

# Elektrongyorsítás a terahertzes technológia segítségével: Relativisztikus elektroncsomag létrehozása

Sz. Turnár<sup>1,2</sup>

1 Institute of Physics, University of Pécs, 7624 Pécs, Hungary

2 HUN-REN-PTE High-Field Terahertz Research Group, 7624 Pécs, Hungary



## 1. Motiváció

## 2. Részecskegyorsítás

## 3. Terahertzes (THz) források fejlődése

### □ THz vezérelt részecskegyorsítás

- Vákuumban történő elektrongyorsítás
- Dielektrikus THz vezérelt gyorsítás

## 4. Összegzés

## Gyorsított elektroncsomag alkalmazási területek

- Részecske manipulációs kísérletek

- Röntgen-sugárzás generálása

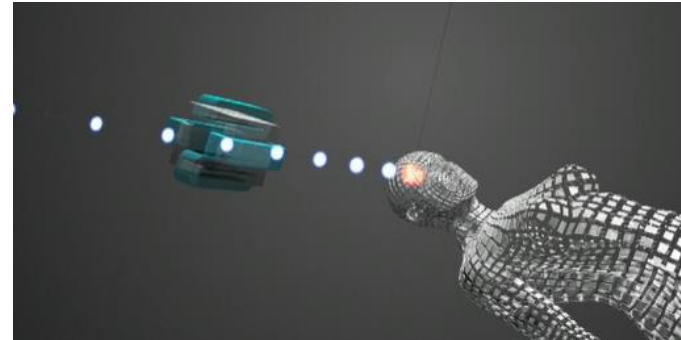
- Orvosi képalkotás
    - Röntgendiffrakció
    - Röntgen spektroszkópia

- FLASH sugárterápia

- VHEE (néhány MeV)

- Egyéb nagyenergiás kísérletek

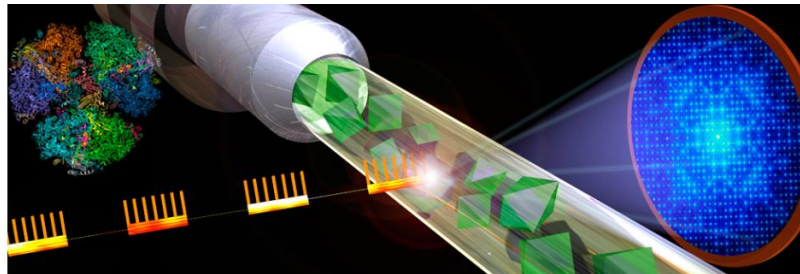
- Plazmafizika és lézerplazma gyorsítók
  - XFEL
  - ...



<https://kt.cern/flash-radiotherapy>



<https://mpl.desy.de/>

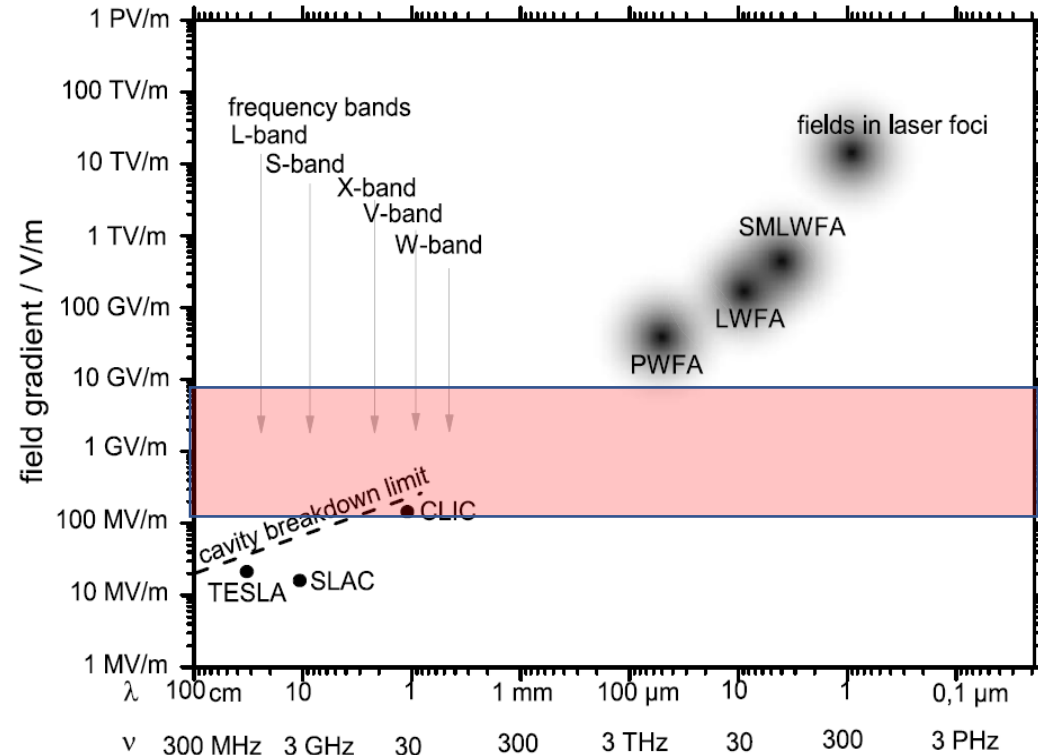


Gisriel, C., Coe, J., Letrun, R. et al., Nat Commun 10, 5021 (2019)

## A fő cél

A nagy gradiensekkel rendelkező innovatív gyorsítószervezetek előállítása, melyek lehetővé teszik a miniaturizált részecskegyorsítókat.

