

Krausz Ferenc – magyar Nobel-díj az attofizikáért

Dombi Péter

Wigner Fizikai Kutatóközpont & ELI-ALPS



**WIGNER ULTRAFAST
NANOOPTICS LAB**

Fényképezés – a zársebesség-probléma



1/160 sec



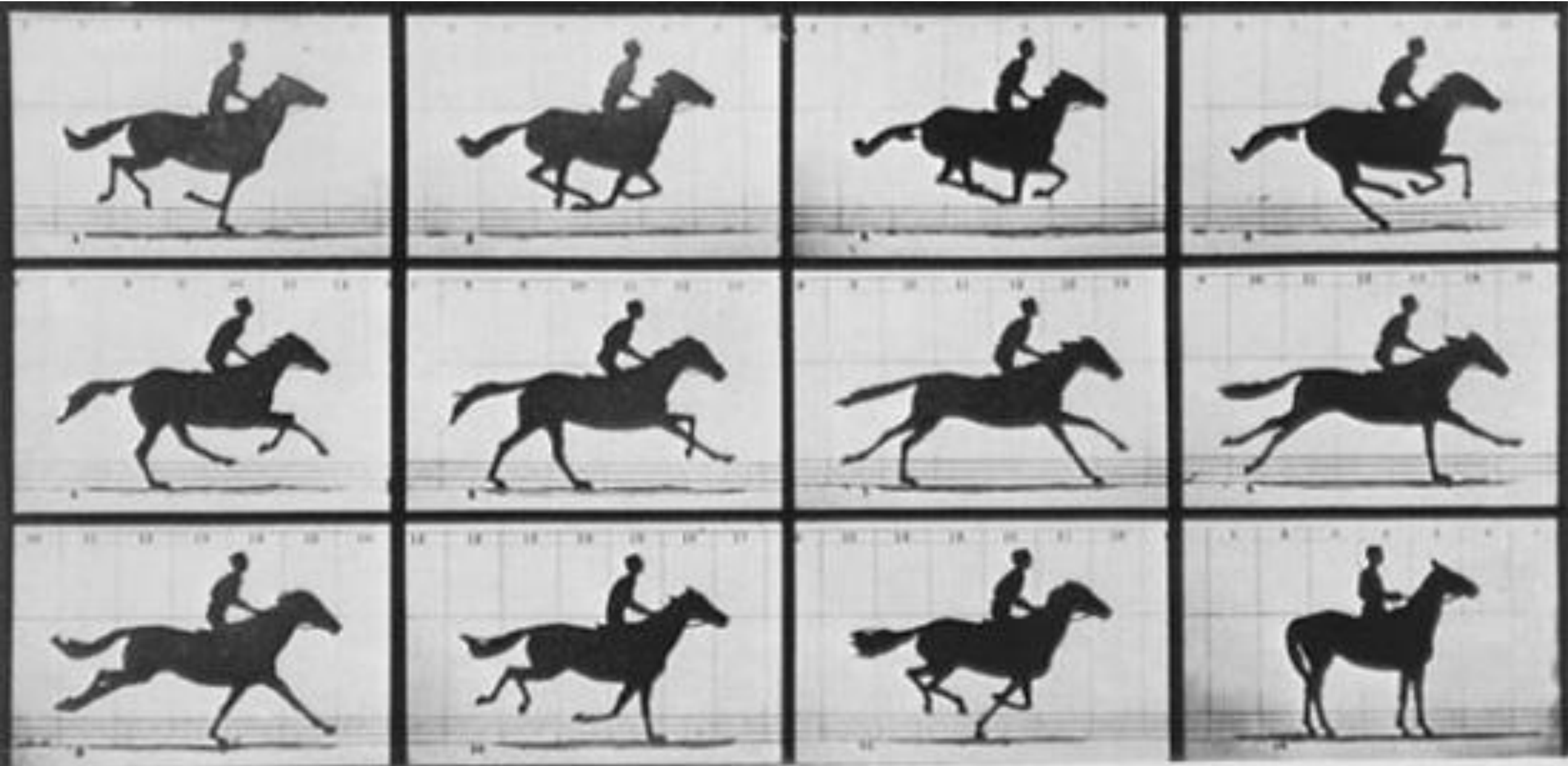
4 sec

Fényképezés – a zársebesség-probléma



Az évszázad kérdése 1872-ben

**Van-e olyan időpillanat, amikor
a vágózó ló egyik lába sem éri a földet?**



COPYRIGHT, 1888, BY MUYBRIDGE

WORLD'S Gallery, 40 Montgomery St., San Francisco.

THE HORSE IN MOTION.

Illustrated by
MUYBRIDGE

AMERICAN PHOTO-ENGRAVING CO.

És a válasz:



Nagy zársebesség helyett: rövid megvilágítás!

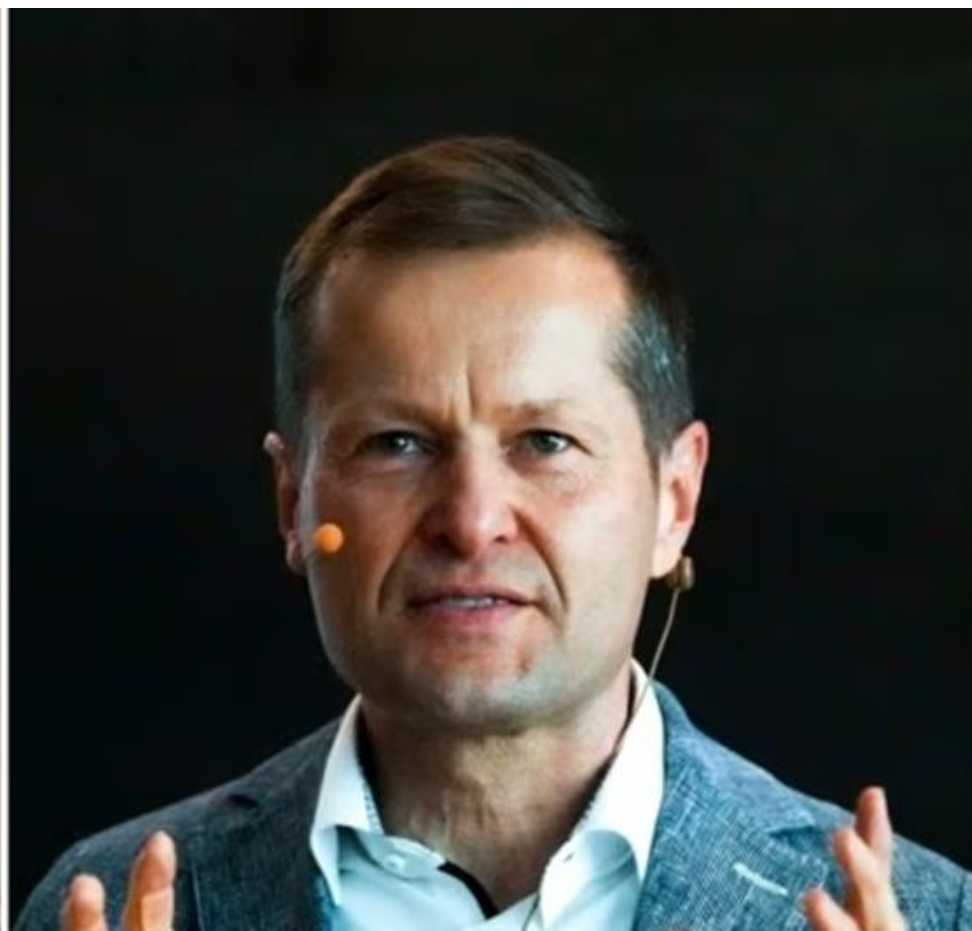


Ami a gyors mozgás vizsgálatához szükséges:

- **rövid ideig tartó megvilágítás ÉS**
- **precíz késleltetés**

Amiért a Nobel-díjat odaítélték:

- „**attoszekundumos fényimpulzusok kísérleti előállításáért, melyekkel az anyagok elektronjainak dinamikája vizsgálható**”



Mennyi az annyi?

1 attomásodperc = 10^{-18} másodperc

1 másodperces „lézerimpulzus“ hossza: Föld-Hold távolság
1000 attomásodperces lézerimpulzus hossza: 300 nm

$$\frac{2,2 \text{ attosec}}{1 \text{ sec}} = \frac{1 \text{ sec}}{\text{a világegyetem kora}}$$

Időskálák a természetben



másodperc



16 perc



11,6
napja



33.000 éve
Homo
neanderthalensis



Harmadkor/
oligocén



Ősrobbanás

The attosecond domain

Electron wavefunction in the superposition of 2 states ($\hbar=1$):

$$\Psi(r, t) = e^{-iE_1t} \phi_1(r) + e^{-iE_2t} \phi_2(r)$$

Thus the electron density is:

$$\rho(r, t) = |\Psi(r, t)|^2 = |\phi_1|^2 + |\phi_2|^2 + \phi_1^* \phi_2 e^{i(E_2 - E_1)t} + h.c.$$

where h.c.= Hermitic conjugate $f(x) \rightarrow f(-x)^*$

$$\tau = \frac{2\pi}{|E_2 - E_1|} \quad (\text{the time dependent part of the electron density is periodic with tau period})$$

Therefore the characteristic timescale for

the transition can be estimated as

$$\tau \sim \frac{2\pi}{\Delta E}$$

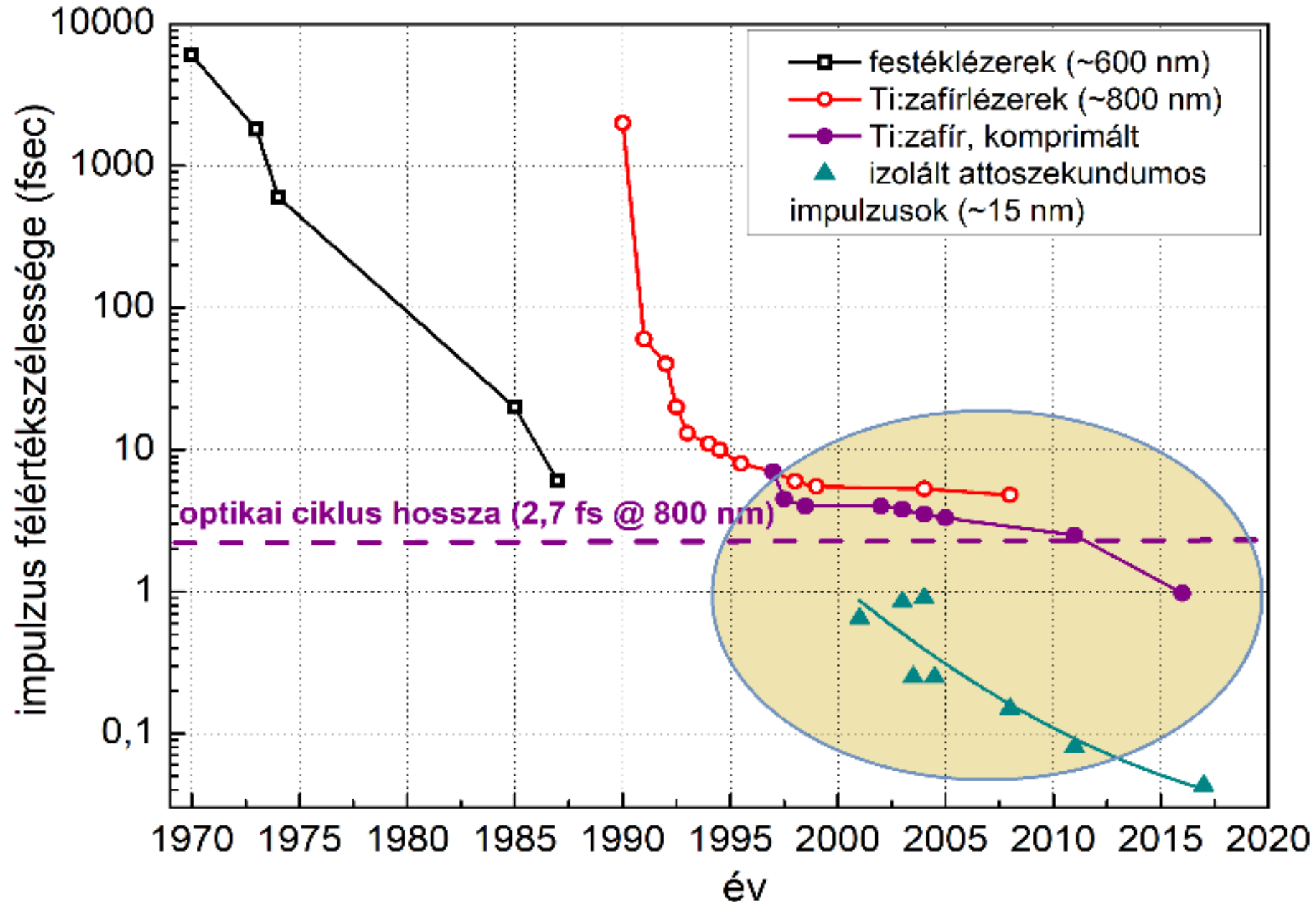
Az attoszekundumos tartomány a fizikában

Karakterisztikus időskálák $\tau = \frac{2\pi}{|E_2 - E_1|}$

	ΔE	τ
Vegyértékelektronok atomokban	13 eV	150 as
Vegyértékelektronok molekulákban	hasonló	hasonló
Molekularezgések	~100 meV	~ 20 fs
Belső héj elektronjai	~1 keV	~2 as
Magfúzió: $D + T \rightarrow He^{++} + n$	17 MeV	~10 ⁻⁷ as

→ atomok és molekulák elektronátmeneteinek természetes időtartománya az attoszekundumos tartomány

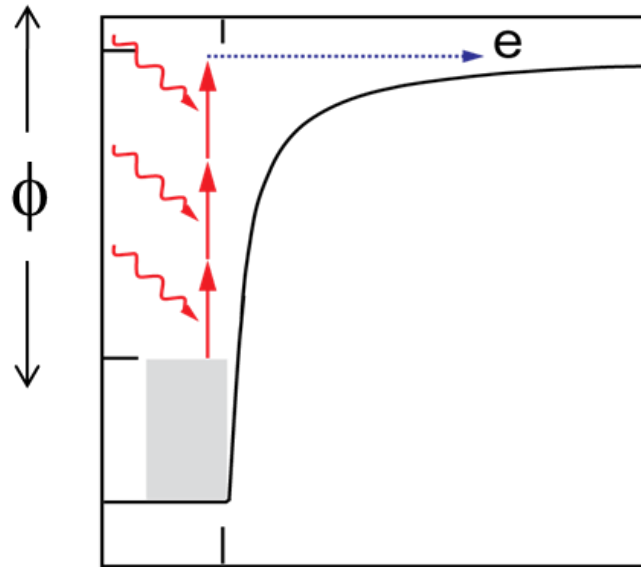
A legrövidebb lézertimpulzusok hossza



Hogyan lehet femtoszekundumos
lézerimpulzusokból attoszekundumos
impulzust előállítani?

