

Az időmérés felbontásának

**tíz milliárdszoros** növekedése

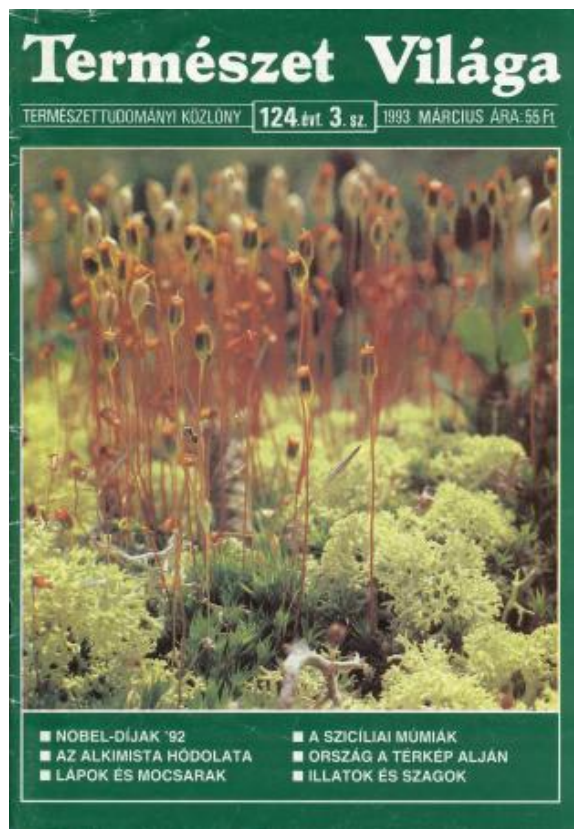
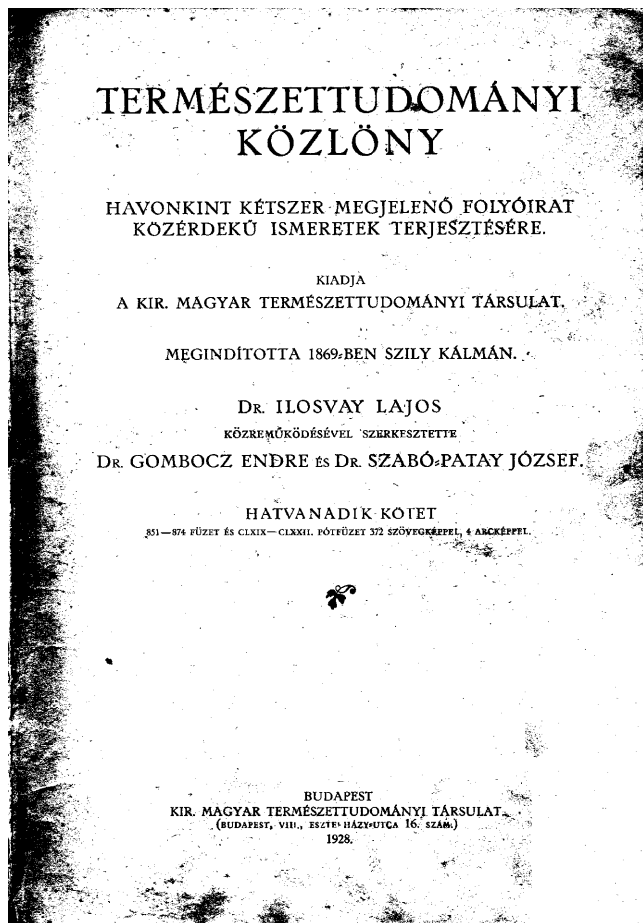
(mindössze) 36 év alatt

Keszei Ernő

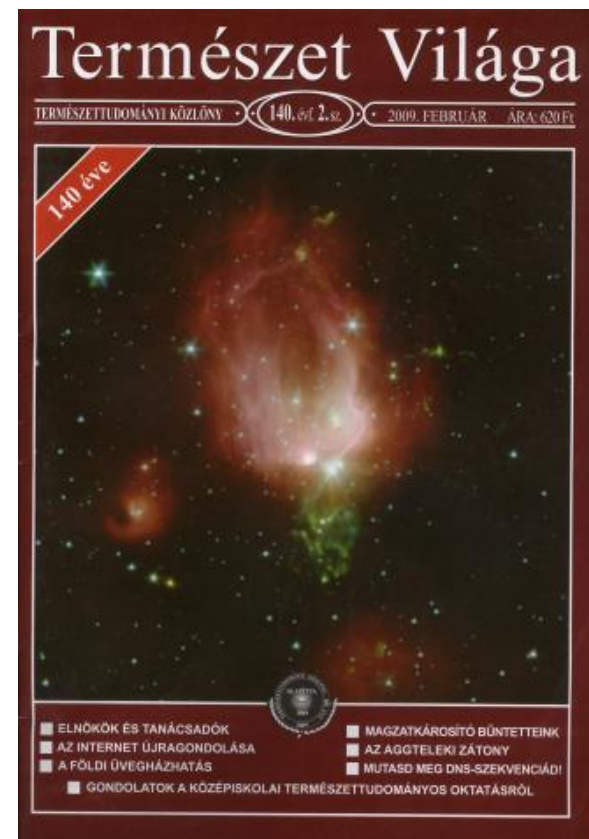
*ELTE TTK Kémiai Intézet Fizikai  
Kémiai Tanszék*

<http://keszei.chem.elte.hu>

11 éves koromban kaptam  
ajándékba az 1928-as  
bekötött évfolyamot



Első cikkem  
a Természet Világában  
az 1993-as évfolyam  
márciusi számában  
jelent meg



Eddigi utolsó cikkem  
a 140. évfolyam  
februári számában  
jelent meg

Témaválasztásom is  
a Természet Világa  
időbeli alakulásához  
illeszkedik ...

