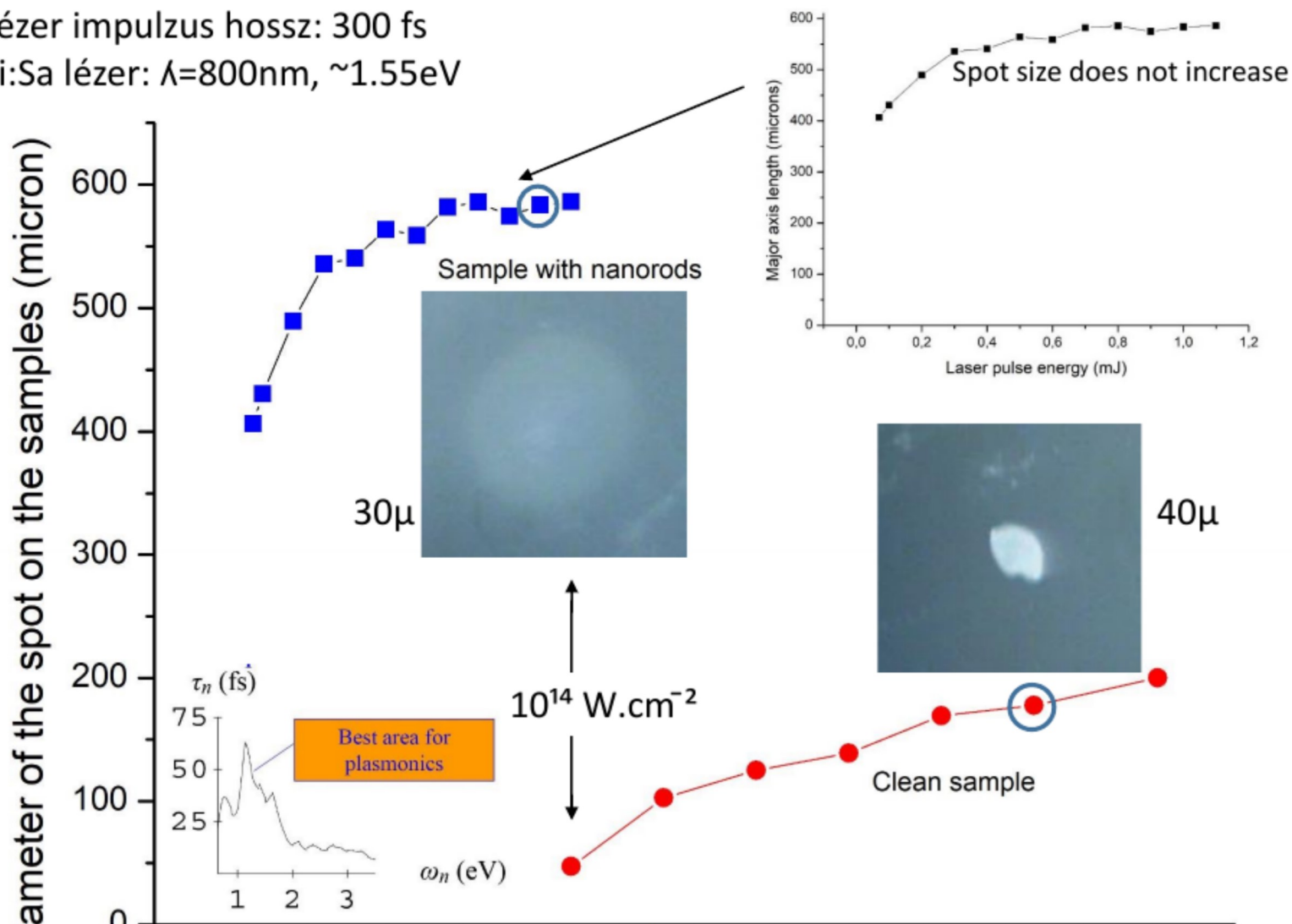
Lézer



# Nanorudak hatása: foltméret növekedés

Szerkezeti átalakulás?