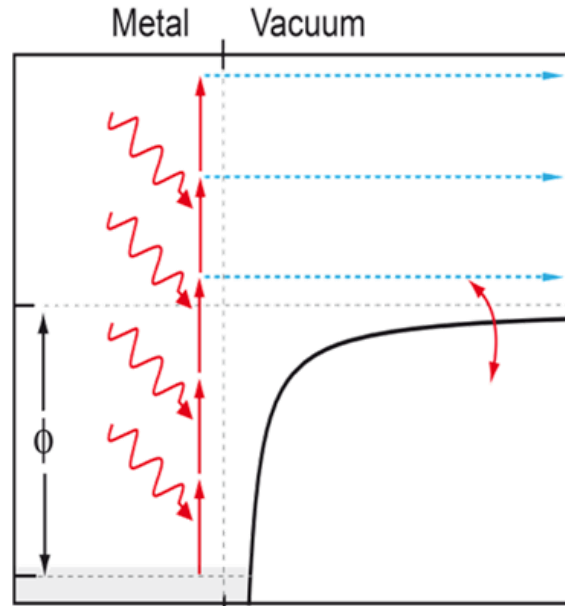
Fotonok és kötött elektronok kölcsönhatása

Sokfotonos



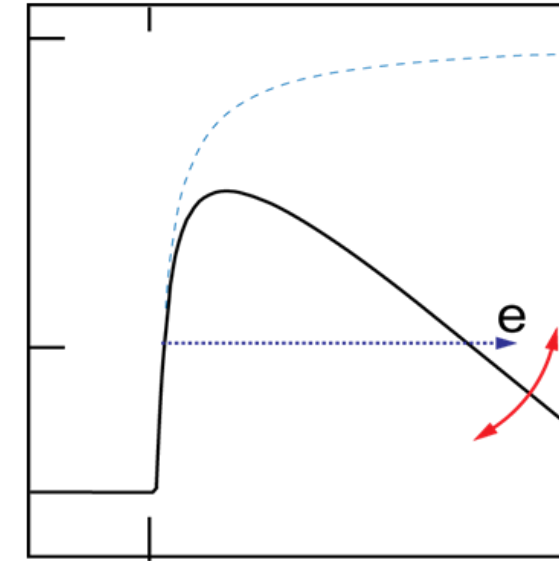
- sokfotonos:
 $n \cdot E_{ph} > \phi$
- fotoáram $\sim I_{laser}$
- perturbatív kölcsönhatás

Küszöbfeletti



- $n+1$ és magasabb rendű kölcsönhatás

Alagutazás



- AC modulált potenciál
- fotoáram adiabatikusan követi az E-teret

G. Farkas et al., Opt. Comm. 1983

R. Bormann et al., Phys. Rev. Lett. 2010

P. Dombi et al., Opt. Expr. 2010, Nano Lett. 2013

Erős-tér kölcsönhatások

Hogyan lehet femtoszekundumos
lézerimpulzusokból attoszekundumos
impulzust előállítani?

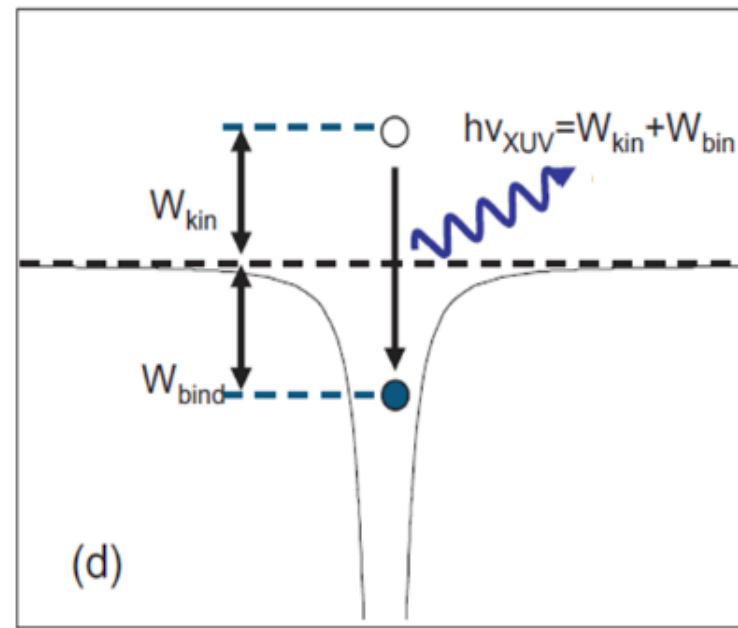
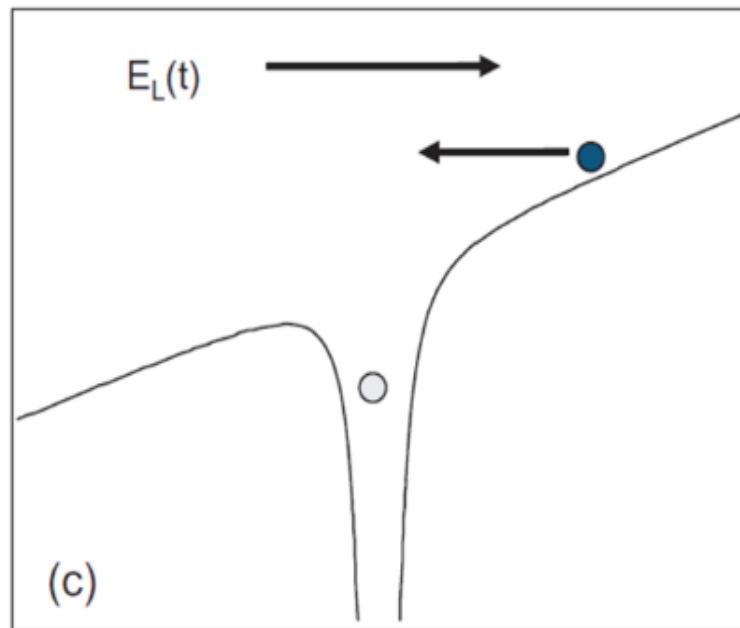
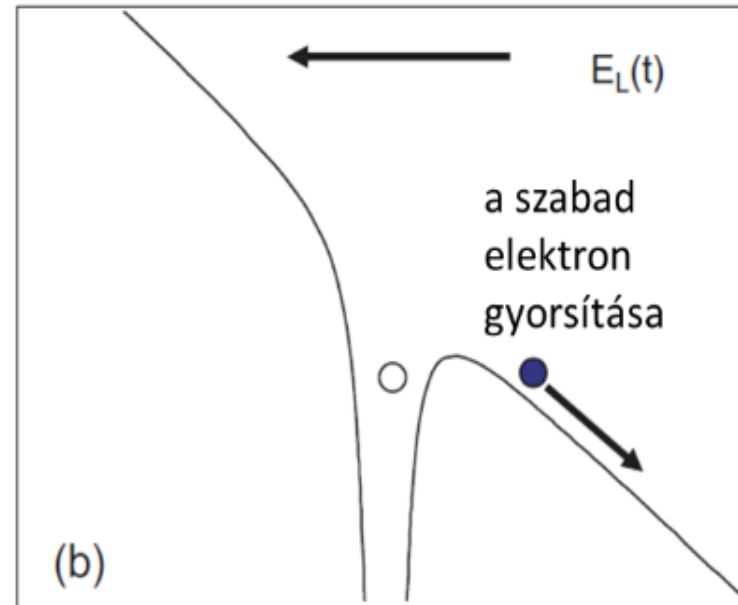
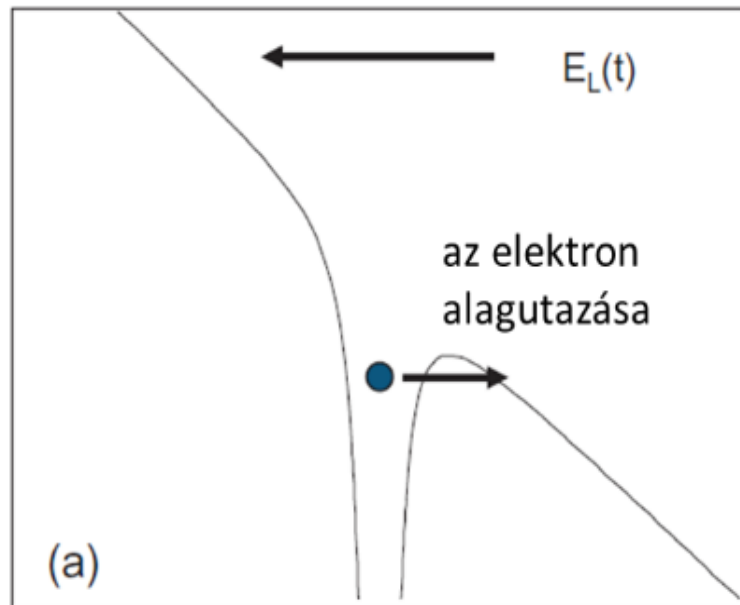
1. Végy egy femtoszekundumos lézert



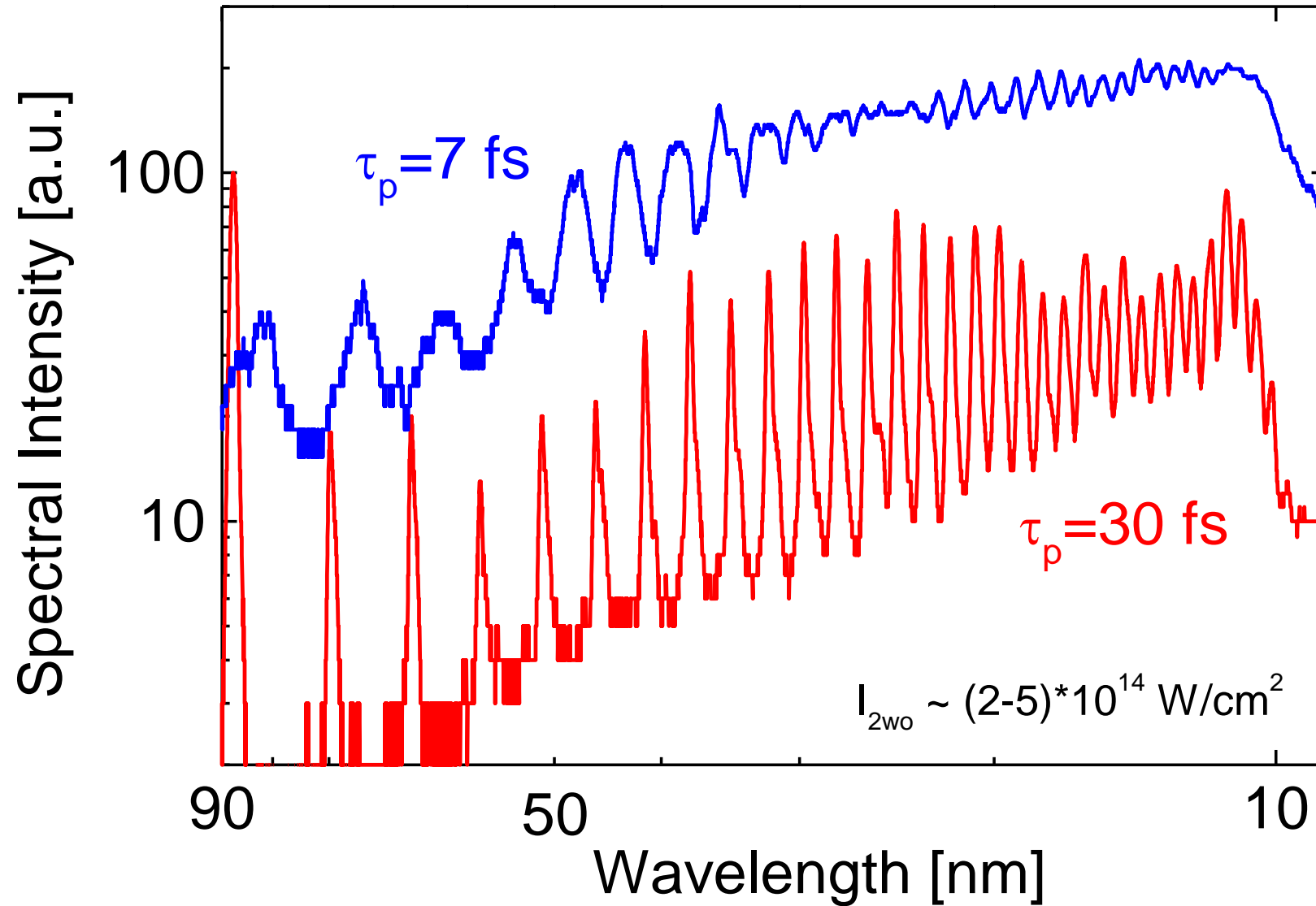
2. Fókuszáld a lézerfényt nemesgázatomokra, és...