# etológia = viselkedéstudomány

## Néprajz:

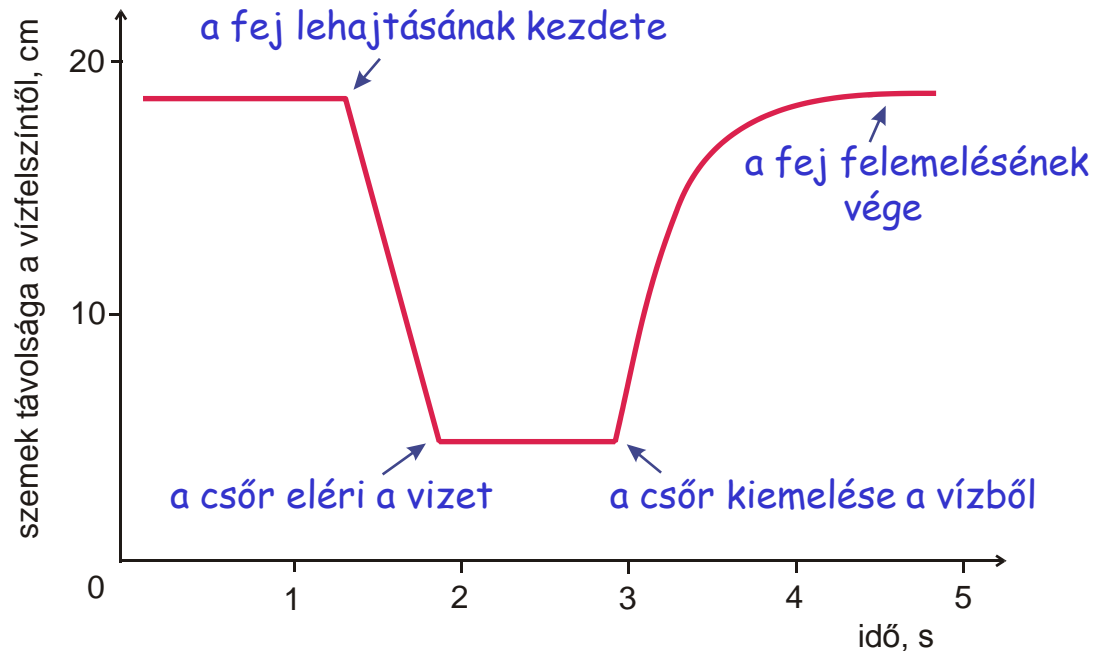
csoportok, közösségek  
szokásainak vizsgálata

## Állattan:

állatok viselkedésének  
vizsgálata egyedül,  
illetve közösségben

(négy lábú) állatok mozgása

(Erről beszél majd Horváth Gábor)



Hogyan iszik a tyúk?

Csányi Vilmos Etológia c. könyvéből  
(Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2002)

# gyors állatok etológiája

„lassított felvétel”



idő, ms

Eadweard Muybridge, 1878 — a ló indítja a felvételt

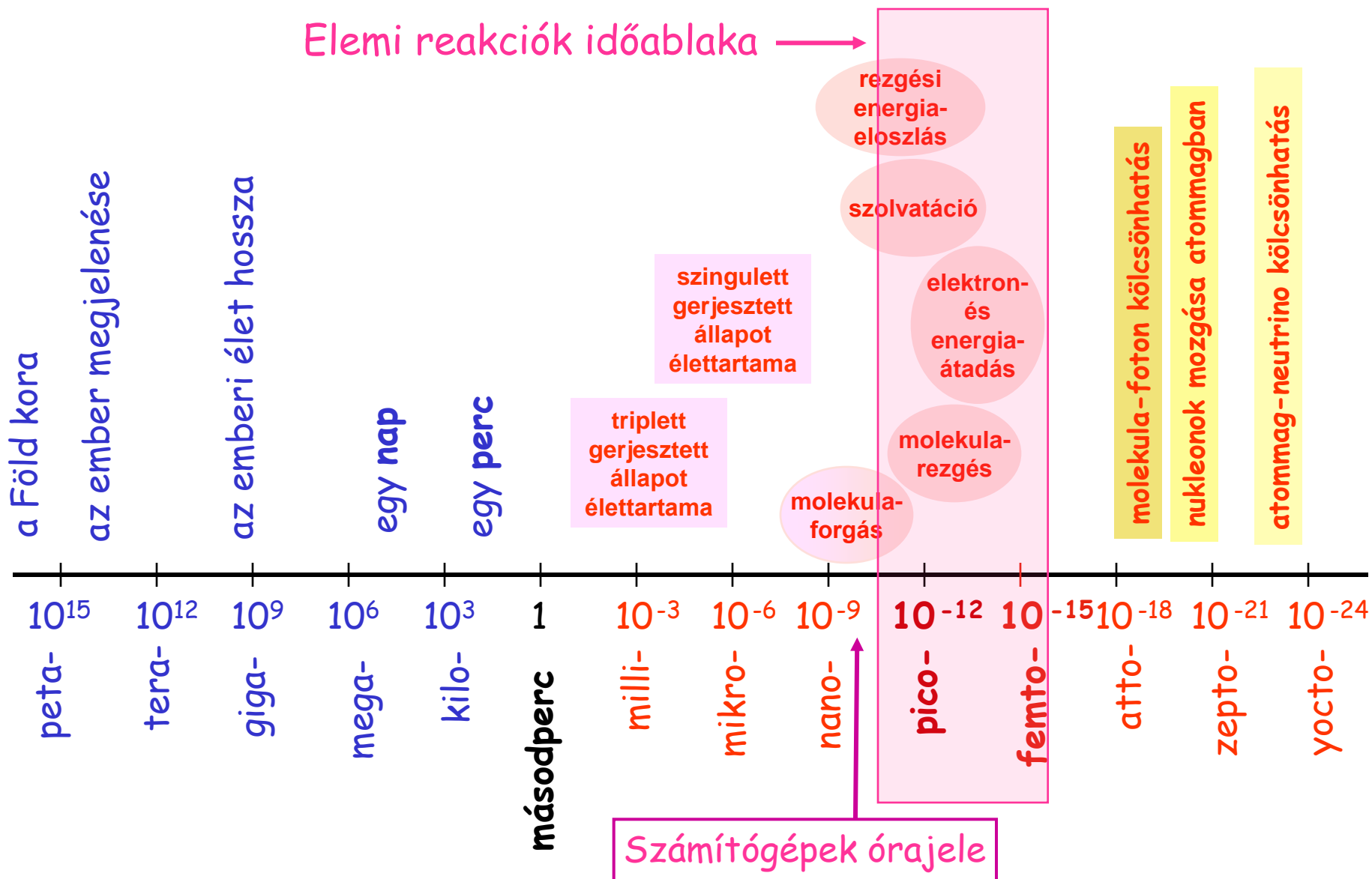
(Leland Stanford lótenyésztő 25 000 \$ fogadása)