**Elérni kívánt gyorsulási gradiens:**  
**~ 100 MV/m - 10 GV/m**



*A gyorsulási gradiens áttekintése különböző típusú gyorsítók esetén*

## A fő cél

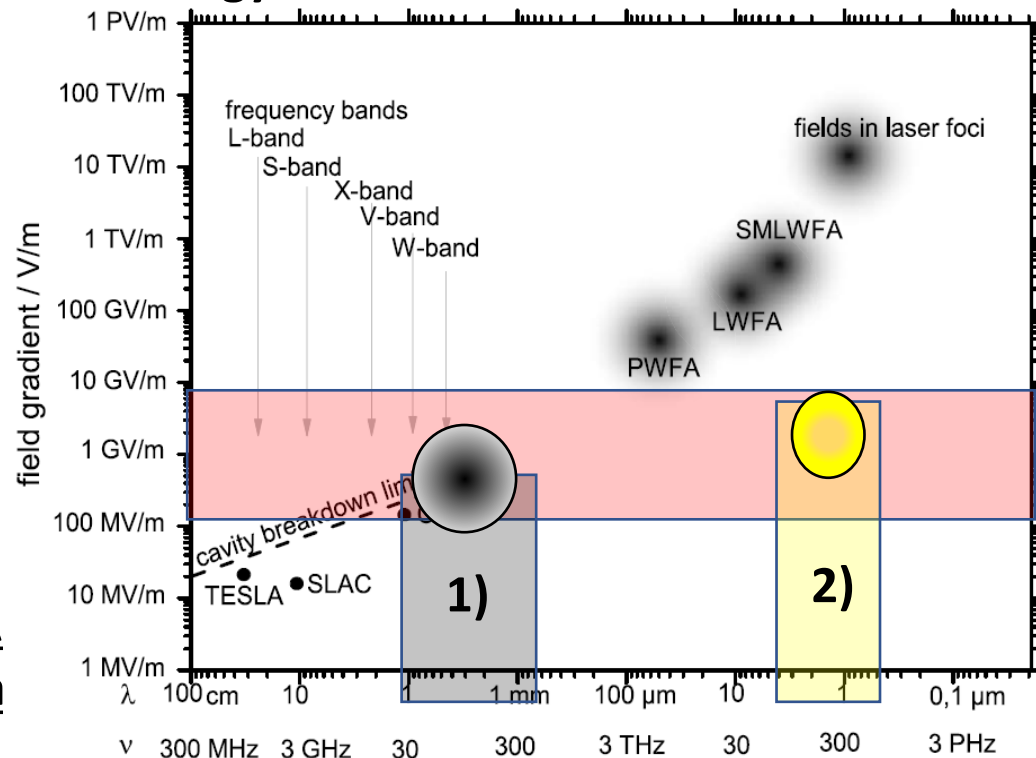
A nagy gradiensekkel rendelkező innovatív gyorsítószervezetek előállítása, melyek lehetővé teszik a miniaturizált részecskegyorsítókat

**Elérni kívánt gyorsulási gradiens:**  
**~ 100 MV/m - 10 GV/m**

**1) Rádiófrekvenciás gyorsítók Ka-tól W sávig** (35-200 GHz, mm-es hullámhossz)

- 30 – 50 MeV/m

**2) Dielektrikus lézergyorsító (DLA szerkezetek), amelyek optika hullámhosszon működnek**(~ 1- 5  $\mu\text{m}$ )



*A gyorsulási gradiens áttekintése különböző típusú gyorsítók esetén*

## A fő cél

A nagy gradiensekkel rendelkező innovatív gyorsítószervezetek előállítása, melyek lehetővé teszik a miniaturizált részecskegyorsítókat

Elérni kívánt gyorsulási gradiens:

~ 100 MV/m - 10 GV/m

1) Rádiófrekvenciás gyorsítók Ka-tól W sávig (35-200 GHz, mm-es hullámhossz)

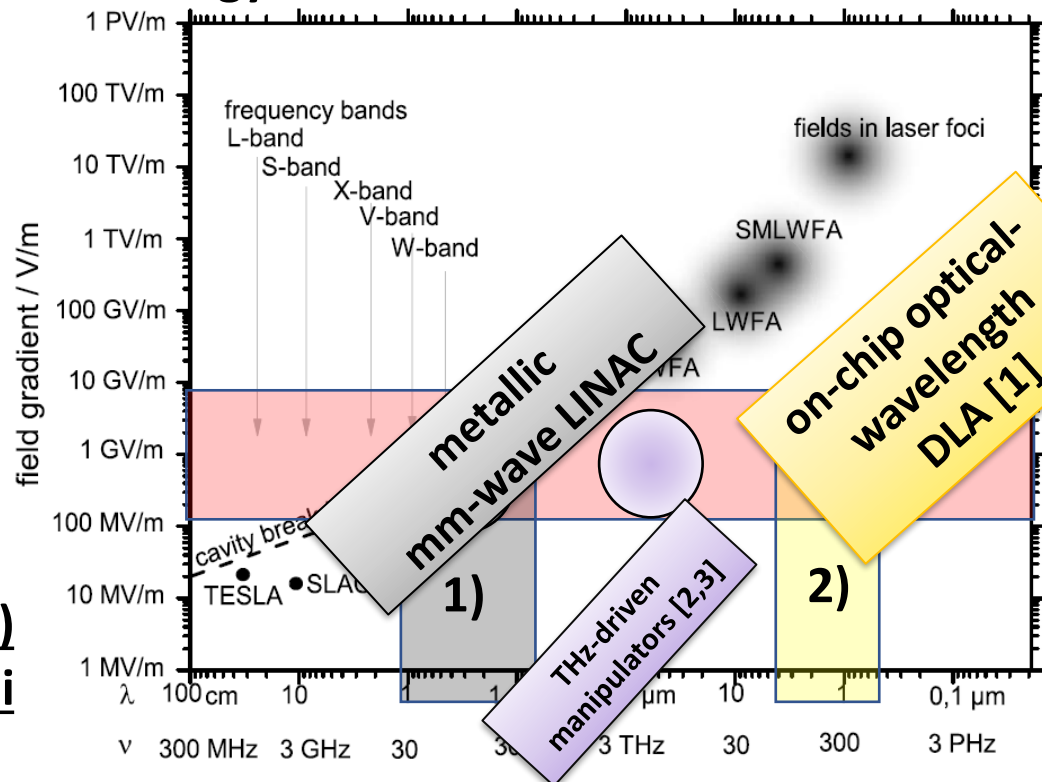
- 30 – 50 MeV/m

2) Dielektrikus lézergyorsító (DLA) szerkezetek), amelyek optikai hullámhosszon működnek (~ 1- 5 μm)