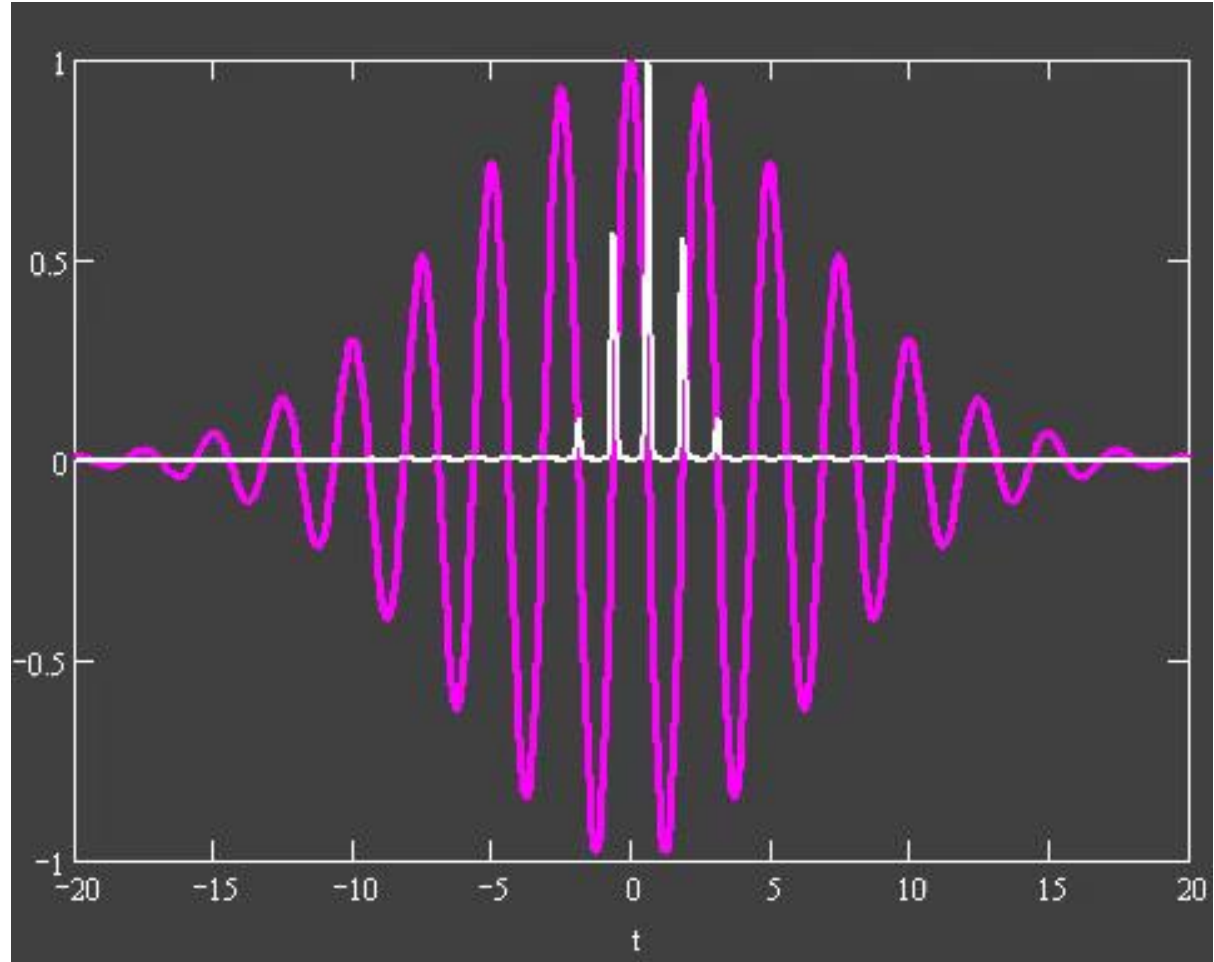
Felharmonikuskeltség az elektron alagutazása után



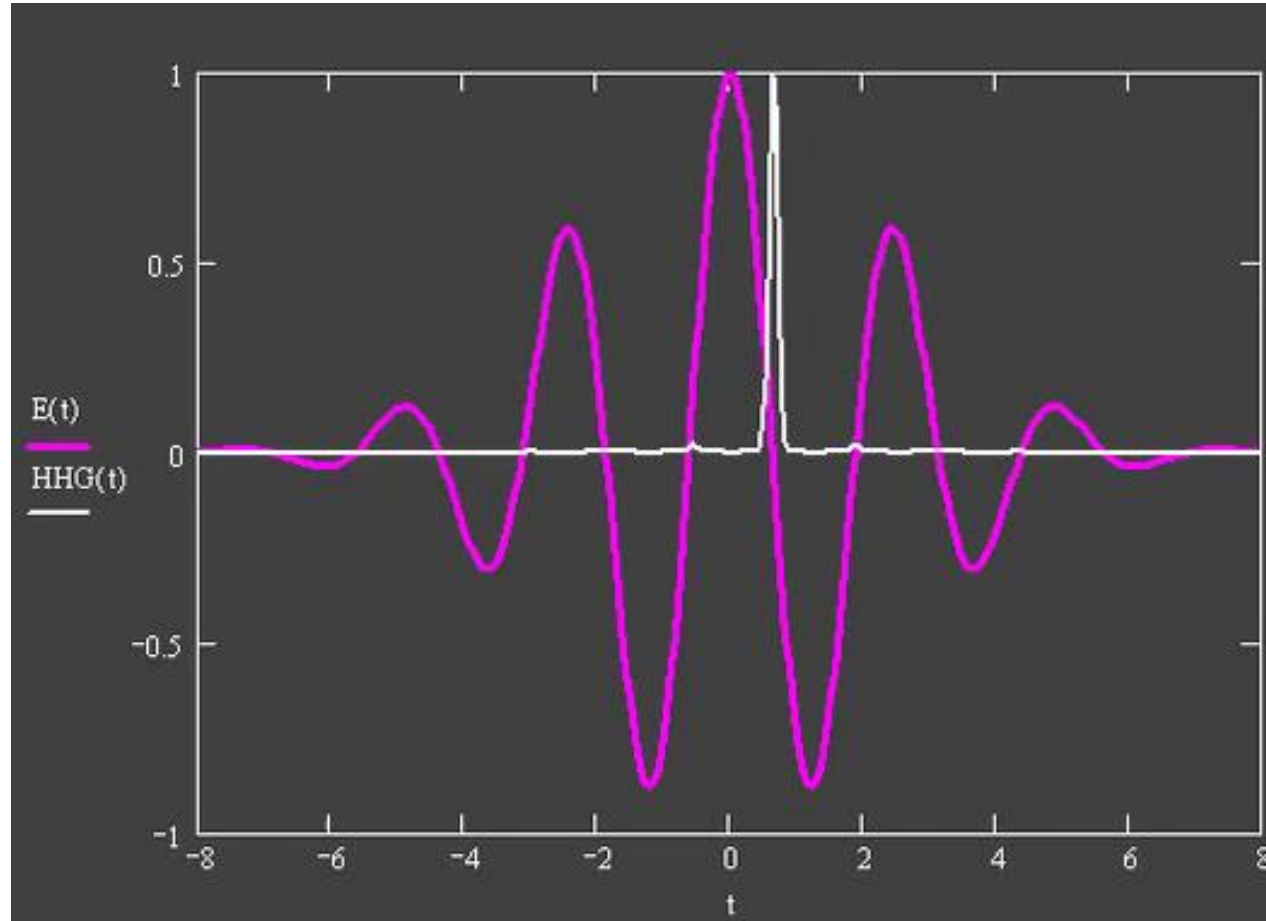
2 felharmonikus-spektrum 2001-ből



Attoimpulzusok keltése sokciklusú lézerimpulzussal



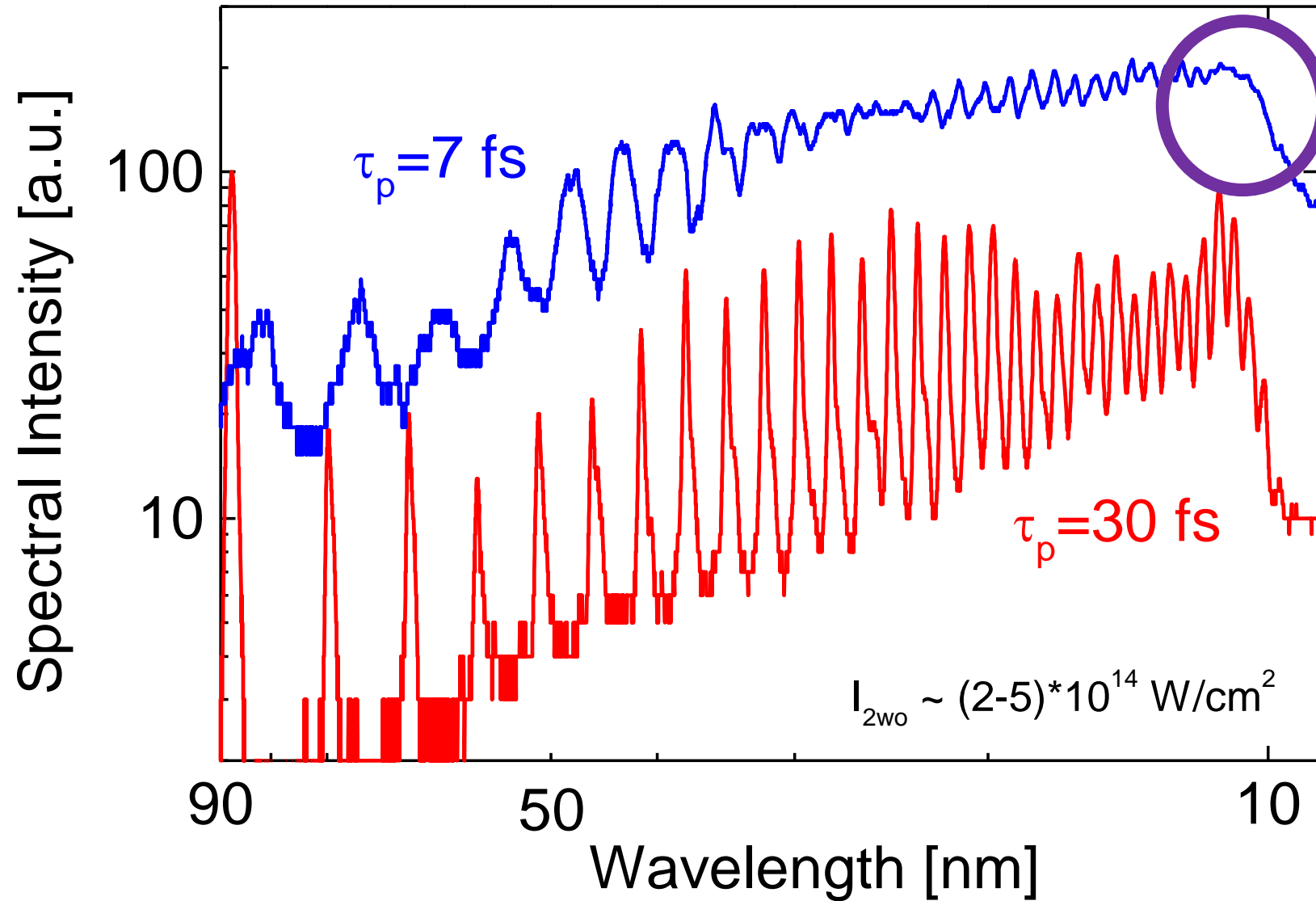
Attoimpulzusok keltése kevés ciklusú lézerpulzussal

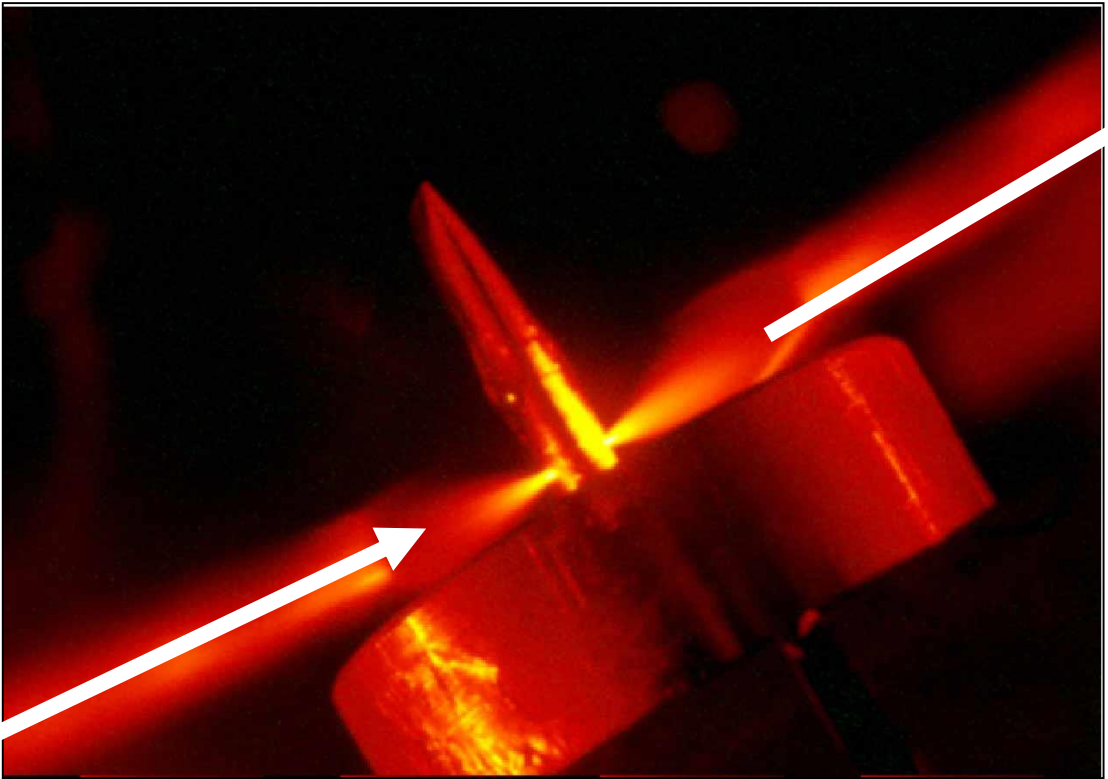


What is necessary for **isolated** atto-pulses?