Fehér pálya, 1/1000s zársebesség, igen érzékeny film

Stanford megnyerte a fogadást

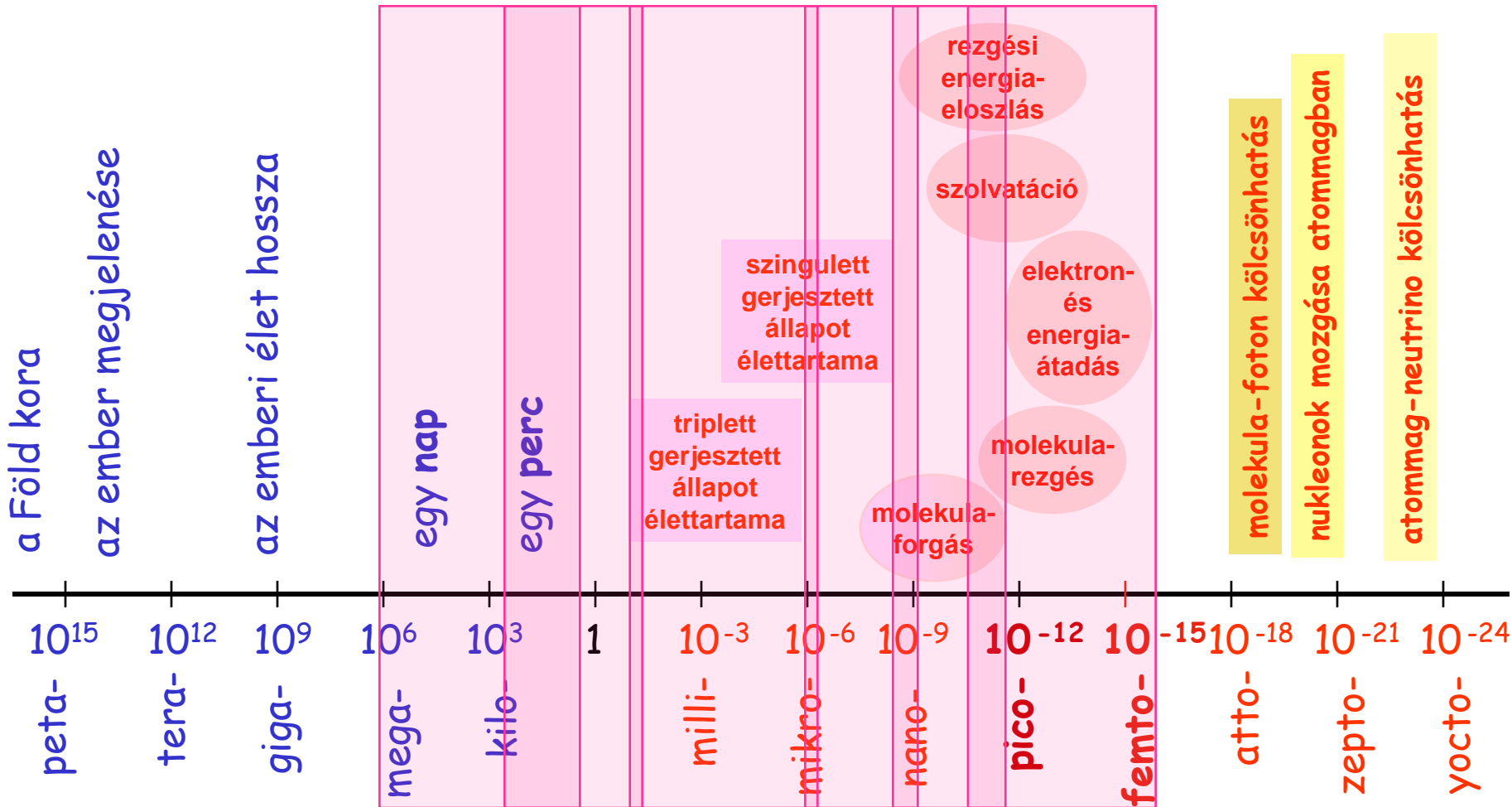
(A részletekről majd Horváth Gábor előadásában hallhatnak.)