[1] R. Joel England et al., Rev. Mod. Phys. 86, 1337 (2014)

[2] E. Nanni, et al., Nat Commun 6, 8486 (2015).

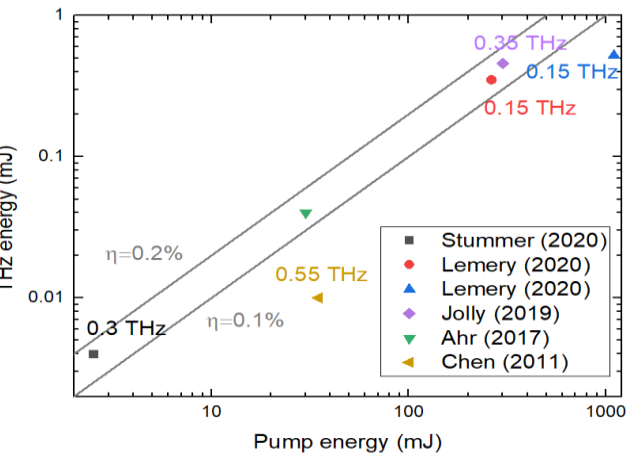
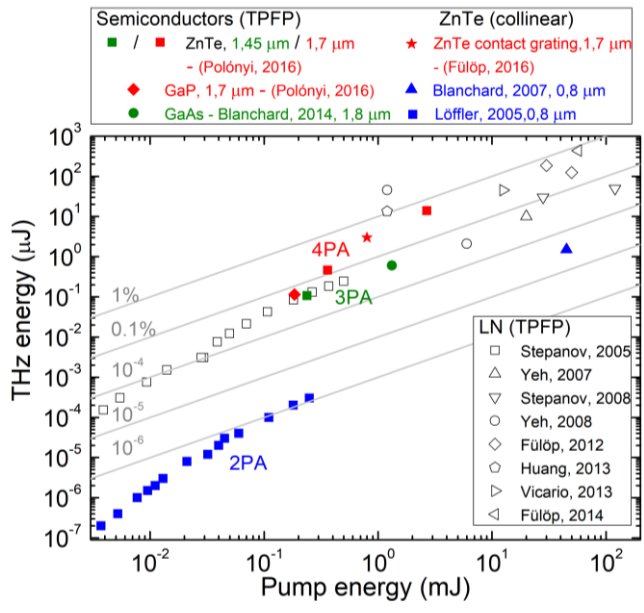
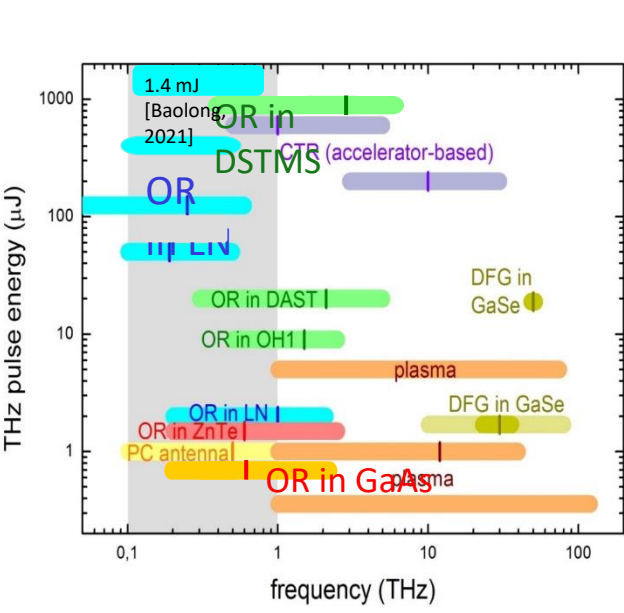
[3] F. Lemery, et al." Commun Phys 3, 150 (2020).



A gyorsulási gradiens áttekintése különböző típusú gyorsítók esetén

# Terahertzes források fejlődése

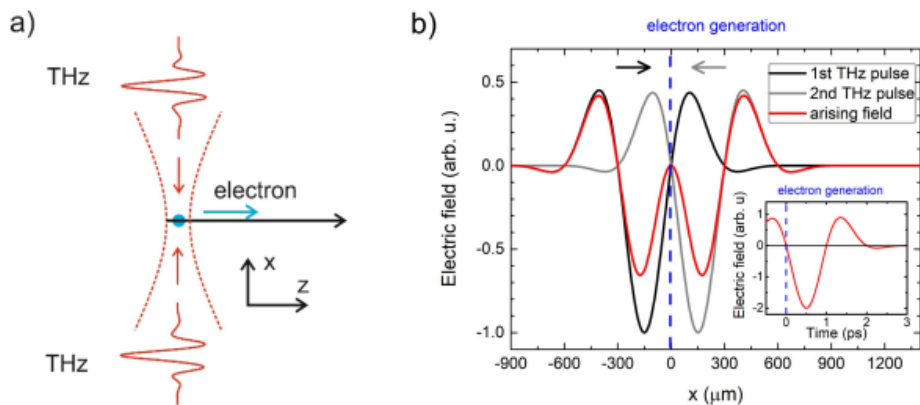
- Extrém nagy energiájú THz impulzusok generálása
  - Optikai egyenirányítás alkalmazásával LN-ben és félvezetőkben
  - A THz impulzusok energiája 7 nagyságrenddel növekedett