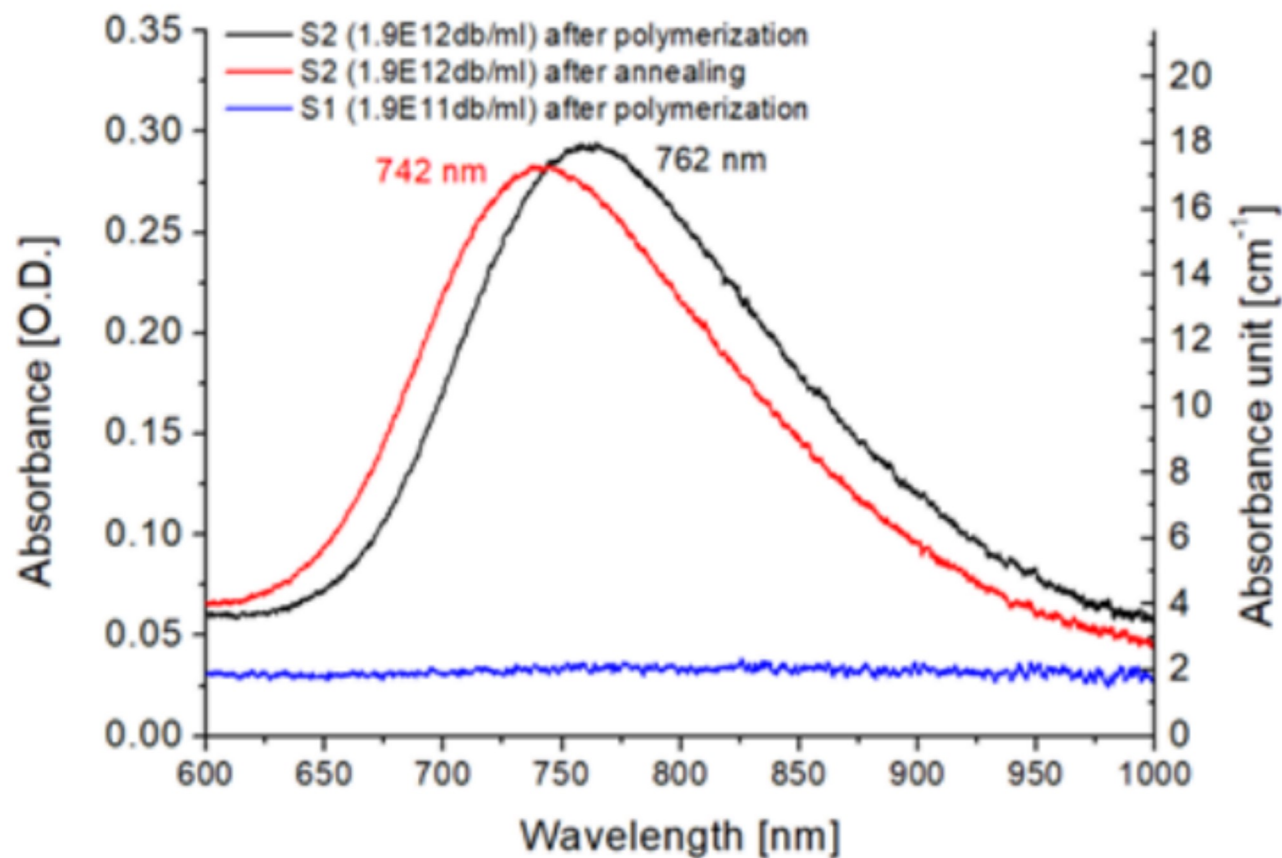
Lézer impulzus hossz: 300 fs  
Ti:Sa lézer:  $\lambda=800\text{nm}$ ,  $\sim 1.55\text{eV}$