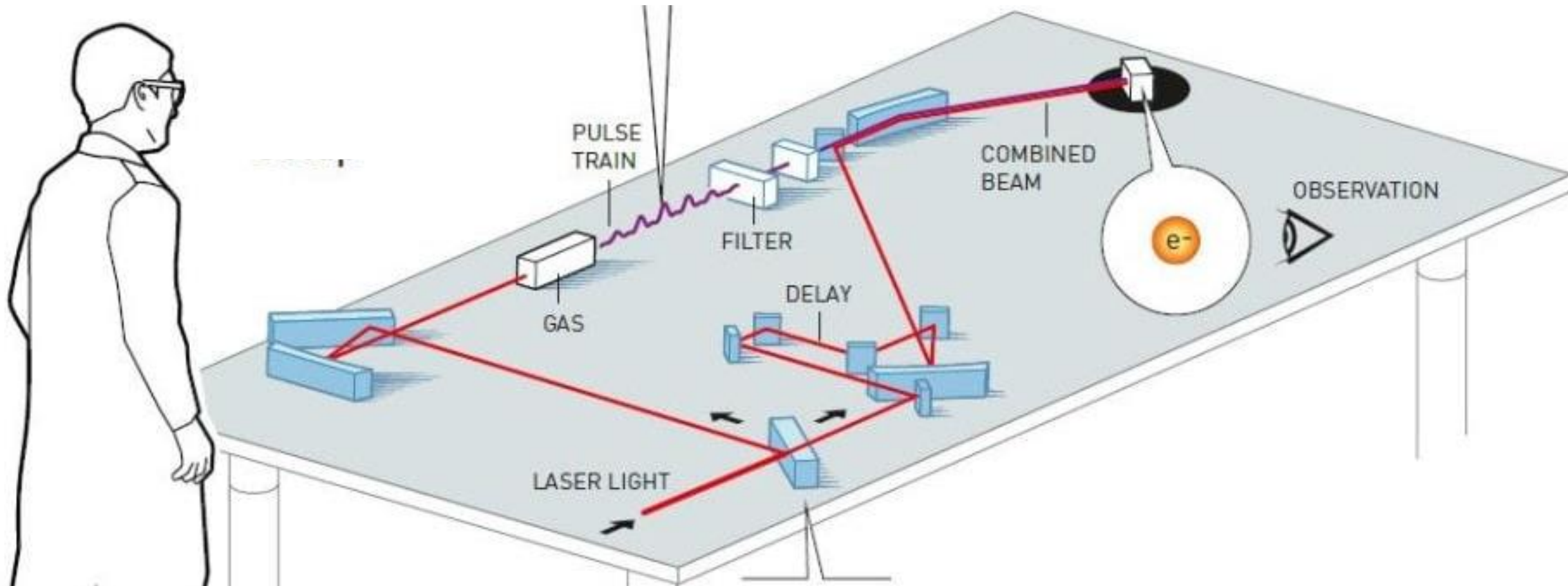
1. **few-cycle driver** pulses
2. with carrier-envelope **phase stabilization**

2 felharmonikus-spektrum 2001-ből



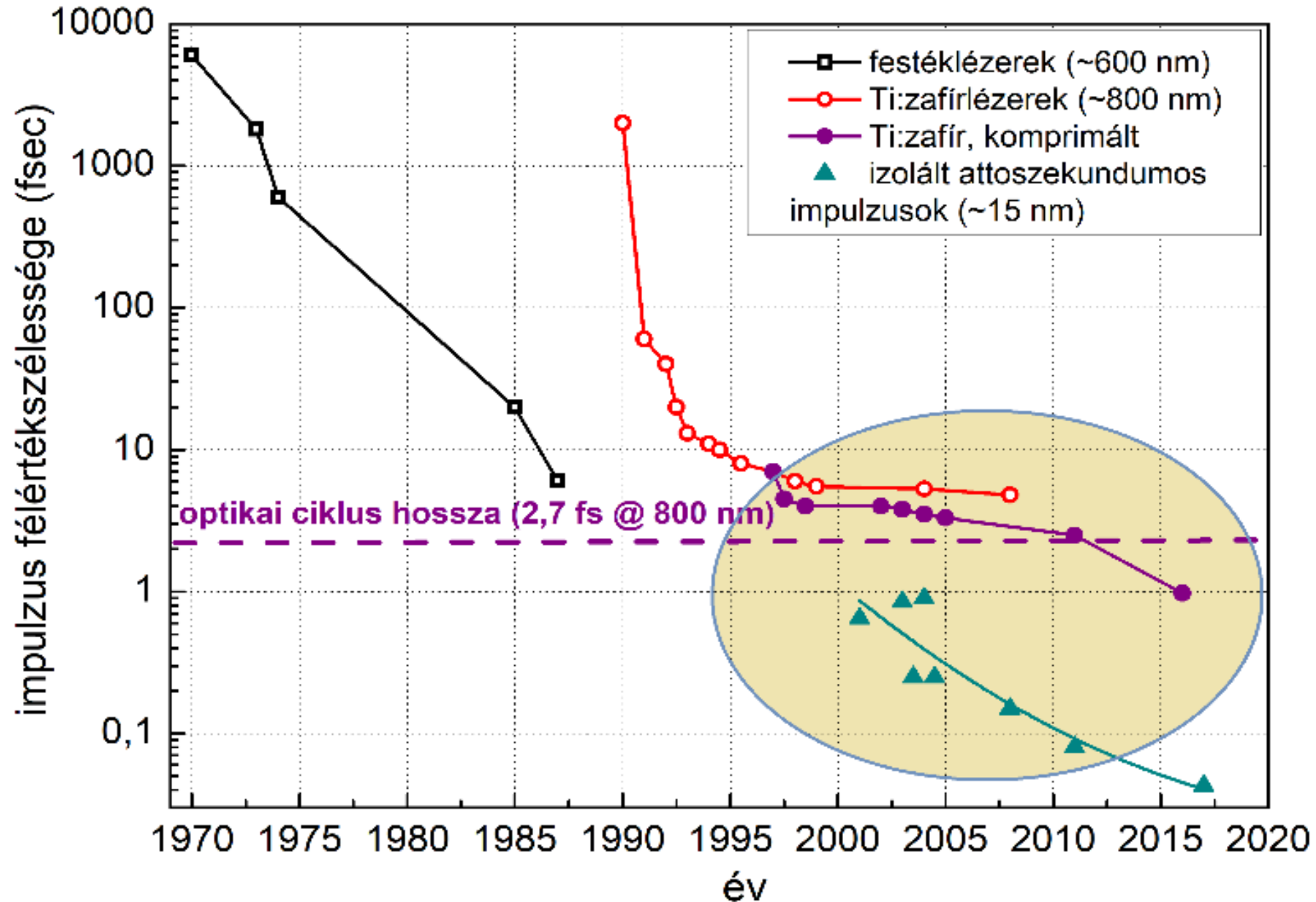


Attoszekundumos kísérlet a laborban





A legrövidebb lézerpulzusok hossza





Share       

Apply Now >

Who
ATTOSECOND SCIENCE GROUP -
ETH ZÜRICH, HANS JAKOB
WÖRNER, THOMAS GAUMNITZ

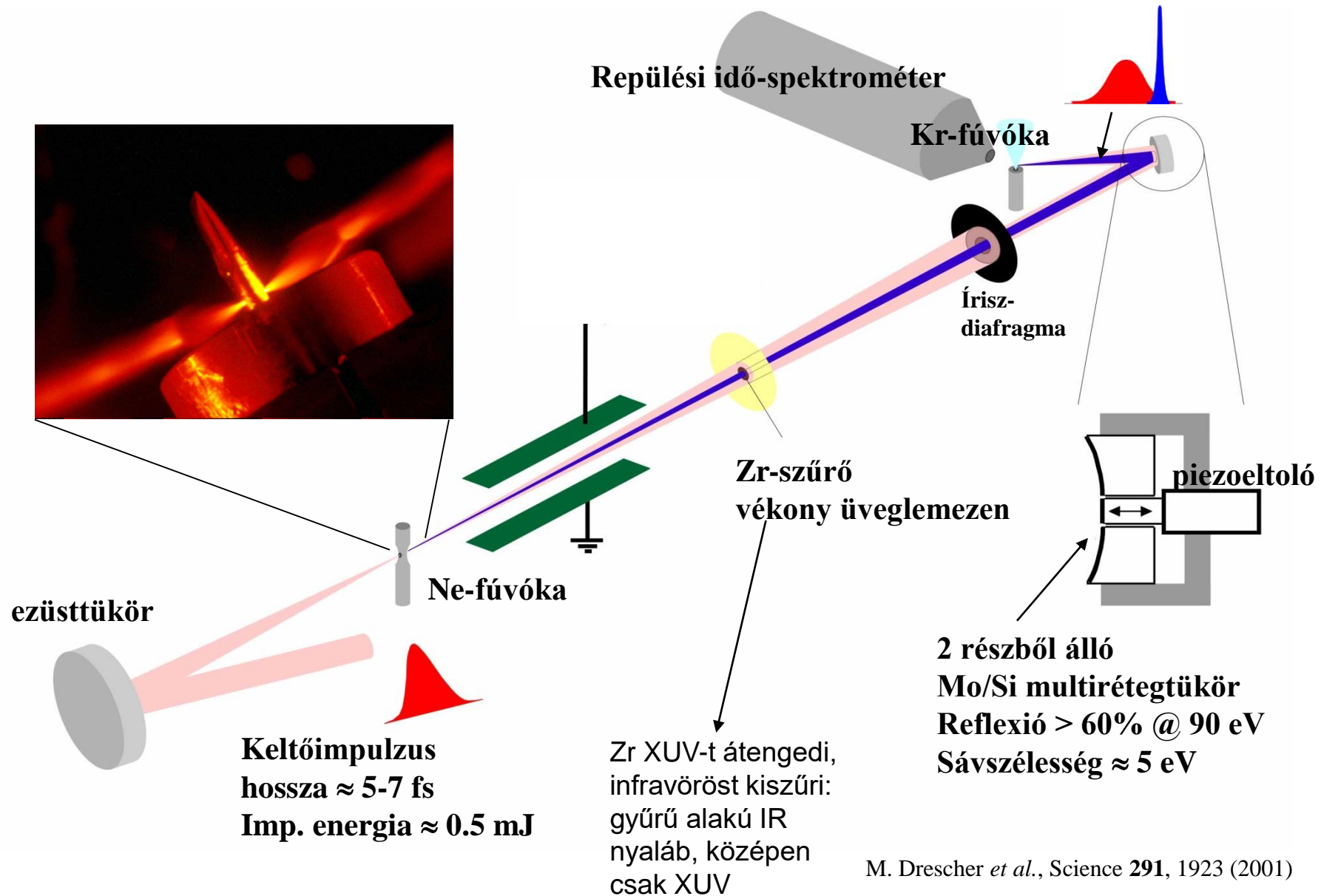
What
43 ATTO SECOND(S)

Where
SWITZERLAND (ZÜRICH)

When
30 OCTOBER 2017

The shortest pulse of light is 43 attoseconds and was achieved by Attosecond Science Group - ETH Zürich (Switzerland), Hans Jakob Wörner and Thomas Gaumnitz (both Germany) in Zürich, Switzerland, verified on 30 October 2017.