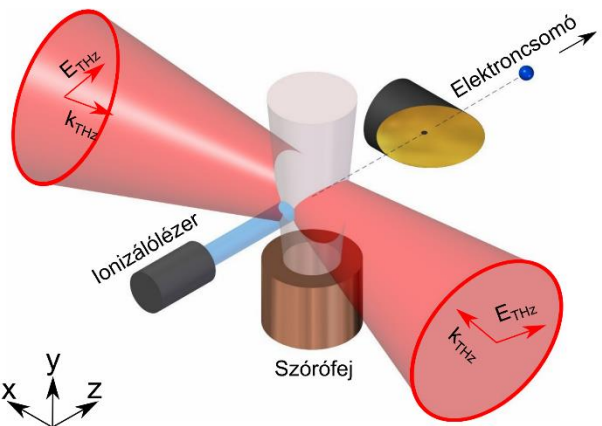
Egyciklusú terahertzes források fejlődése

Többciklusú terahertzes források fejlődése

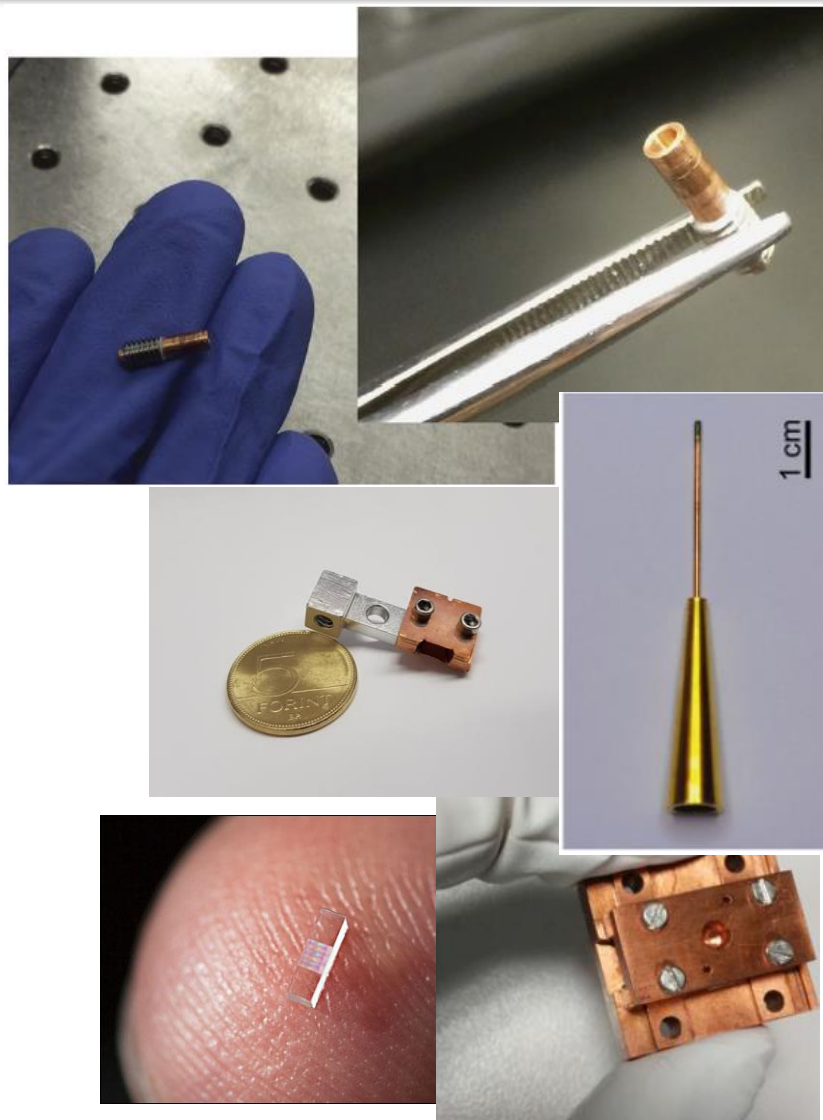
# THz vezérelt részecskegyorsítás



Tibai, Zoltán, et al. "Relativistic electron acceleration by focused THz pulses." *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics* 51.13 (2018): 134004.