# molekuláris történések időskálája



# kémiai történések mérési tartománya

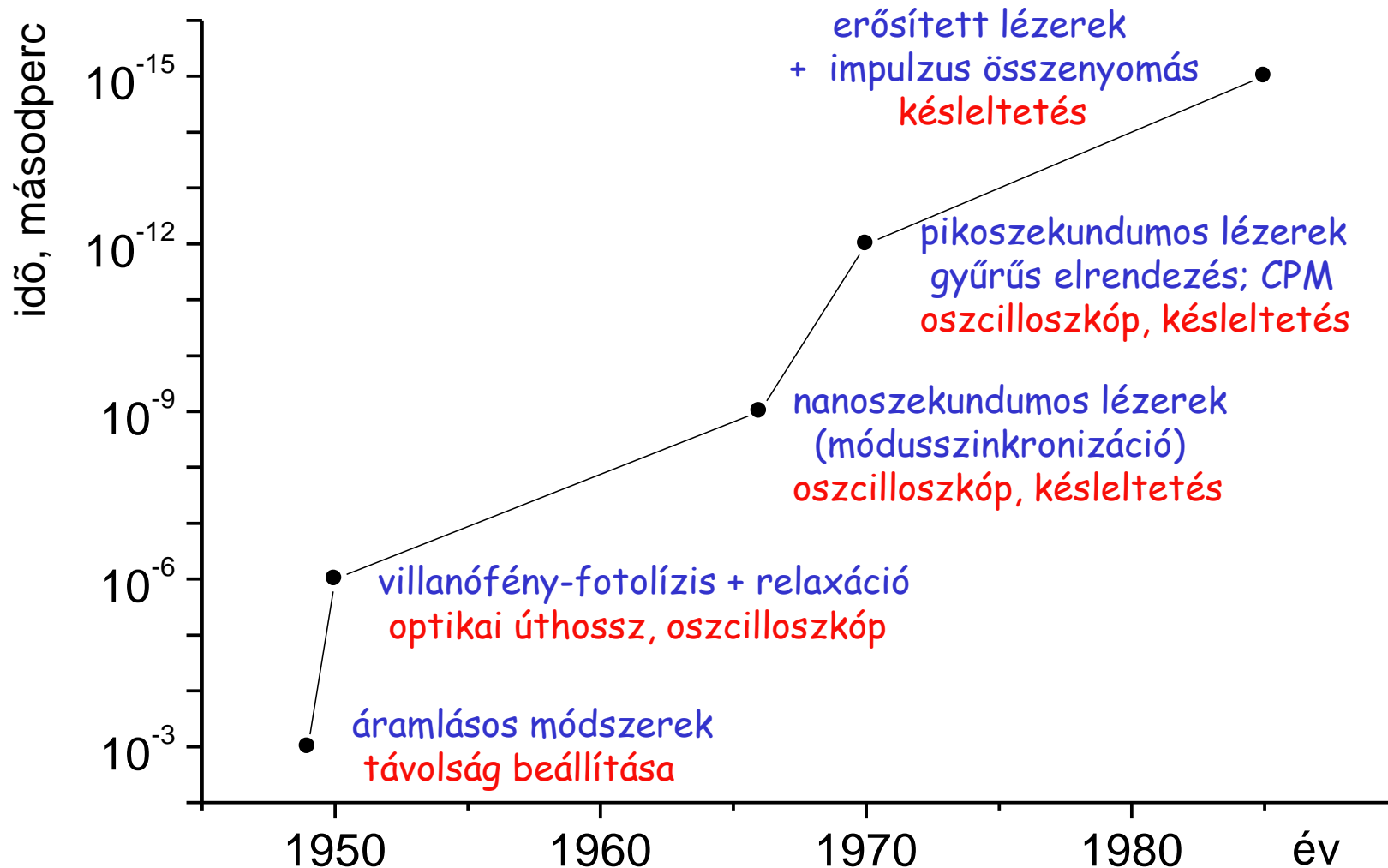
1850-1900-1949-1967-1972-1985-



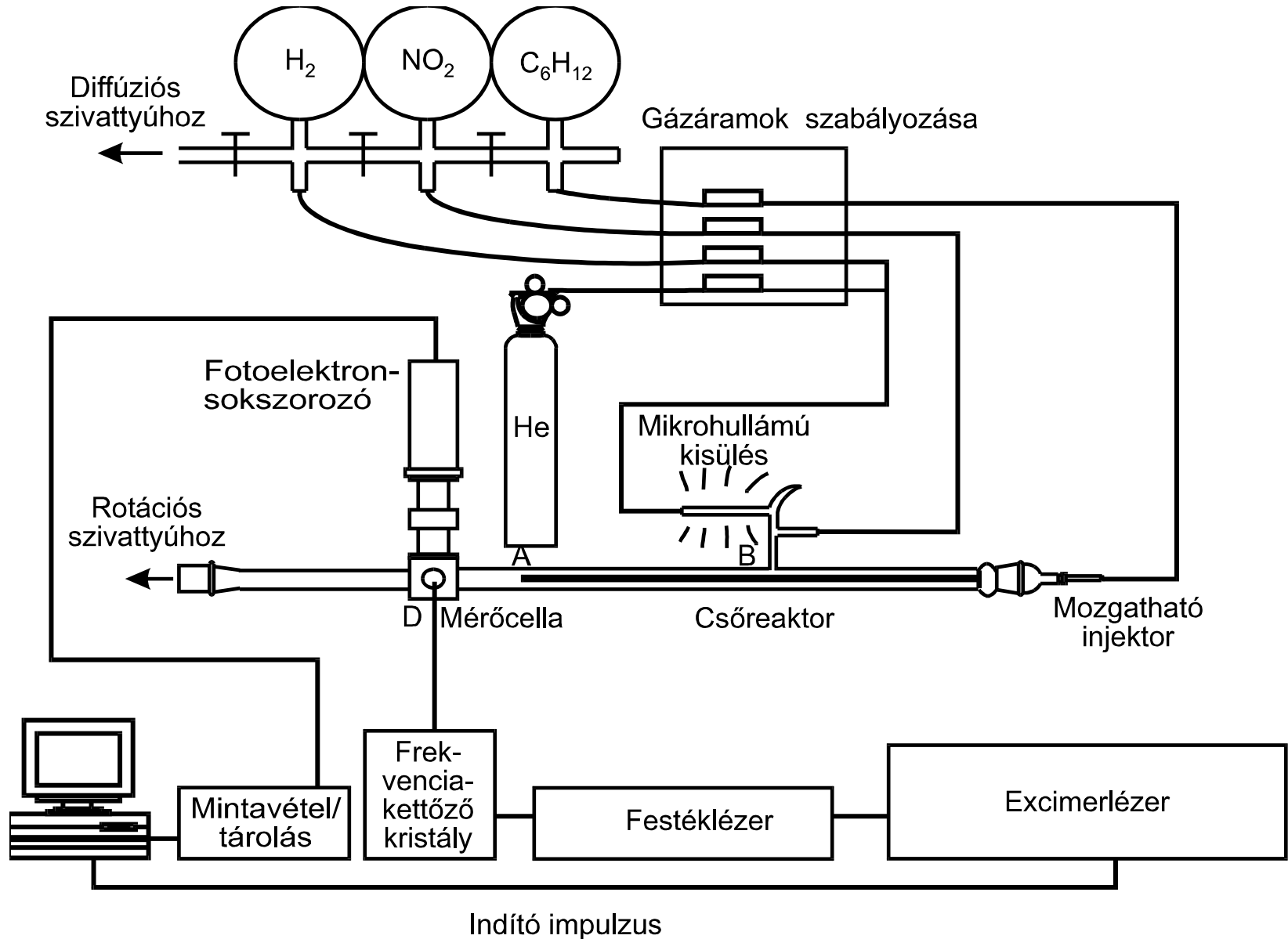
keverés utáni távolság stoppeállítás  
 csatlakozás villanófényszer módosított lézerek  
 fotólízis fotólízis szinkronizáció  
 optikai útvonalvezetés  
 szerszámok készítése

# az időfelbontás növekedése

36 év alatt  $10^{10}$ -szeres növekedés!!