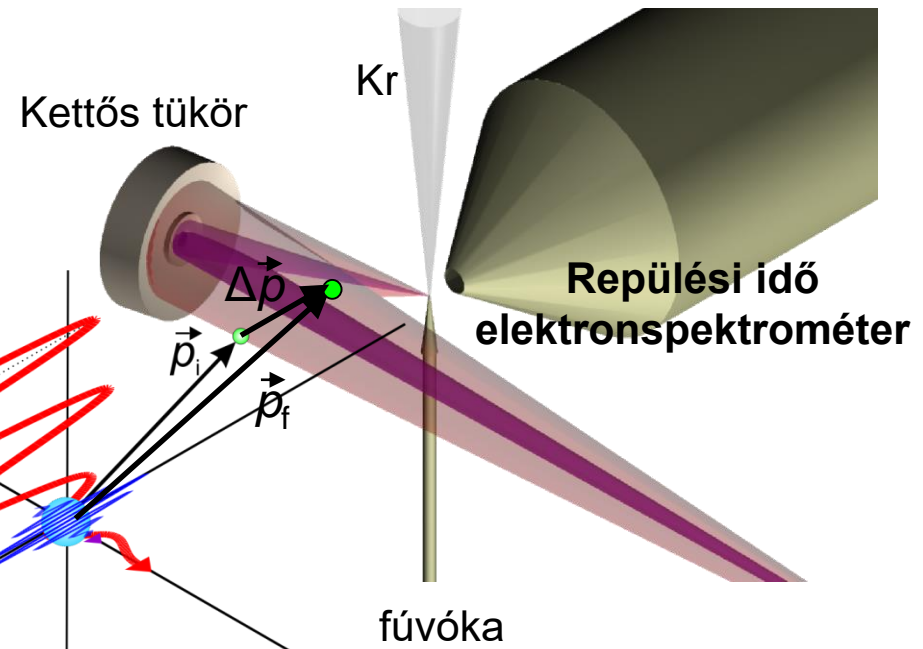
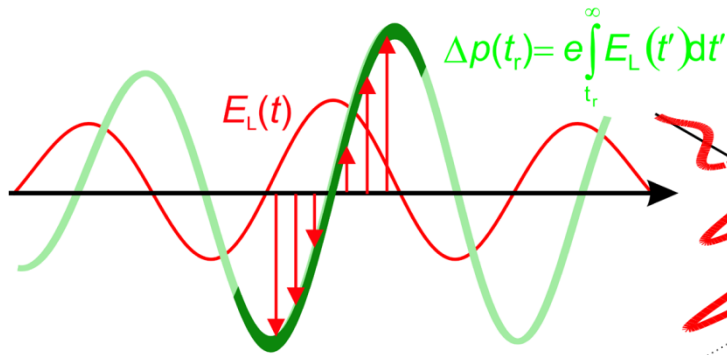
Attoszekundumos mérés technika



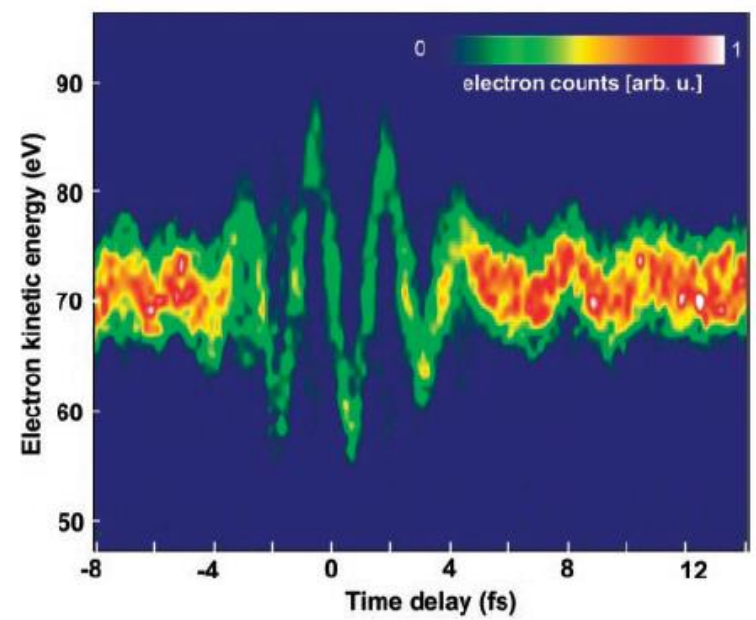
M. Drescher *et al.*, Science **291**, 1923 (2001)

A Nobel-díjas kísérlet

Az IR tér általi impulzusátadás (ami az ionizációkori vektorpotenciállal arányos) közvetlenül mérhetővé válik az elektronpsektromokban

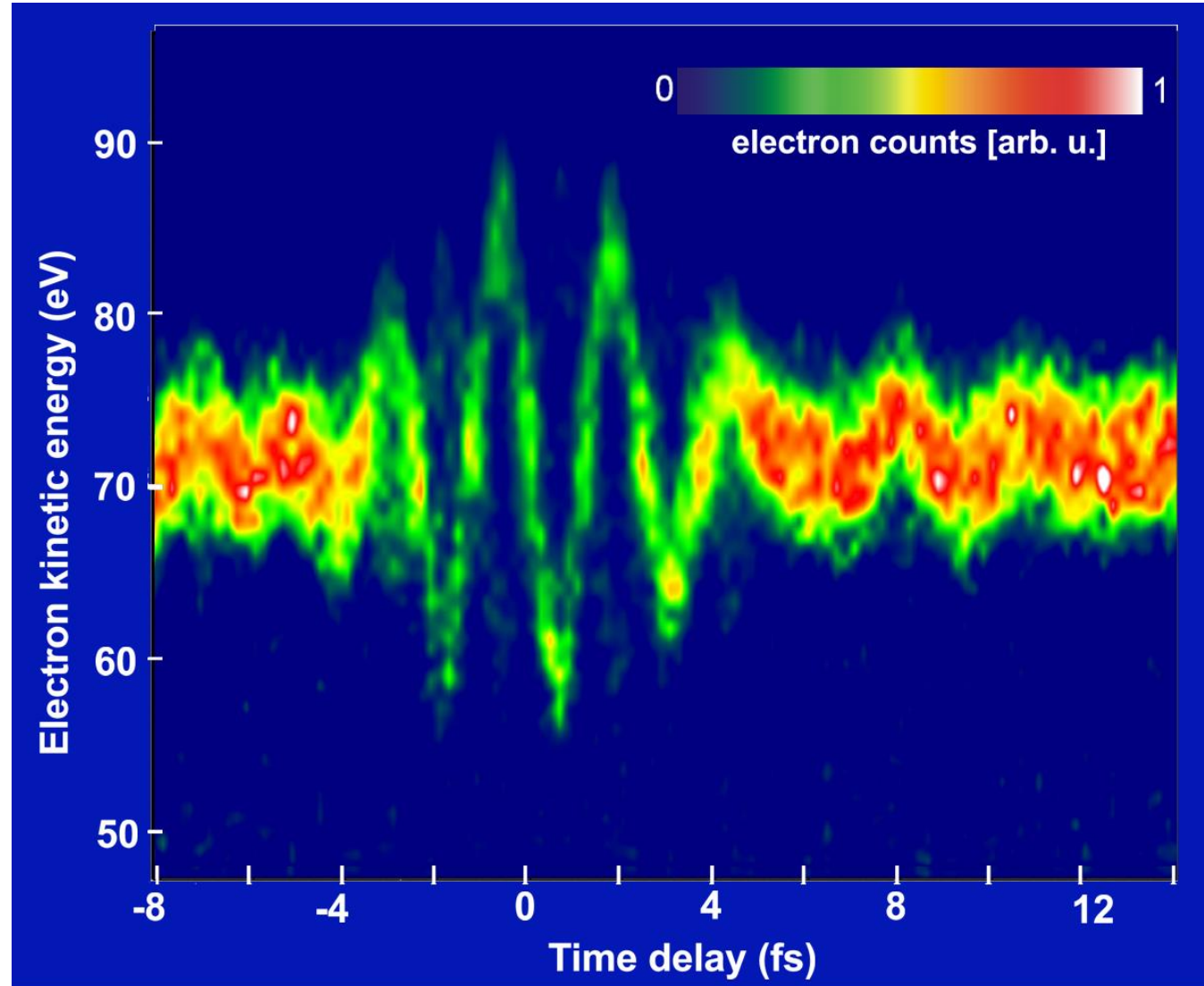


Az XUV lézerimpulzus által ionizált elektron impulzusa infravörös tér nélkül pl.: \mathbf{p}_i , IR térrel együtt: \mathbf{p}_f



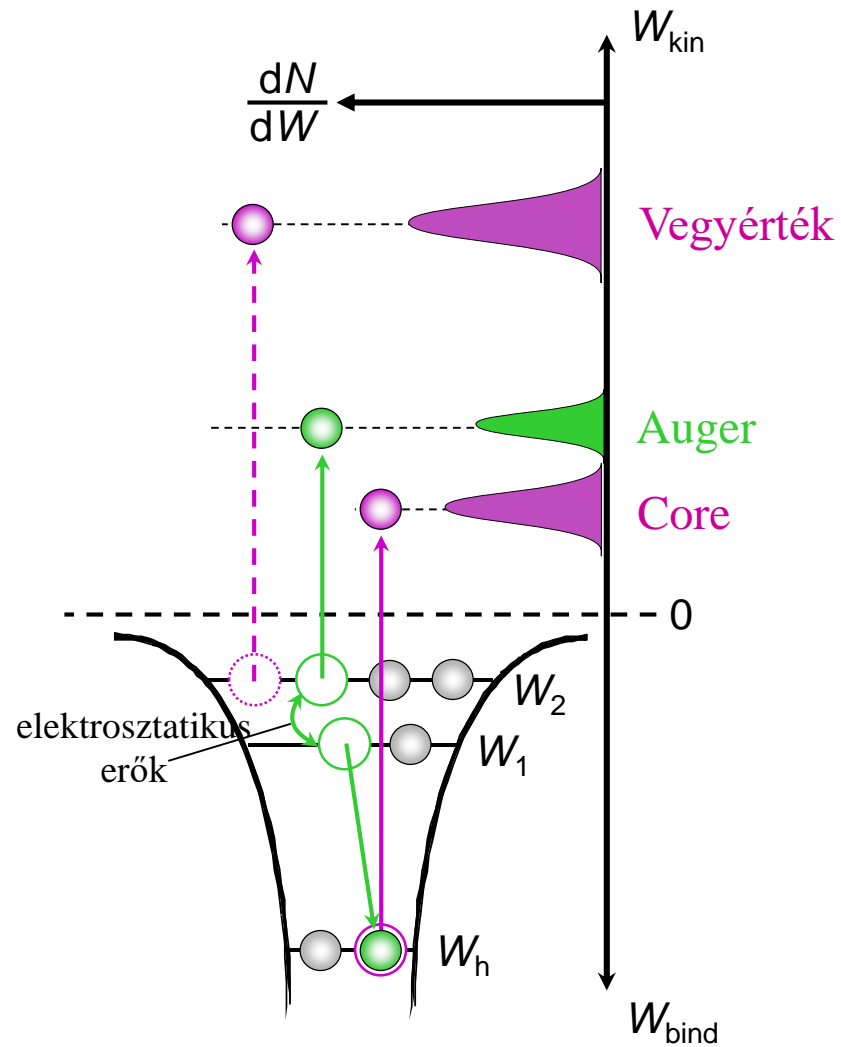
Itt nem csak az állapítható meg, hogy $\tau_x \ll T_0/2$, hanem az **IR lézerimpulzus terének mérése is lehetséges** (az első „láthatóvá tett” lézerimpulzus) (Goulielmakis et al., Science 2004)

Az első láthatóvá tett fényhullám

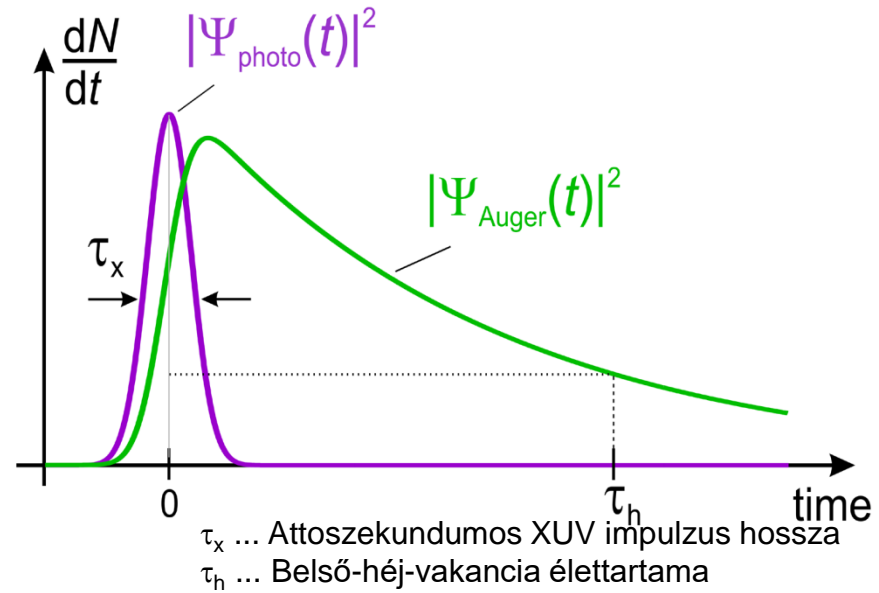


Goulielmakis et al., Science 305, 1267 (2004)