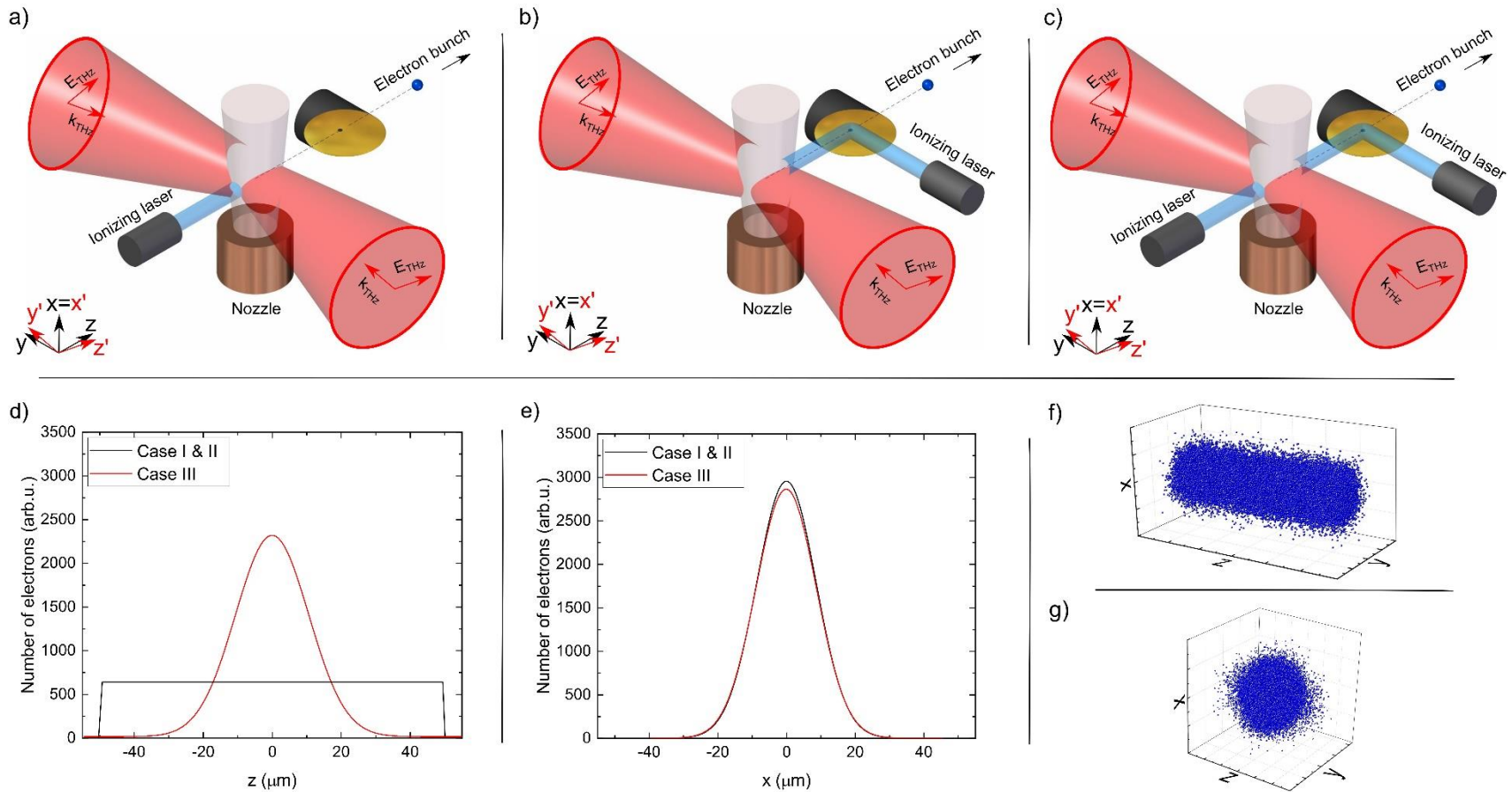
Turnár, Sz, et al. "Numerical investigation of terahertz wave driven electron acceleration generated from gas jet." *Applied Physics B* 130.2 (2024): 1-8.





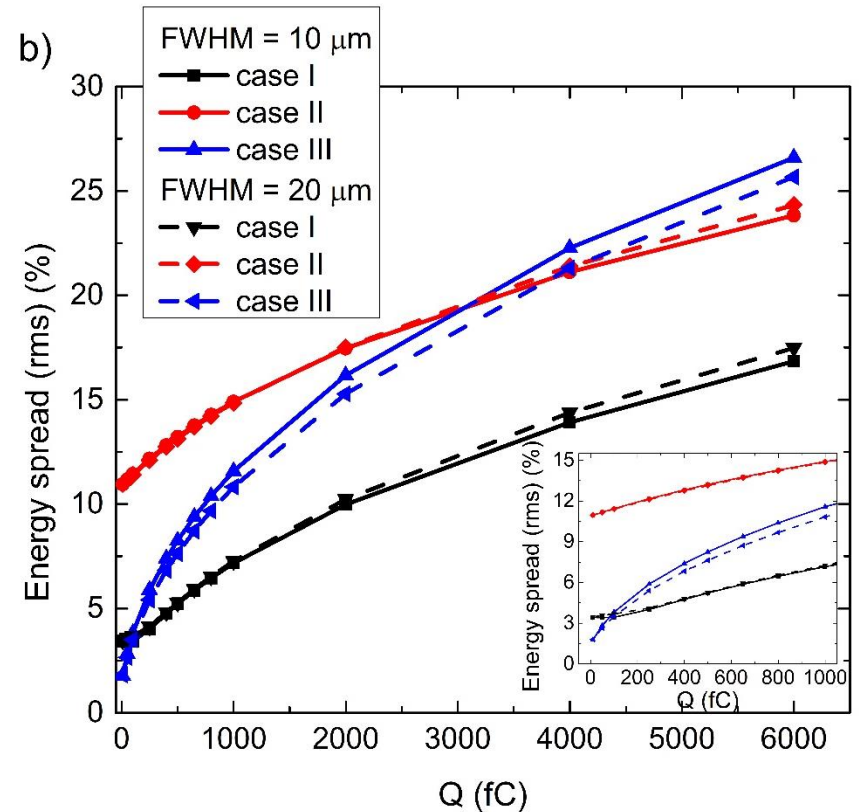
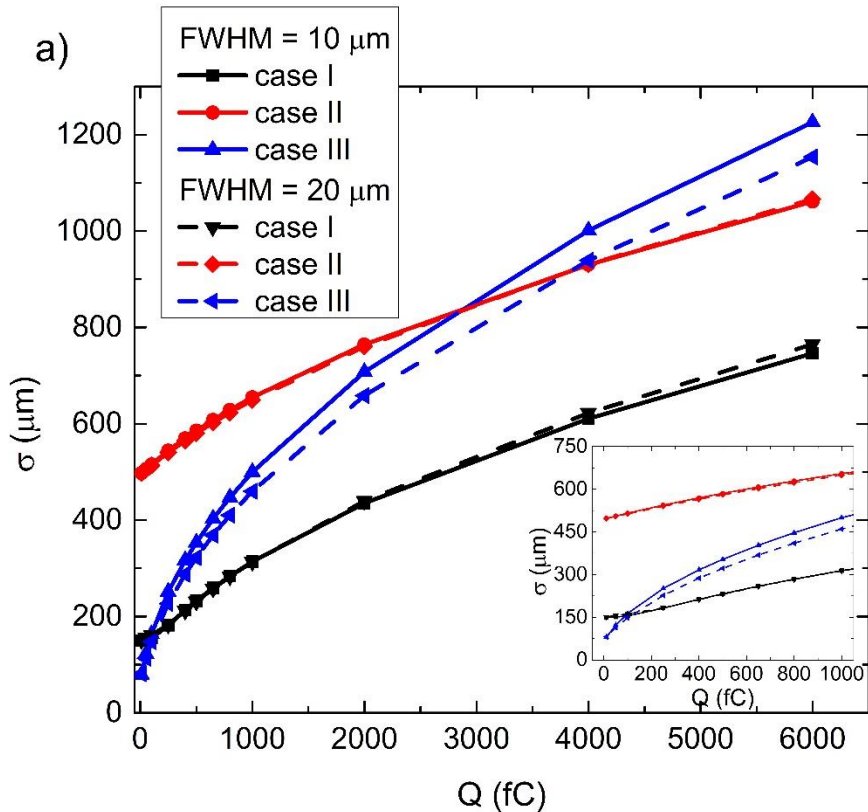
# Vákuumban történő elektrongyorsítás