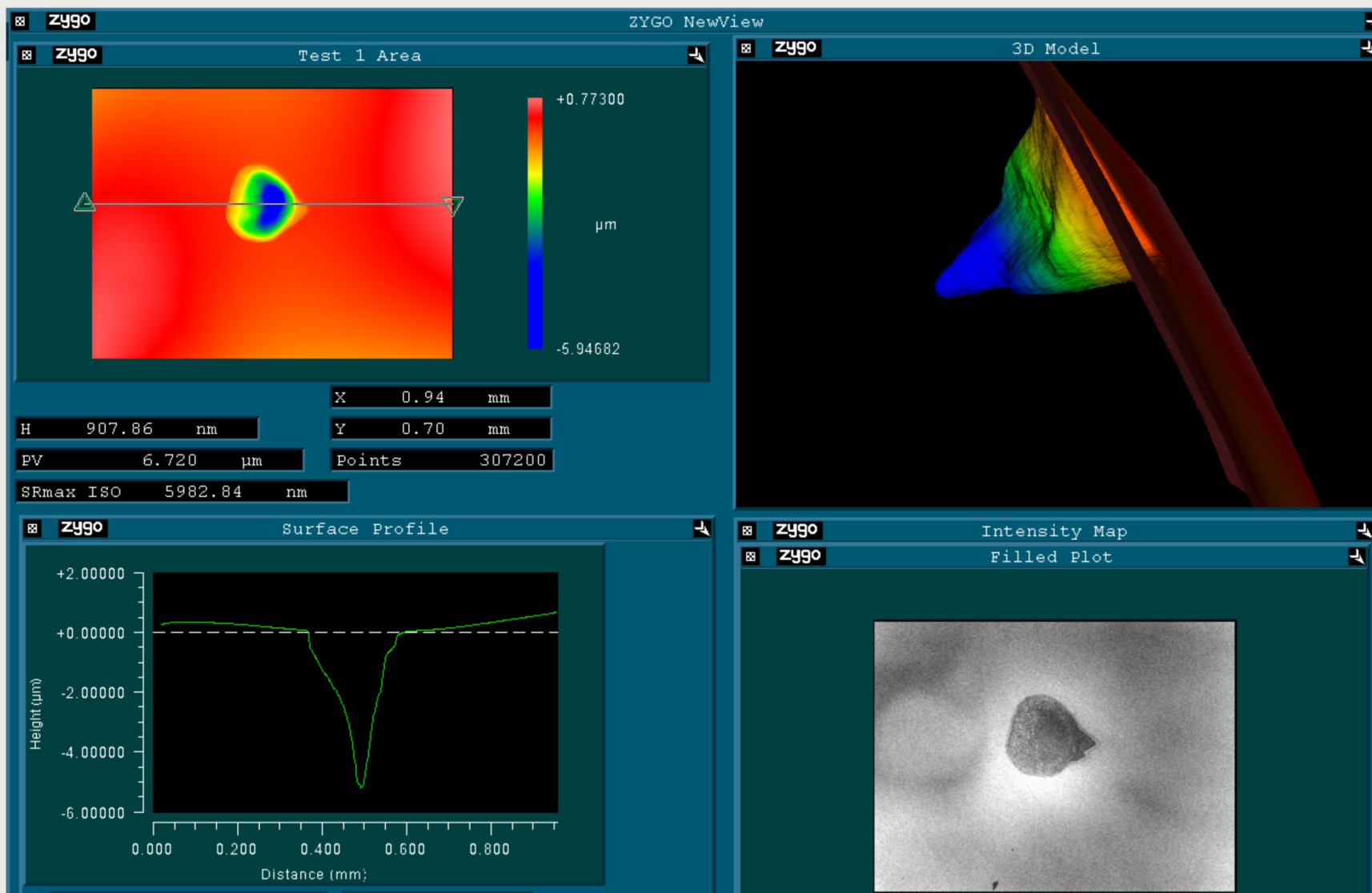
# Mennyi nanorészecske kell?