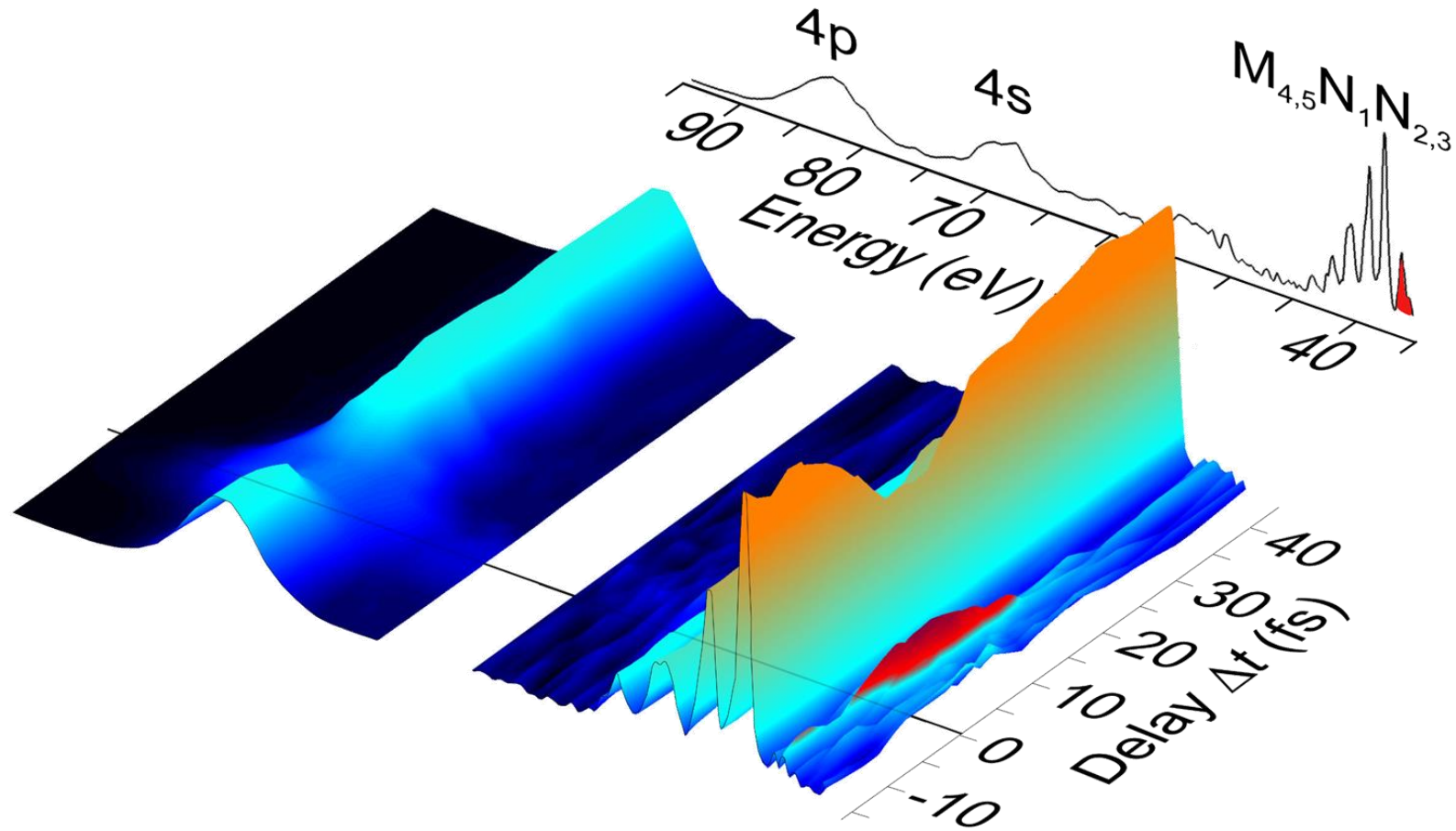
És mégis mire jó ez az egész?



Fotoemisszió és másodlagos elektronemisszió (Auger) időbeli lefutása:



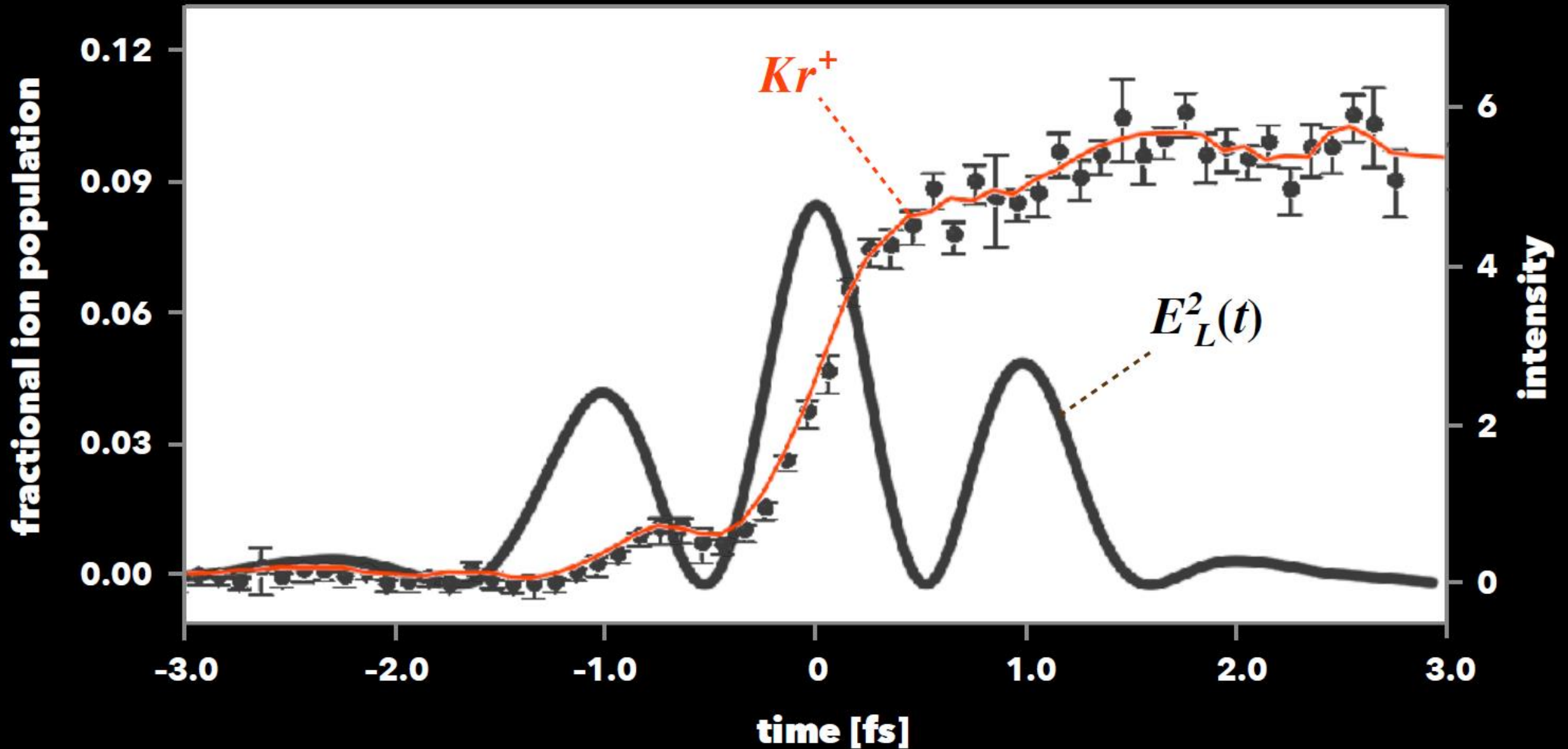
Atto méréstechnikai példa: Auger-elektronok élettartama



τ_h ... Auger vakancia élettartama: 7.9 (+1.0 / -0.9 fs)

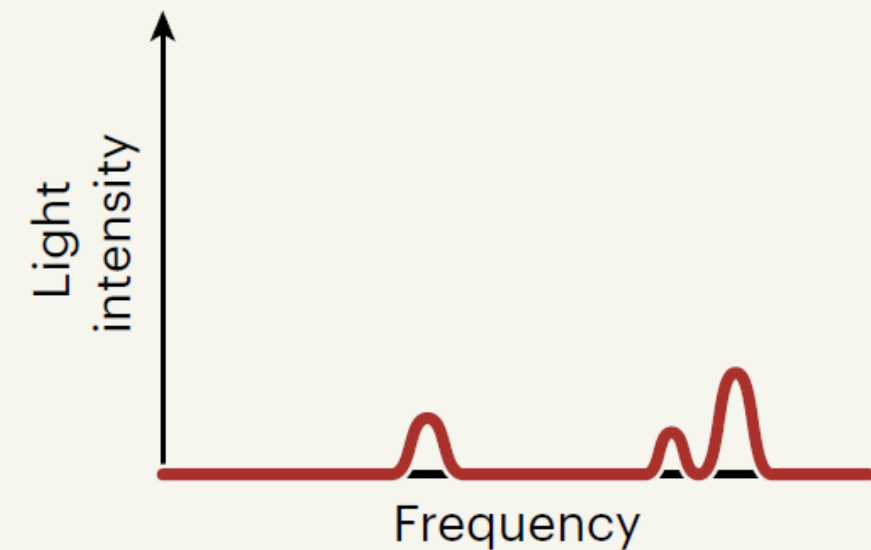
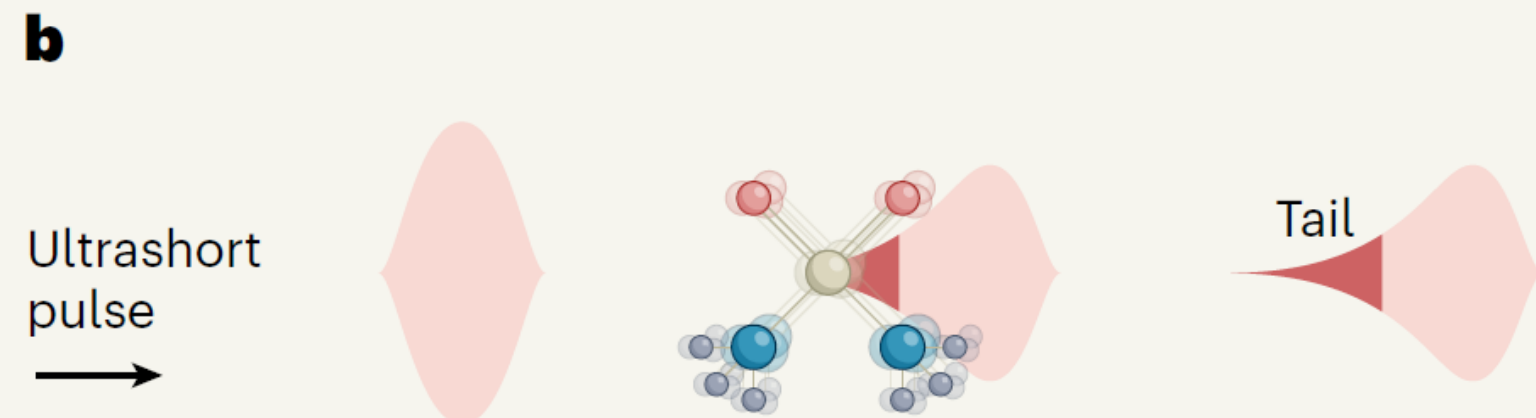
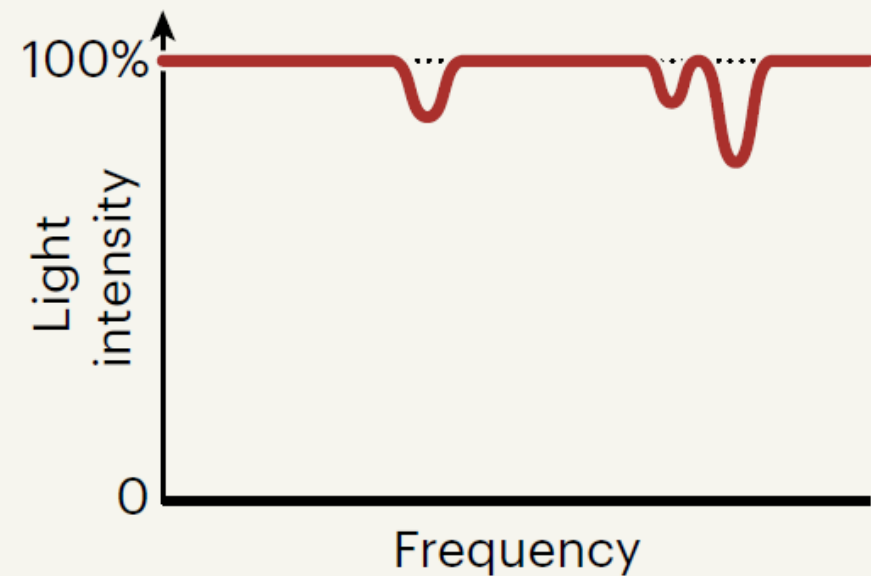
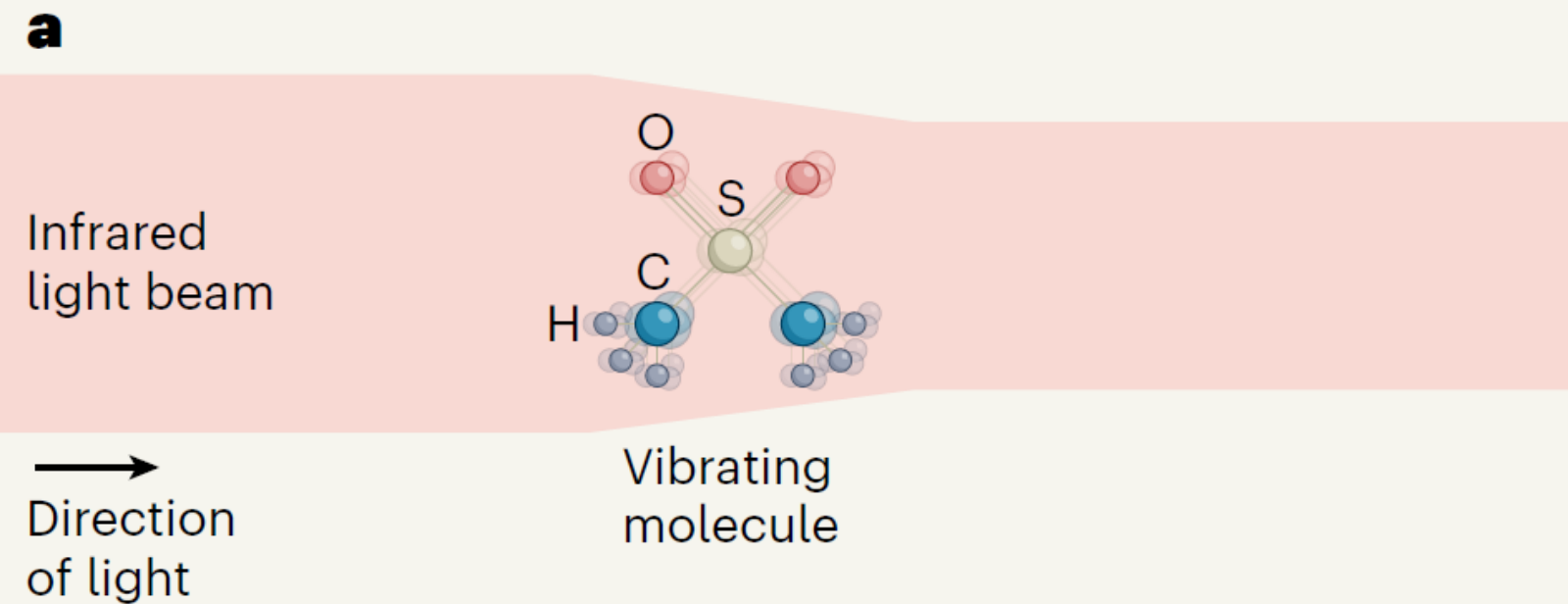
M. Drescher *et al.*, Nature **419**, 803 (2002)

Hogyan ionizál a lézerfény egy atomot?