2 x 1.0 mJ (2 x 5.21 MV/cm)



Turnár, Sz, et al. "Numerical investigation of terahertz wave driven electron acceleration generated from gas jet." *Applied Physics B* 130.2 (2024): 1-8.

# Vákuumban történő elektrongyorsítás



Turnár, Sz, et al. "Numerical investigation of terahertz wave driven electron acceleration generated from gas jet." *Applied Physics B* 130.2 (2024): 1-8.

# Vákuumban történő elektrongyorsítás

a)

Charge [fC]	Suggested setup	Optimal initial transverse size [ $\mu\text{m}$ ] *	Optimal initial Longitudinal size [ $\mu\text{m}$ ] **	Final energy spread (rms) [%]	Final standard deviation (rms) [ $\mu\text{m}$ ]
$\leq 10$	Case III	10 – 20	10 – 20	$\sim 1.5$	80
100	Case III	20	20	$\sim 3.5$	147
500	Case I	10 – 20	100	$\sim 5.2$	230
1000	Case I	10 – 20	100	$\sim 7.3$	315
1000 – 6000	Case I	10 – 20	100	$\sim 7.3 - 17.0$	315 – 750

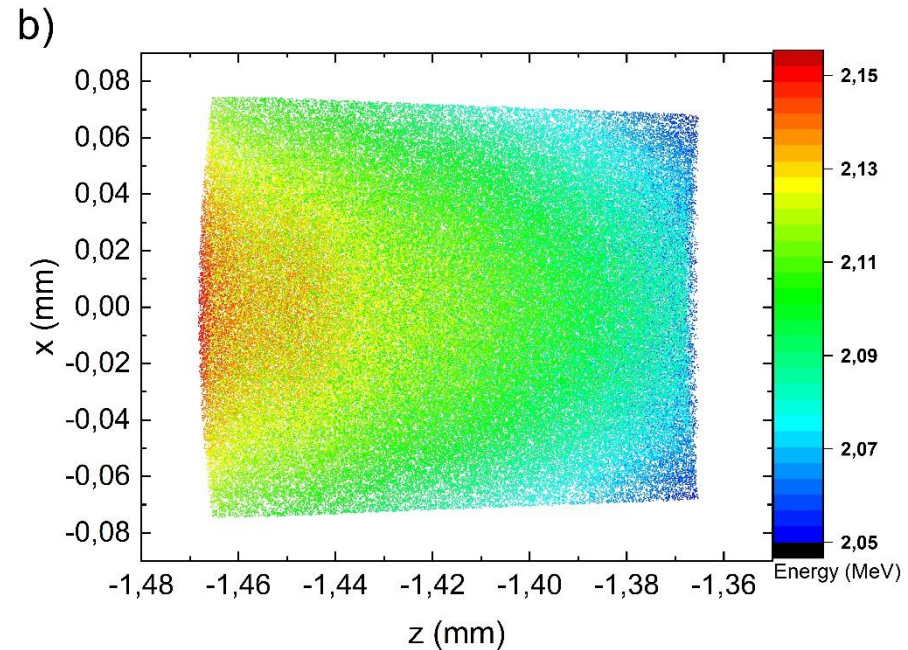
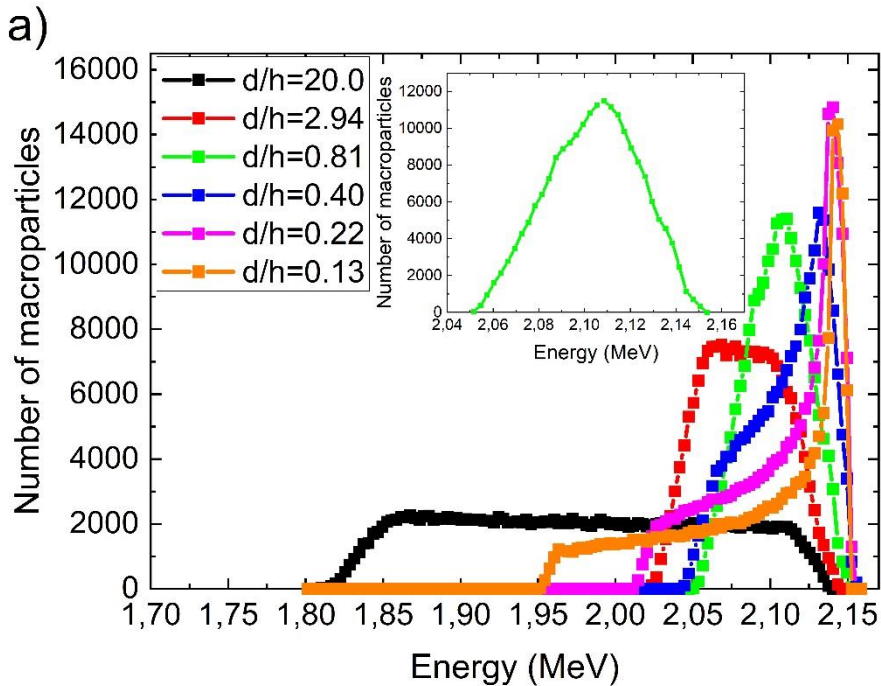
Table 1 Classification of the suggested setups by different initial bunch charges and the predicted results. \*By supposing Case I and Case III the optimal initial transverse size is in FWHM.