elnyelési spektrumok

## Optical spectra

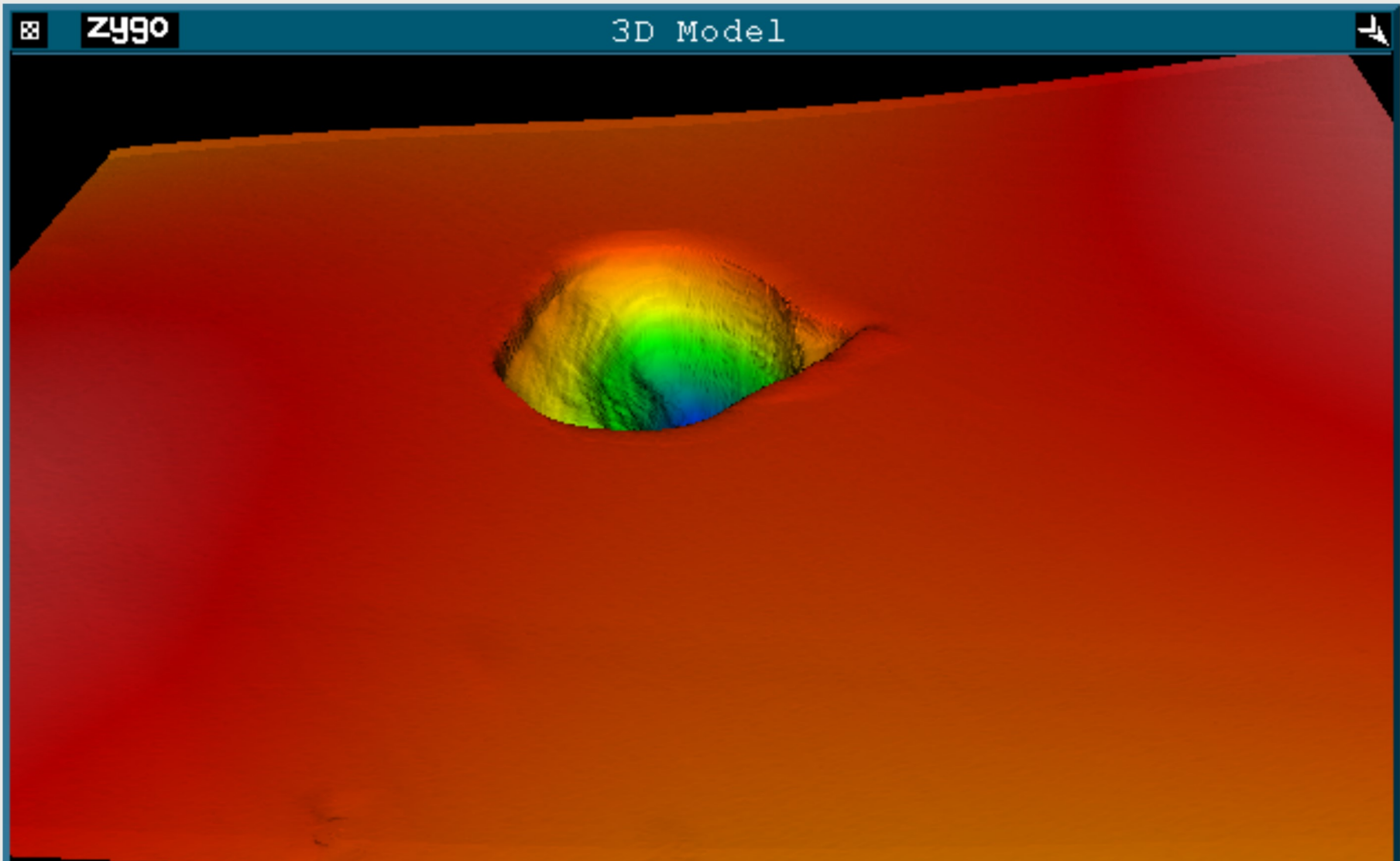


# Belövés hatása: szerkezeti változások mélységprofil



# Belövés hatása: szerkezeti változások

## 3D kráter rekonstrukció



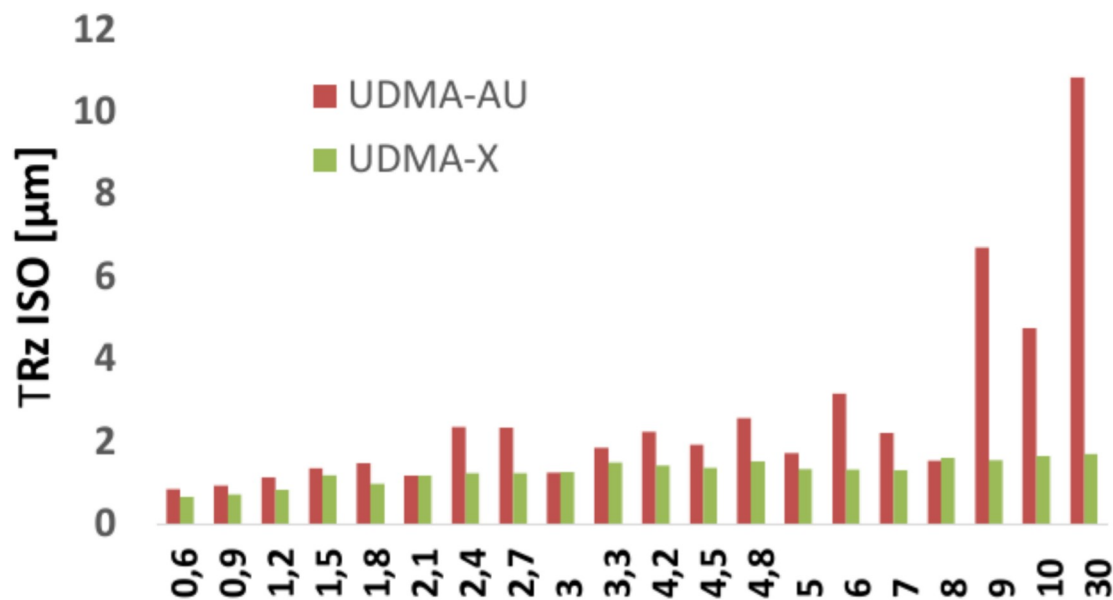


# Belövés hatása: szerkezeti változások

## ISO statisztika

### R<sub>z</sub> ISO

Average peak-to-valley profile roughness. The average peak-to-valley roughness based on one peak and one valley per sampling length. The single largest deviation is found in five sampling lengths and then averaged.



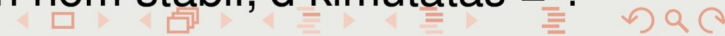