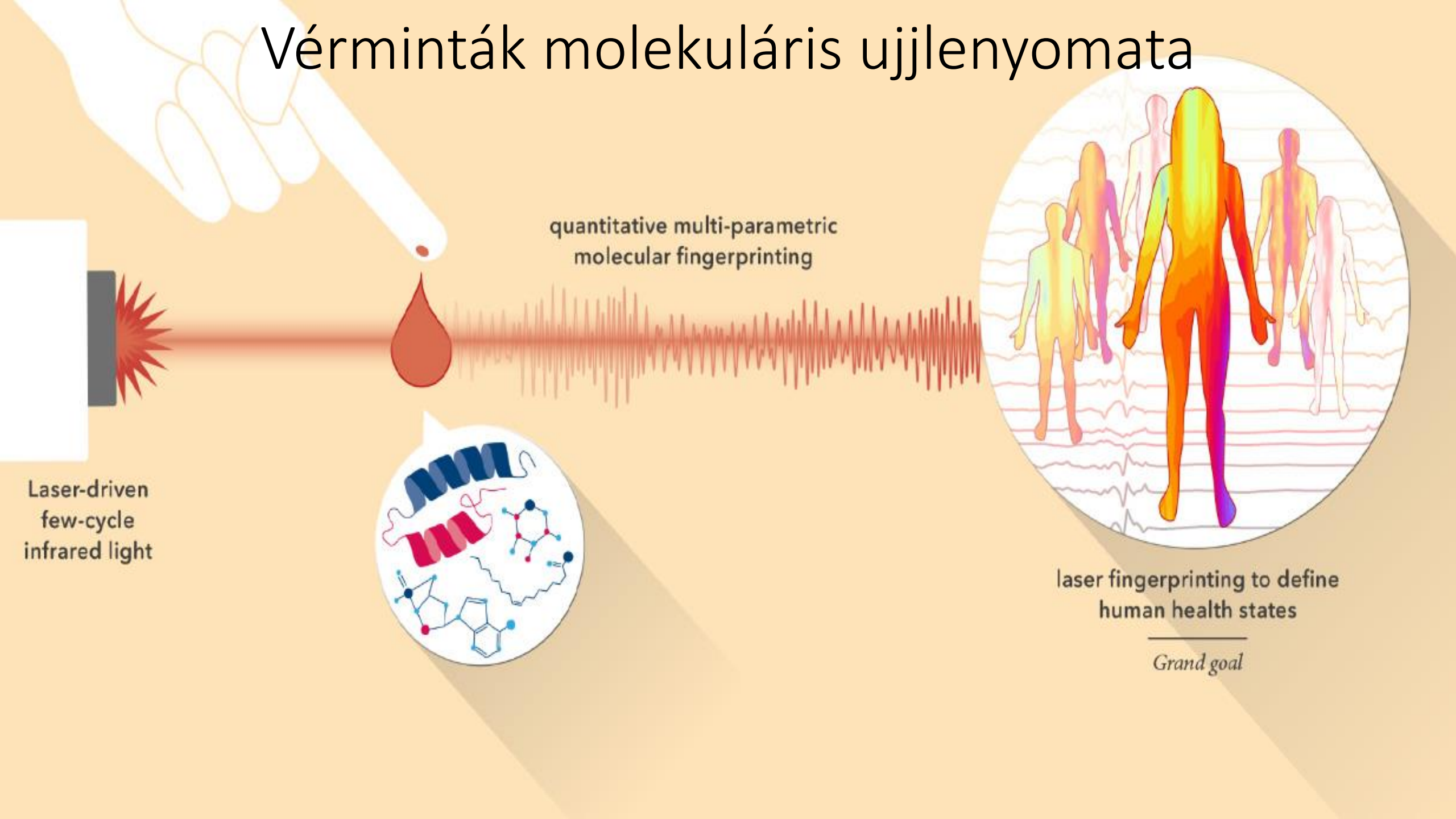




Színképelemzés reloading



Vérminták molekuláris ujjlenyomata



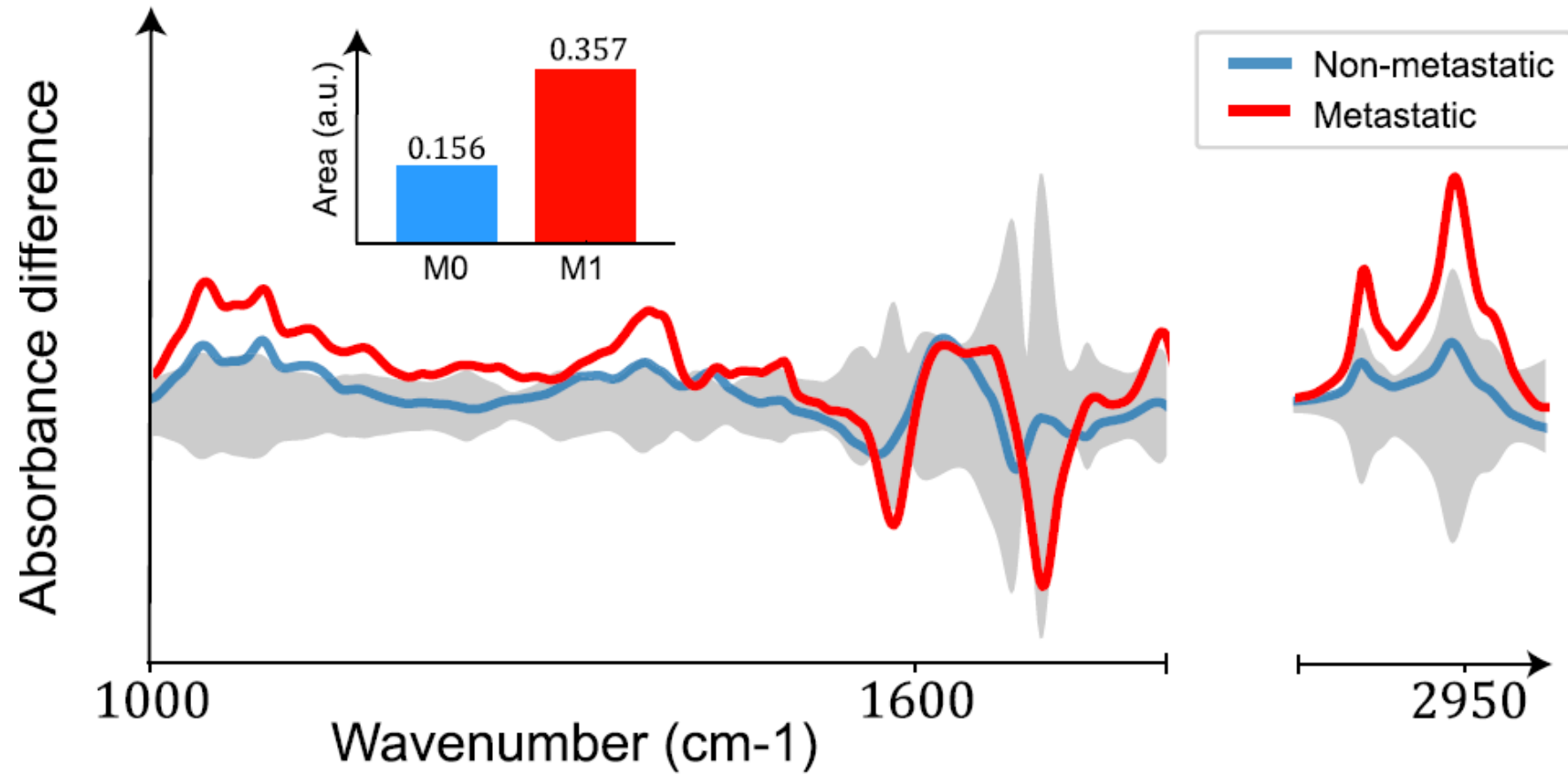
Laser-driven
few-cycle
infrared light

quantitative multi-parametric
molecular fingerprinting

laser fingerprinting to define
human health states

Grand goal

Fingerprinting a rákbetegség diagnosztikájához



Kepesidis et al., BMC Cancer 2021

Köszönöm a figyelmet!

**Laborlátogatás
a Wignerben: dombi.peter@wigner.hu**



Köszönettel a kutatócsoport tagjainak:

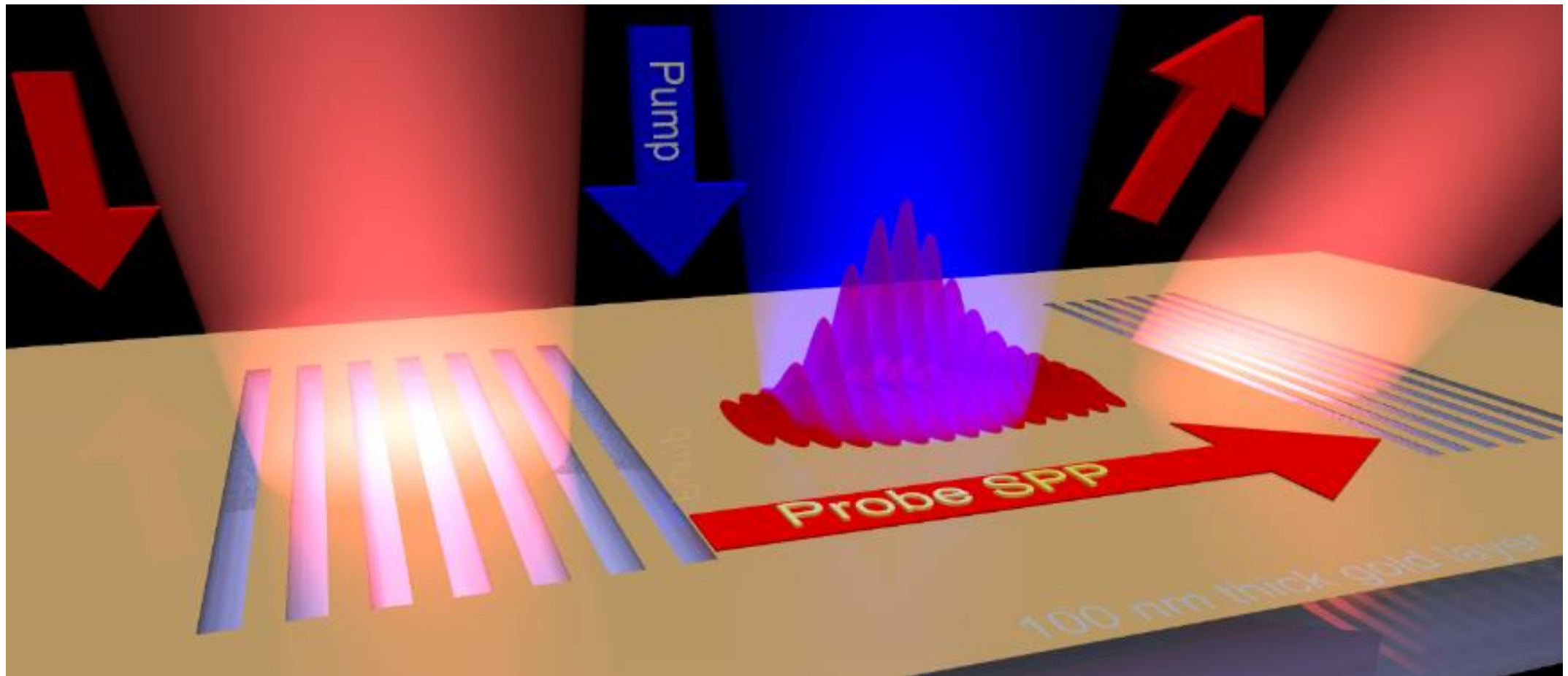
**Václav Hanus, Rácz Péter,
Vereb Katalin, Fehér Beatrix,
Pápa Zsuzsanna, Sándor Péter
Kiss Gellért Zsolt,
Lovász Béla, Inger Ádám
Bánhegyi Balázs, Ligeti Gábor**