\*\* By supposing Case I the optimal initial longitudinal size means the total length of the bunch in the acceleration direction. In Case III it means the size in FWHM. If a range is specified, experiments can be conducted with any initial size in the interval by providing almost the same result.

Turnár, Sz, et al. "Numerical investigation of terahertz wave driven electron acceleration generated from gas jet." *Applied Physics B* 130.2 (2024): 1-8.

# Vákuumban történő elektrongyorsítás

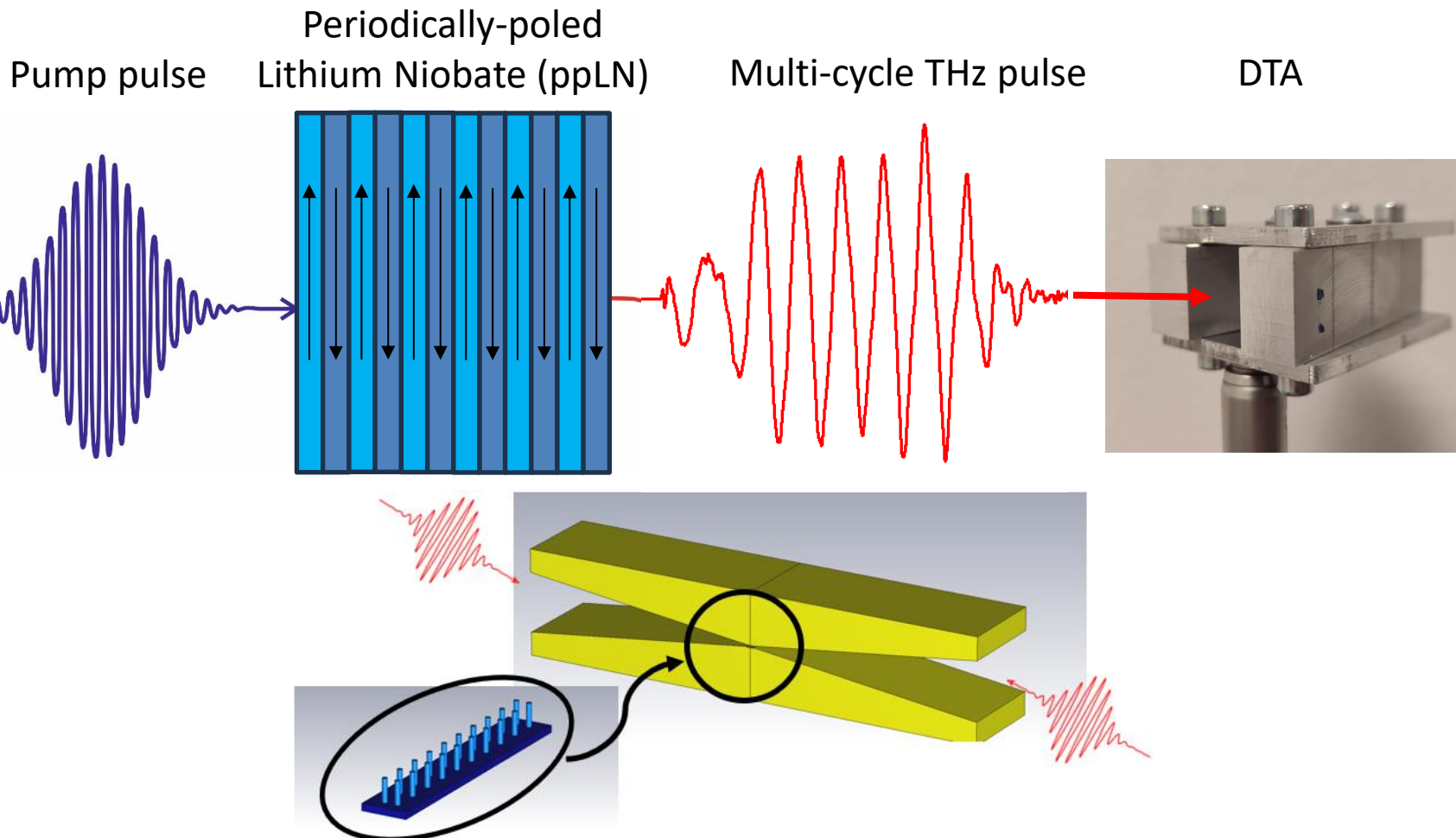
4 x 25.0 MV/cm



Turnár, Sz, et al., under preparation (2024-25):