## 3. Technika: ötleteink

### Tervezett rétegek egyidejű begyűjtással

- Vékony ( $20 \mu$ ) 2D rétegek: egymással szemben két szinkronizált nyaláb.
- Au nano rudacskák: a targetben növelni az elnyelést.
- gyenge kh.  $n$ -termelés:  $p + e_{\text{plazmon}}^- \longrightarrow n + \nu_e$ .  
(Widom – Larsen)
- $n + p \longrightarrow d + \gamma$  a legegyszerűbb fúzió, nincs Coulomb gát

De: szabad n nem stabil; d kimutatás = ?

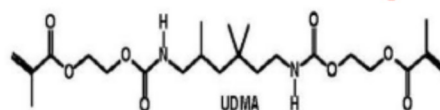
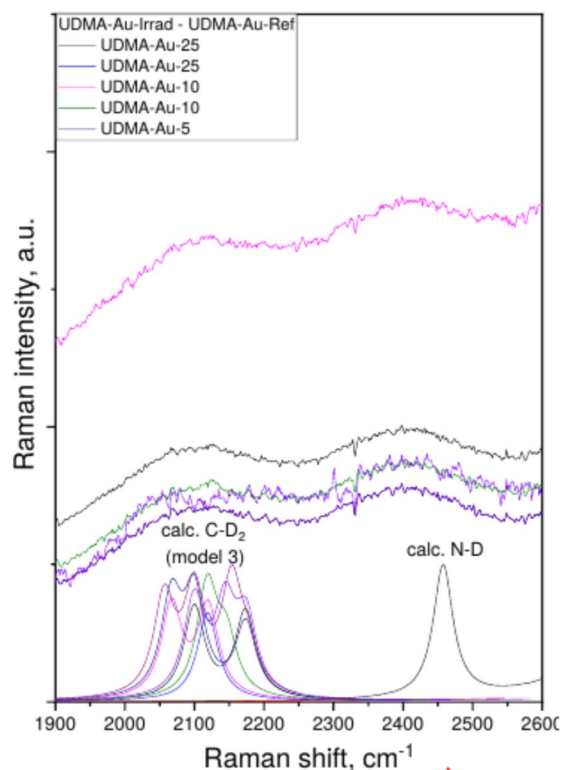
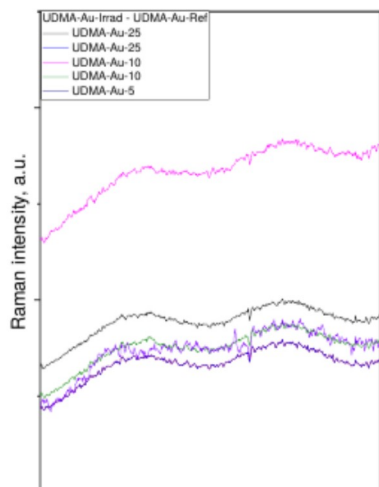
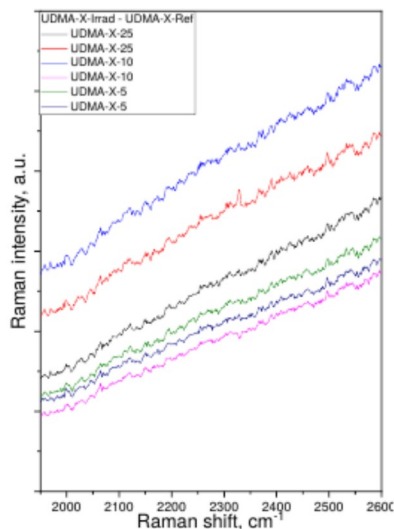


# Deuteron vadászat 1

SERS spektroszkópia

nem publikált, szabadalmi igény: 2021.11.09.