dombi.peter@wigner.hu

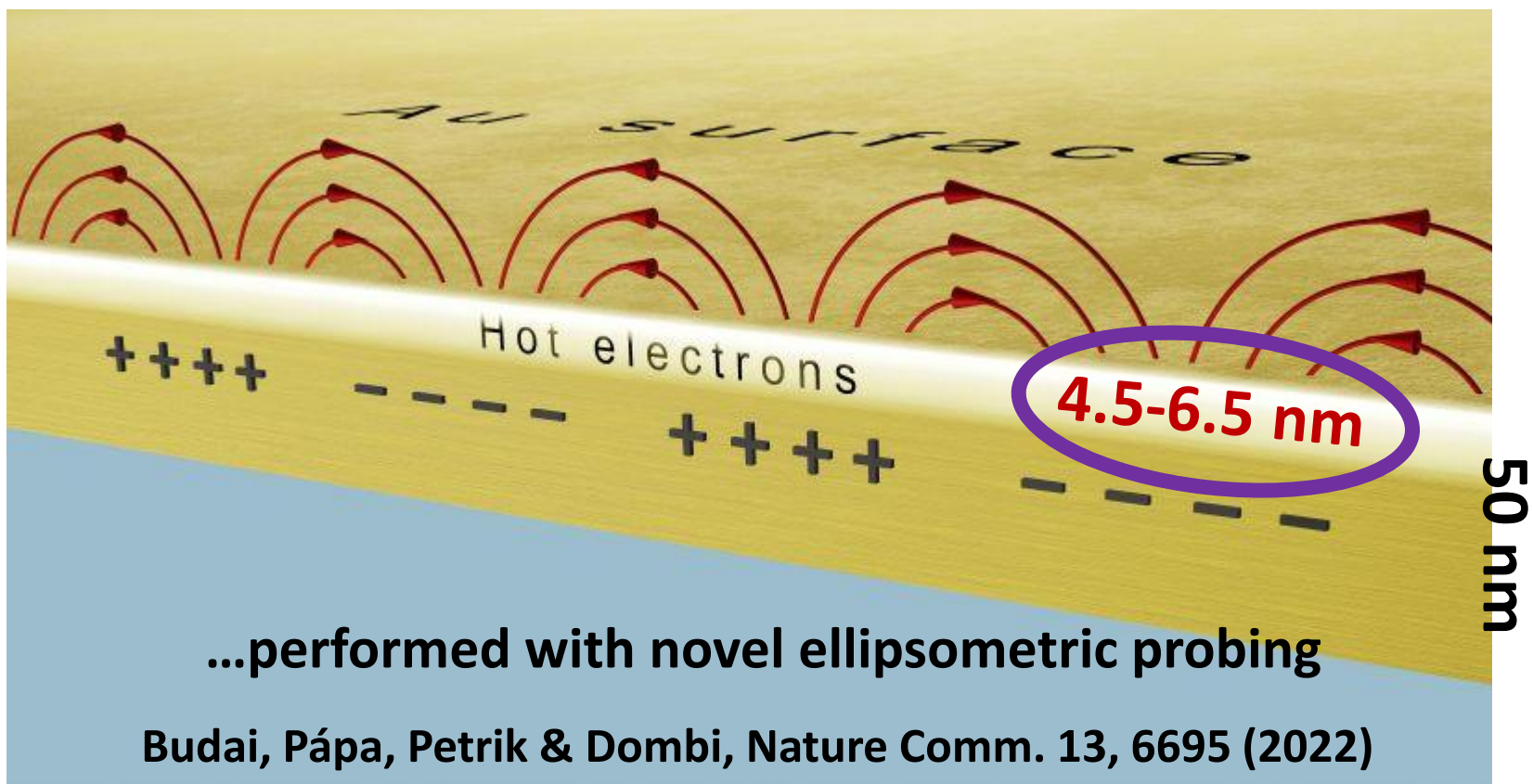
**TDK/BSc/MSc/PhD
lehetőségek @Wigner**



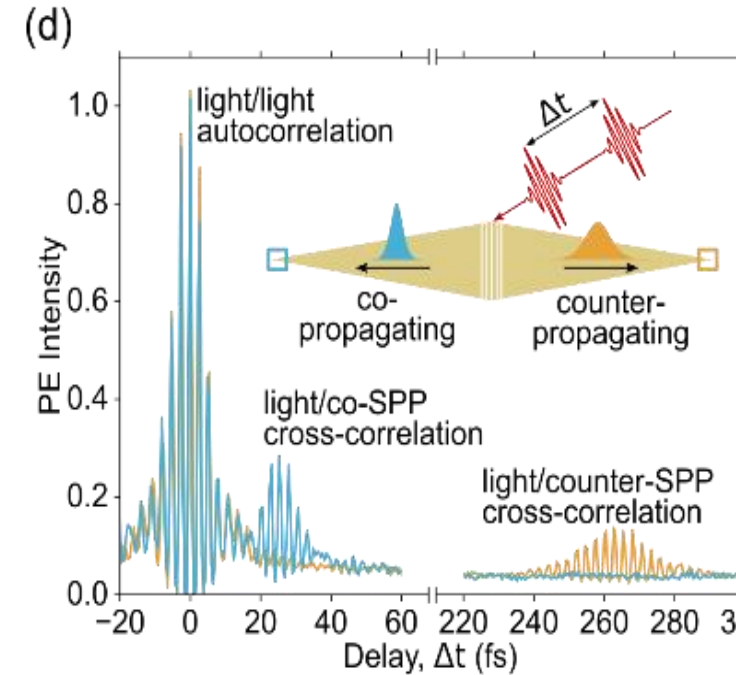
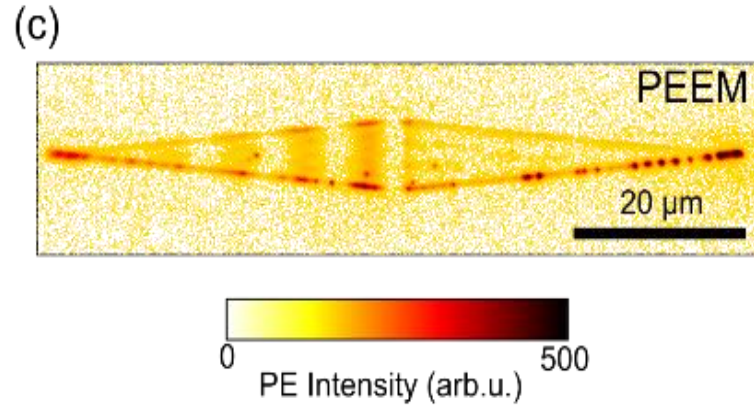
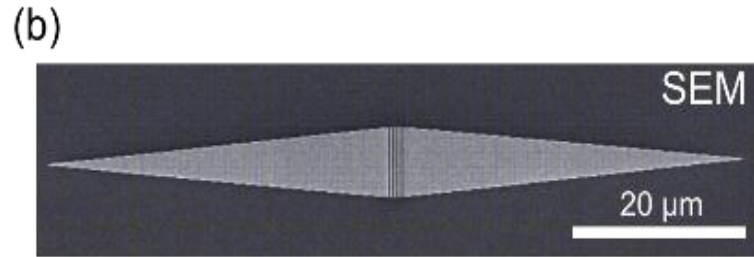
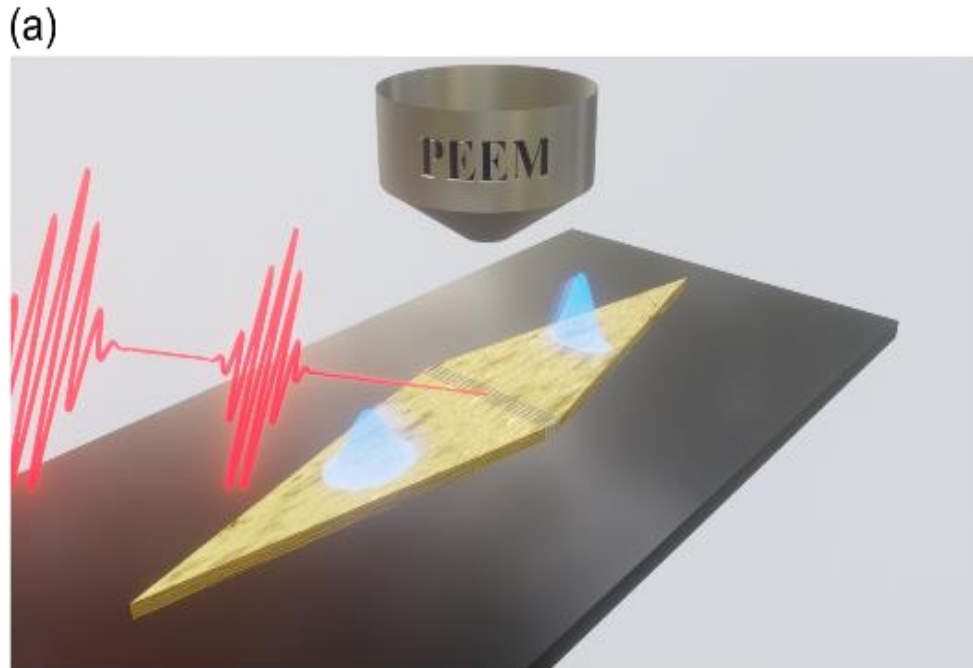
Ultragyors gerjesztések vizsgálata fémekben



Conclusion

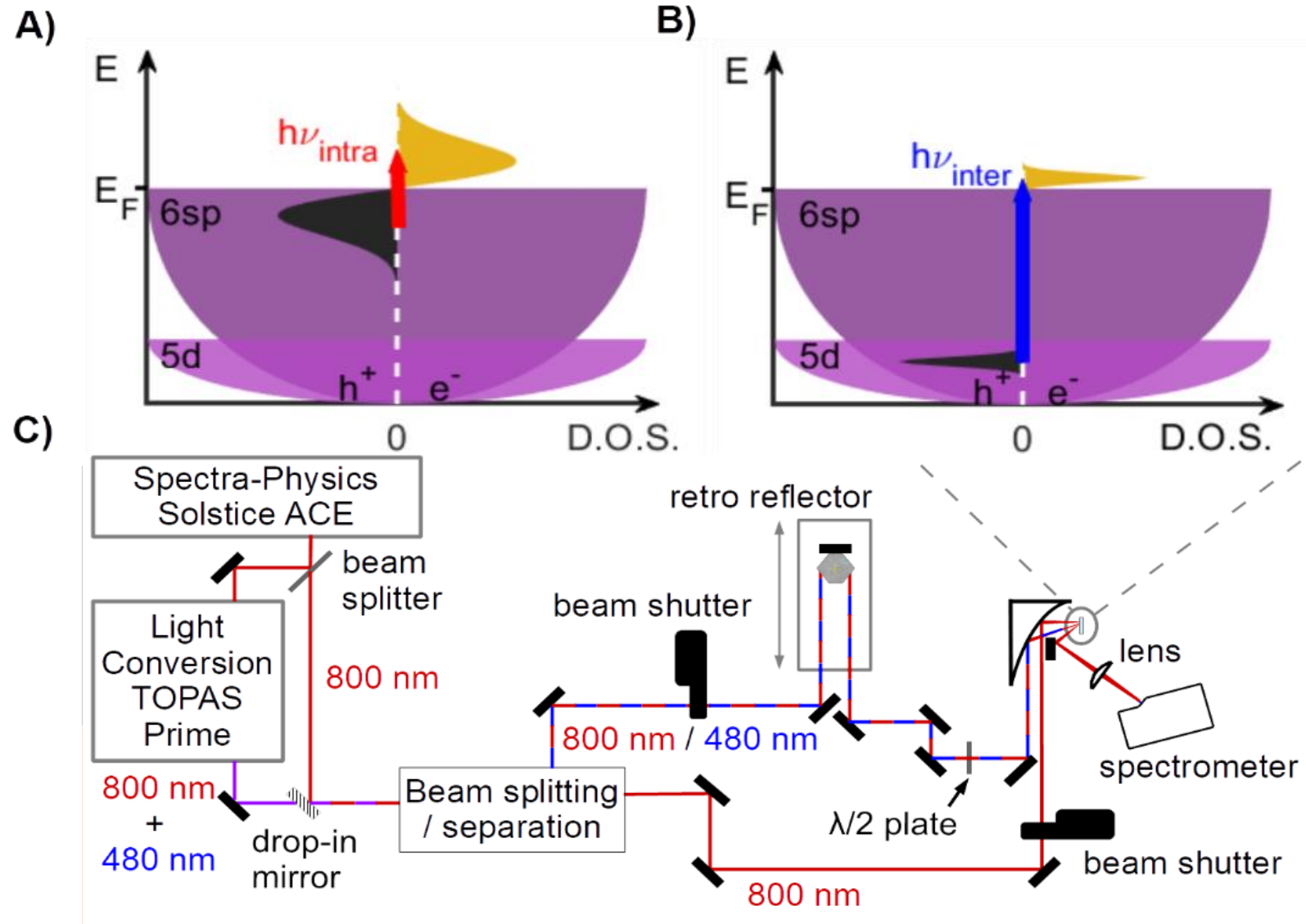


Collaboration with TU Graz (Martin Schultze): ultrahigh resolution plasmon nanoscopy



Forró elektronok időbontott mérése

- Arany ultragyors sávon belüli (800 nm) és sáv-sáv (480 nm) gerjesztései



Új pumpa-próba módszer fejlesztése:
plazmon hullámcsomag szondázza a
nemtermikus elektronokat

2-komponensű lecsengést észleltünk minden esetben