# Dielektrikus THz vezérelt gyorsítás

- Dielektrikus THz-vezérelt gyorsítók – Dielektrikus rácsos gyorsító



A. L. Genre et al., under preparation (2024)

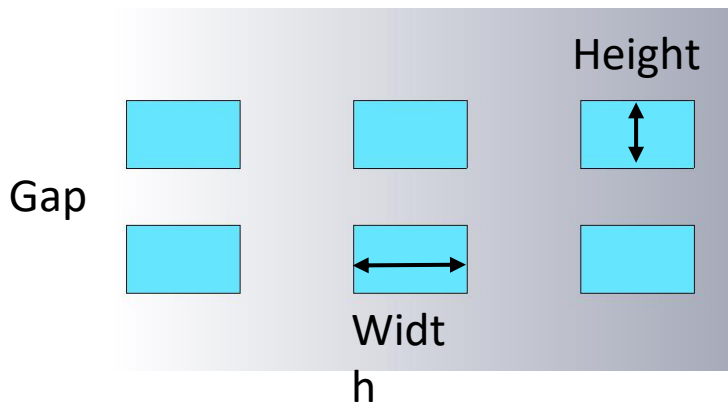
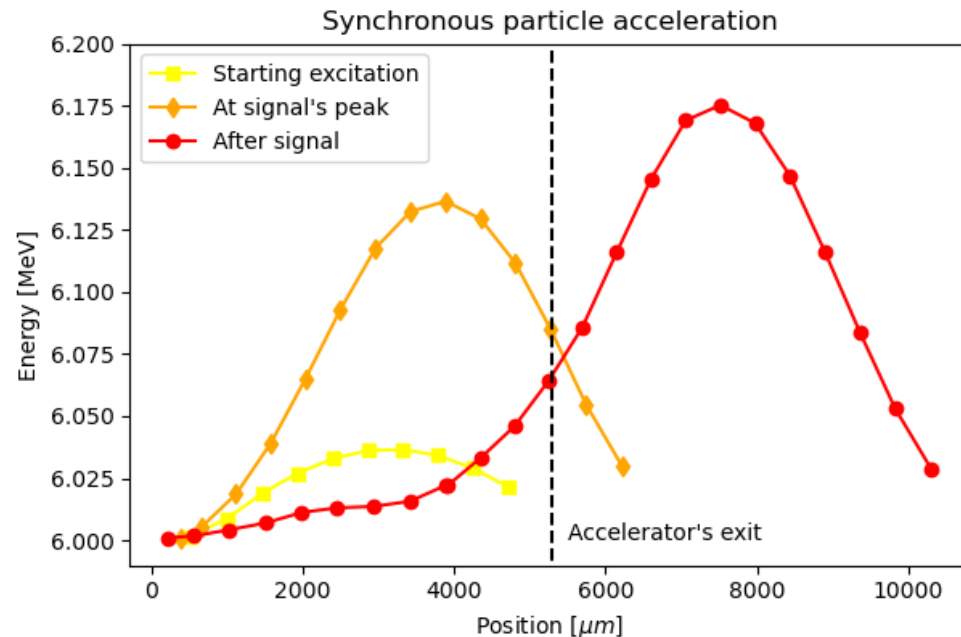
# Dielektrikus THz vezérelt gyorsítás

- Dielektrikus THz-vezérelt gyorsítók – Dielektrikus rácsos gyorsító

A DLA paramétereinek optimalizálása gyorsítási tényező (AF) figyelembevételével történt. A gyorsítógradiens egy perióduson belül ( $\lambda_p$ ) lett kiszámítva, az optimális elektronpálya,  $z(t)$ , alapján.

## Szimuláció

- 3 MV/cm
- 6 MeV kezdeti kinetikus energia
- 175 keV relatív energianövekmény



$$AF = \frac{G_0}{E_{max}}$$

$$G_0 = \frac{q}{\lambda_p} \int_0^{\lambda_p} E_z(z(t), t) dz$$

A. L. Genre et al., under preparation (2024)

# Összegzés

Parameter	RF	DLA	DTA	THz in vacuum
Power source	Microwave Klystron	Commercial IR laser	THz pulse	THz pulse
Wavelength	2-10 cm	1-10 $\mu\text{m}$	30 -3000 $\mu\text{m}$	30 -3000 $\mu\text{m}$
Bunch length	1-5 ps	10-100 as	1-5 ps	1-5 ps
Bunch charge	0.1-4 nC	1-10 fC	fC-pC	fC-few tens of nC
Req. Norm. Emittance	0.1-1 $\mu\text{m rad}$	1-10 nm rad	nm rad - $\mu\text{m rad}$	nm rad - $\mu\text{m rad}$
Rep. Rate	1-1000 Hz	10-200 MHz	kHz-GHz	kHz-GHz
Confinement of mode	Metal Cavity	Photonic crystal (1D,2D,3D)	Metal	Vacuum
Material	Metal	Dielectric	Dielectric	-
Unloaded gradient	30-100 MV/m	1-10 GV/m	$\sim$ GV/m	few hundredes of MV/m
Power coupling	Critically-coupled metal WG	Free-space/Silicon wg	Free-space/metal wg	-

# Köszönöm a figyelmet!



**Project 101073480 – EuPRAXIA-DN**

**Doctoral Network**

“Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Research Executive Agency (REA). Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.”

The project has been supported by the TKP2021 funding scheme – **(TKP2021 – EGA17)**

[turnarszabolcs@fizika.ttk.pte.hu](mailto:turnarszabolcs@fizika.ttk.pte.hu)

[hebling@fizika.ttk.pte.hu](mailto:hebling@fizika.ttk.pte.hu)

[almasi@fizika.ttk.pte.hu](mailto:almasi@fizika.ttk.pte.hu)



Funded by  
the European Union