Arany nanorudakkal dópolt átlátszó polimer besugárzása nagyintenzitású lézer impulzusokkal



Raman szórás spektrumok

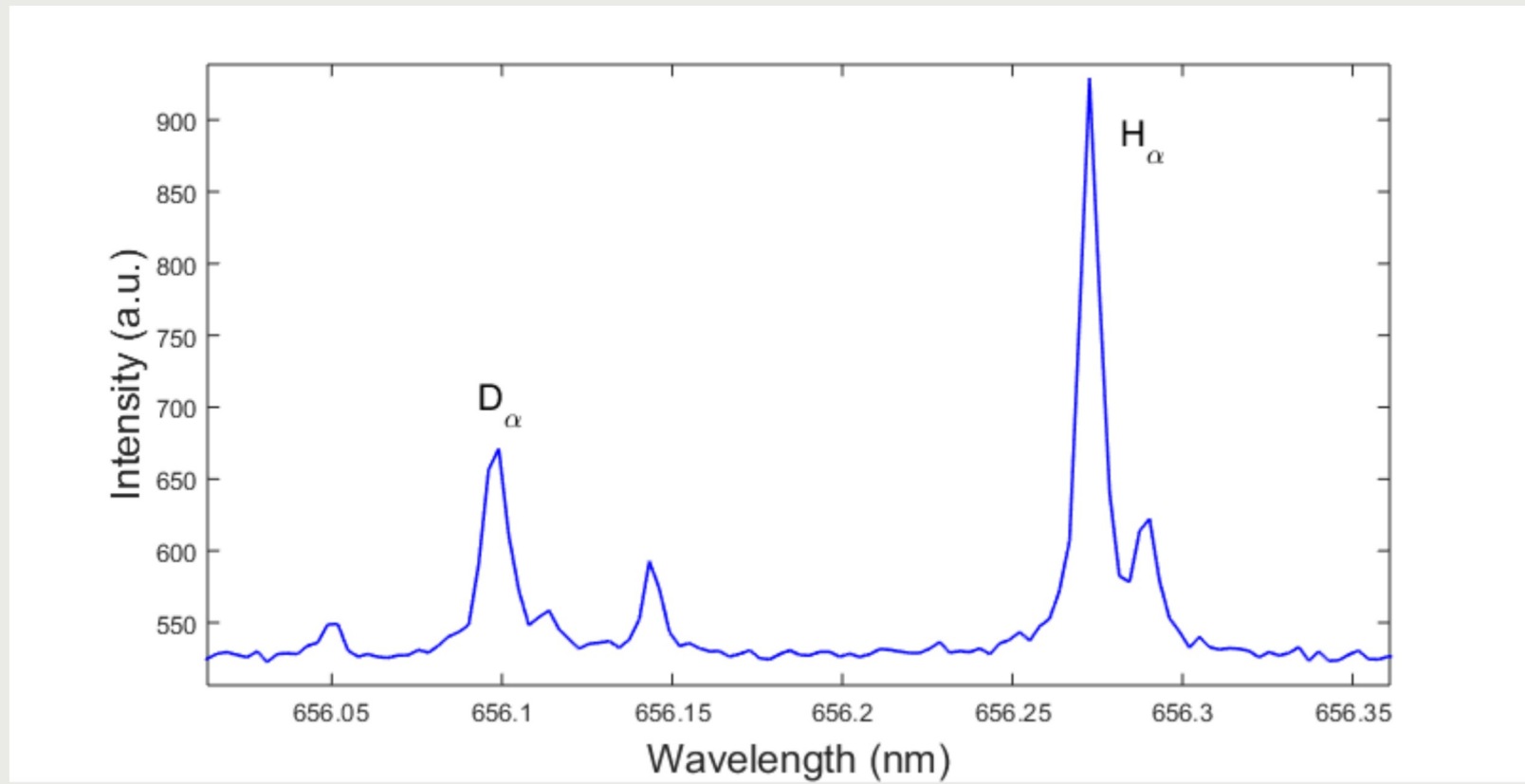
$$I_{\text{laser}} > 10^{16} \text{ W/cm}^2$$