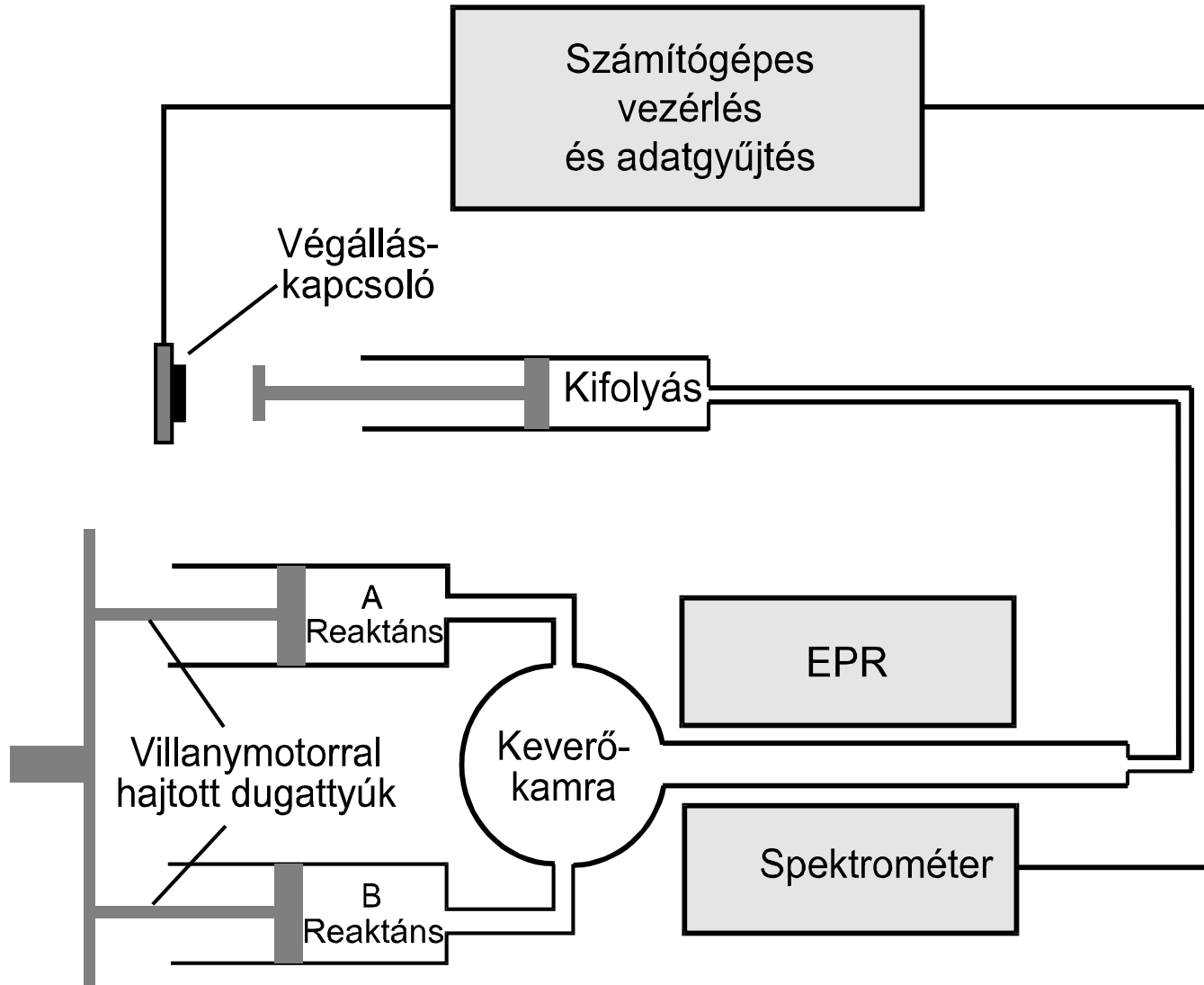


# Gyorsáramlásos módszer (1949-ig; $10^{-3}$ s)



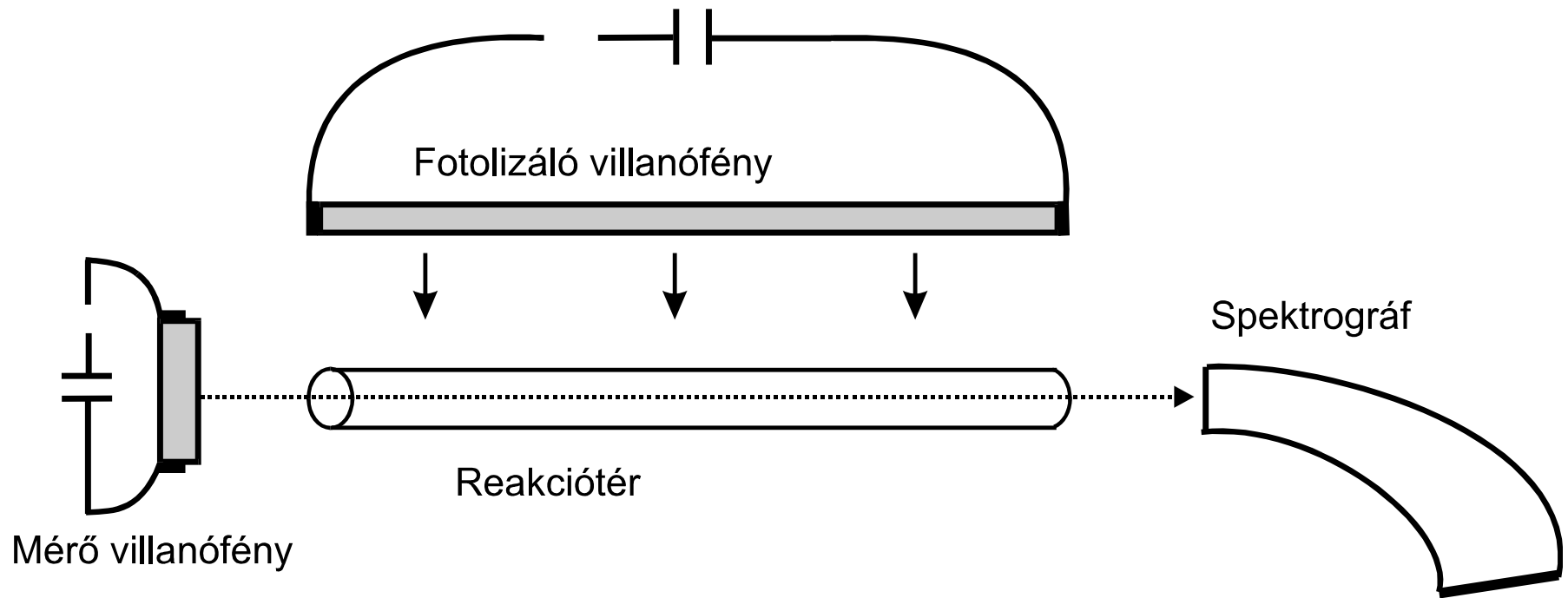