Előzetes eredmény

# Deuteron vadászat 2

## LIBS spektroszkópia

Előzetes, nem reprodukált, nem publikált



# Fizikai háttér

## reakciók – elvi séma

- nanotechnológia séma: nano fém antennák tervezése, implantálása, mérése
- kvantumoptika séma: belövés beállítása, szinkronizálása, on-line mérések
- transzmutáció séma: lézer  $\rightarrow$  plazmon  $\rightarrow$  lassú neutron  $\rightarrow$  d+t termelés
- fúziós séma: lézer  $\rightarrow$  fúzió  $\rightarrow$  hő  $\rightarrow$  áramtermelés
- spektroszkópia: előtte vs utána, nano-val vs anélkül, CH vs CD rezgések, DNS fragmentumok

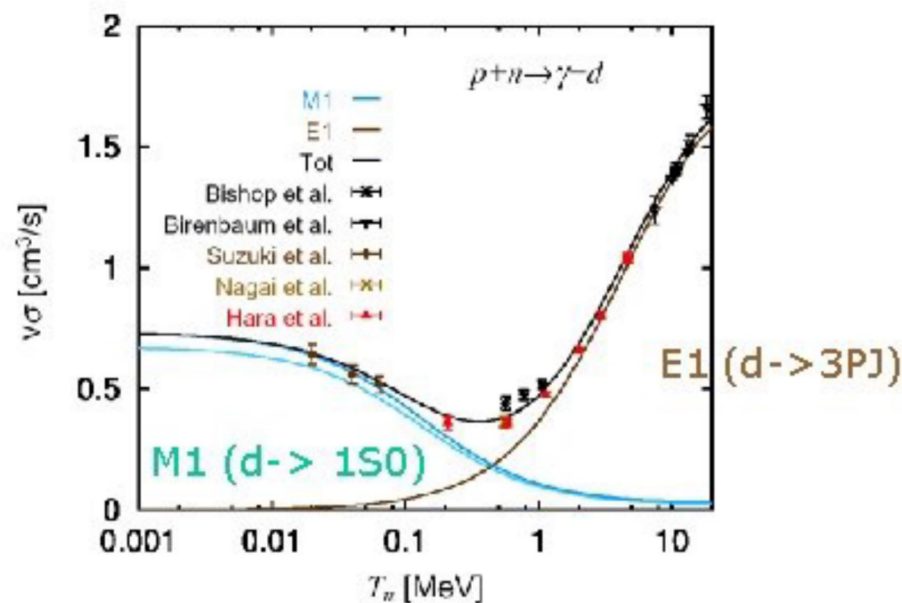




### Radiative neutron capture on proton

$$n + p \rightarrow \gamma + d \quad : \quad J_{\mu}^{cm} \quad , \quad \mathbf{q} = \mathbf{q}_0 = E_{\gamma}$$

first nuclear reaction in BBN



TS et al. (95),

Rupak (00)



# Eredmények summája

az első év

- 1 Belövési kráterek mérése
- 2  $CH_2$  vs  $CD_2$ ,  $NH$  vs  $ND$  Raman vonalak
- 3 20 Publikáció, konferencia szekció
- 4 Kísérleti fejlesztés: LIBS, tömegspektrométer, nukleáris háttér
- 5 Heti 2 skype meeting
- 6 Projekt postdoc: Papp István, Kámán Judit, Kumari Archana

# Miért másképp, mint mások?

If we all bark against the same tree, we would not make any progress (t'Hooft)

- A fúziós energiatermelés egyik zavaró instabilitását megkerülhetjük az egész target egyidejű begyújtásával.
- Ezt nanorészecske-sűrűségprofil kialakításával keressük.
- Nagyon kis mennyiségek detektálása felületerősített Raman spektroszkópiával, LIBS-szel és tömegspektrométerrel.

**Ez mind saját ötlet.**

# Szakmai felelősök

Biró Tamás, Kroó Norbert