# Megállított áramlásos reaktor („Stopped flow”, 1940-től, $10^{-3}$ s)

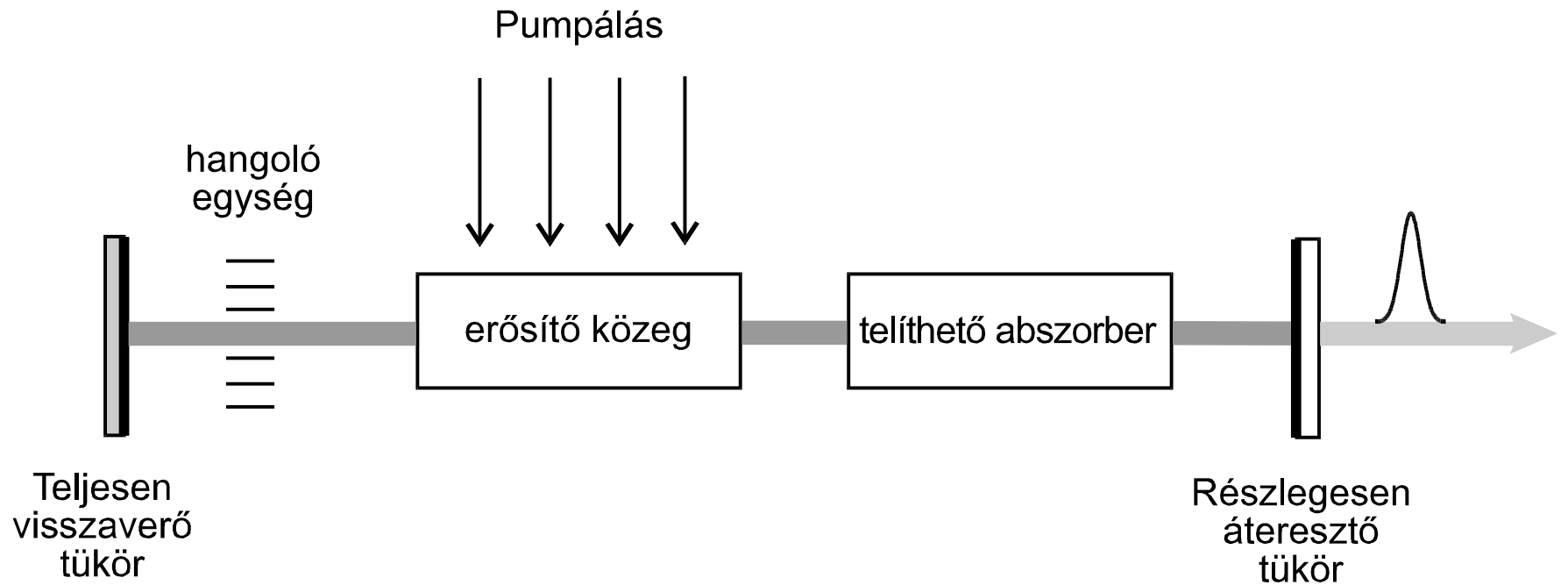


# Villanófény-fotolízis (1949-től; $10^{-5}$ s)

Nobel-díj: Norrish, Porter; 1967

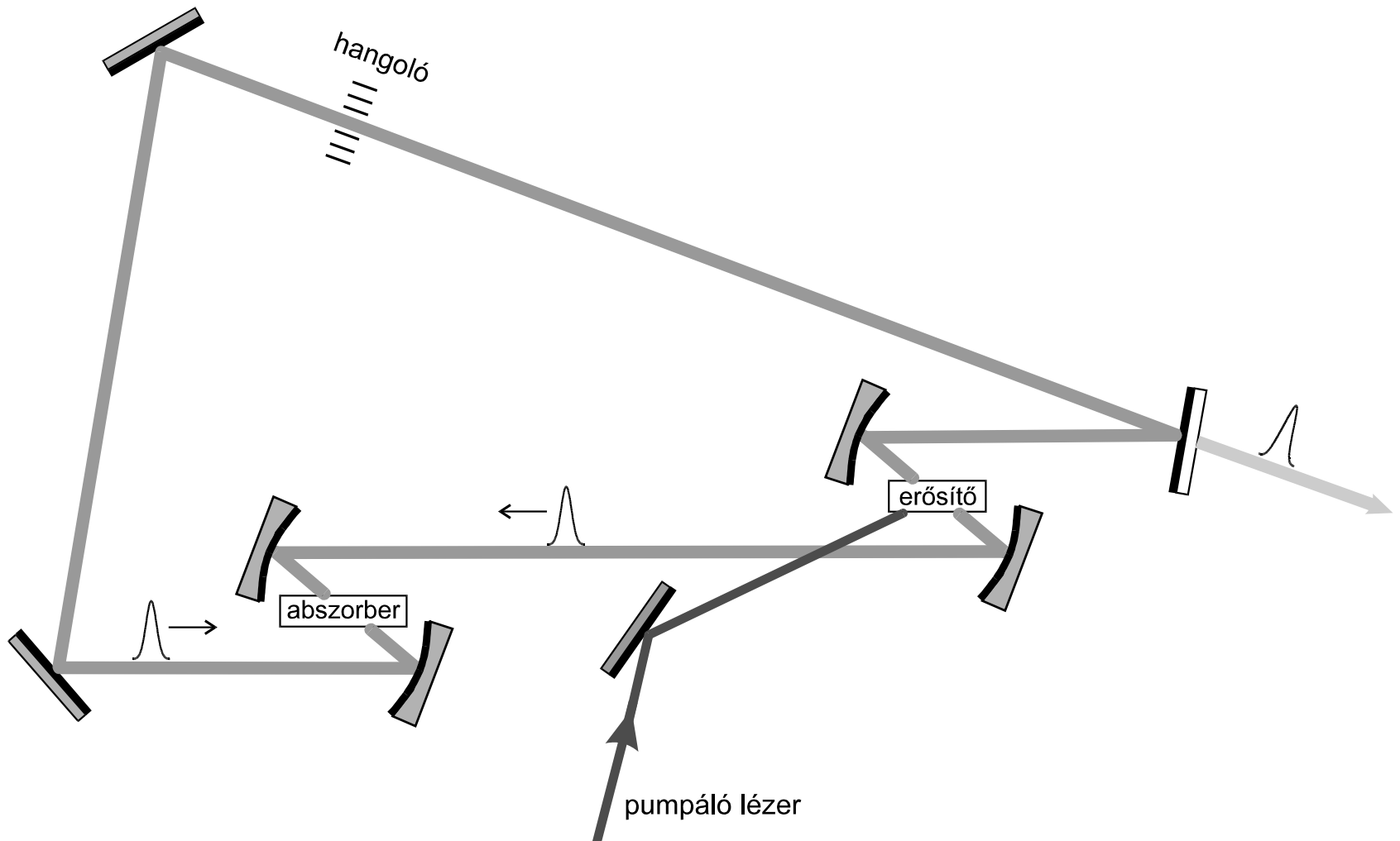


# Impulzuszlézerek (1960-tól; $10^{-9}$ s)

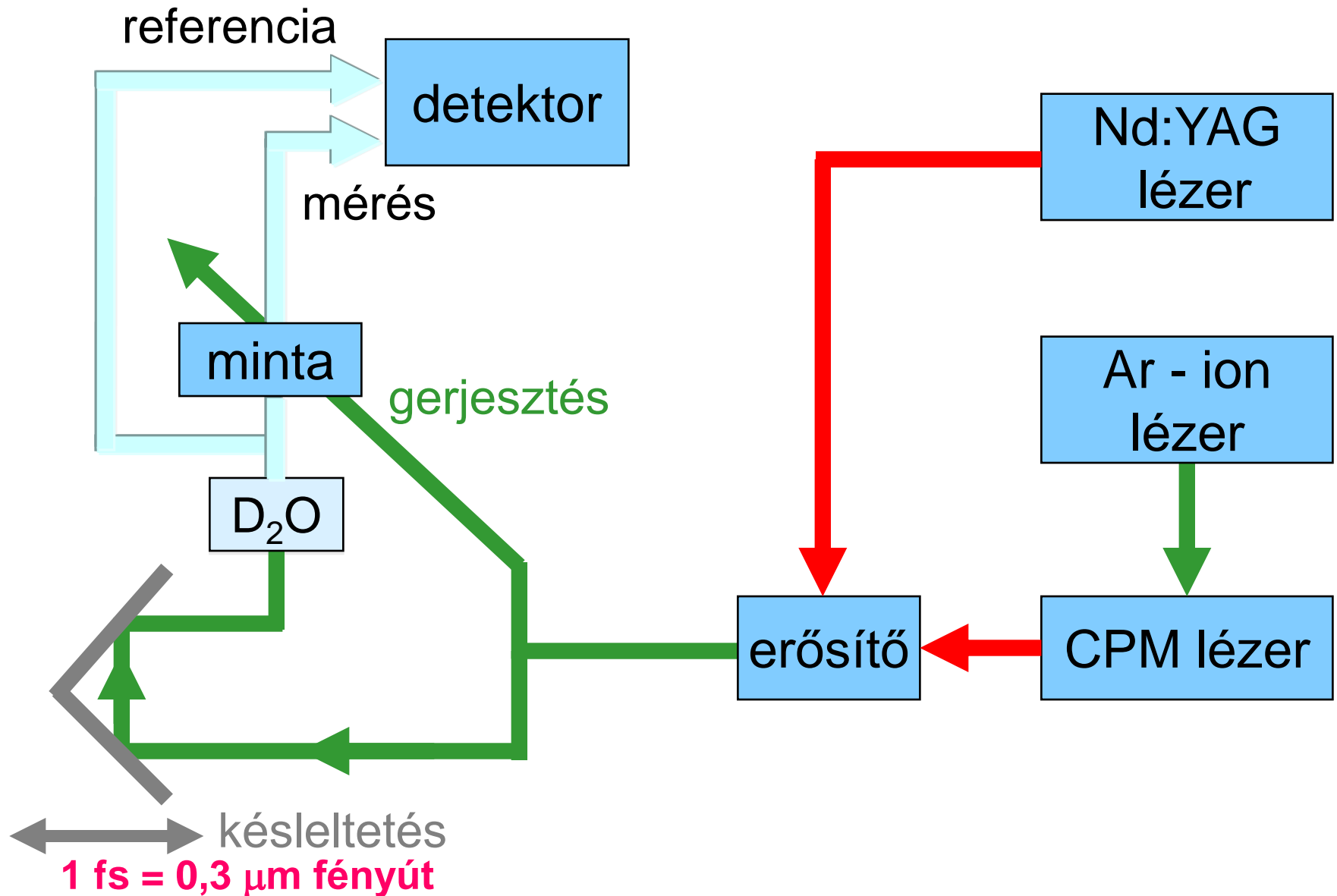


# Gyűrűs elrendezésű módusszinkronizált lézerek

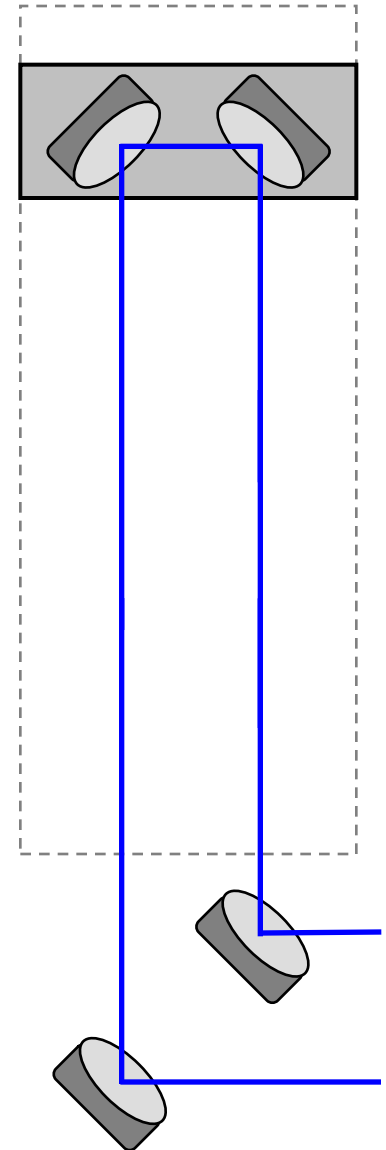
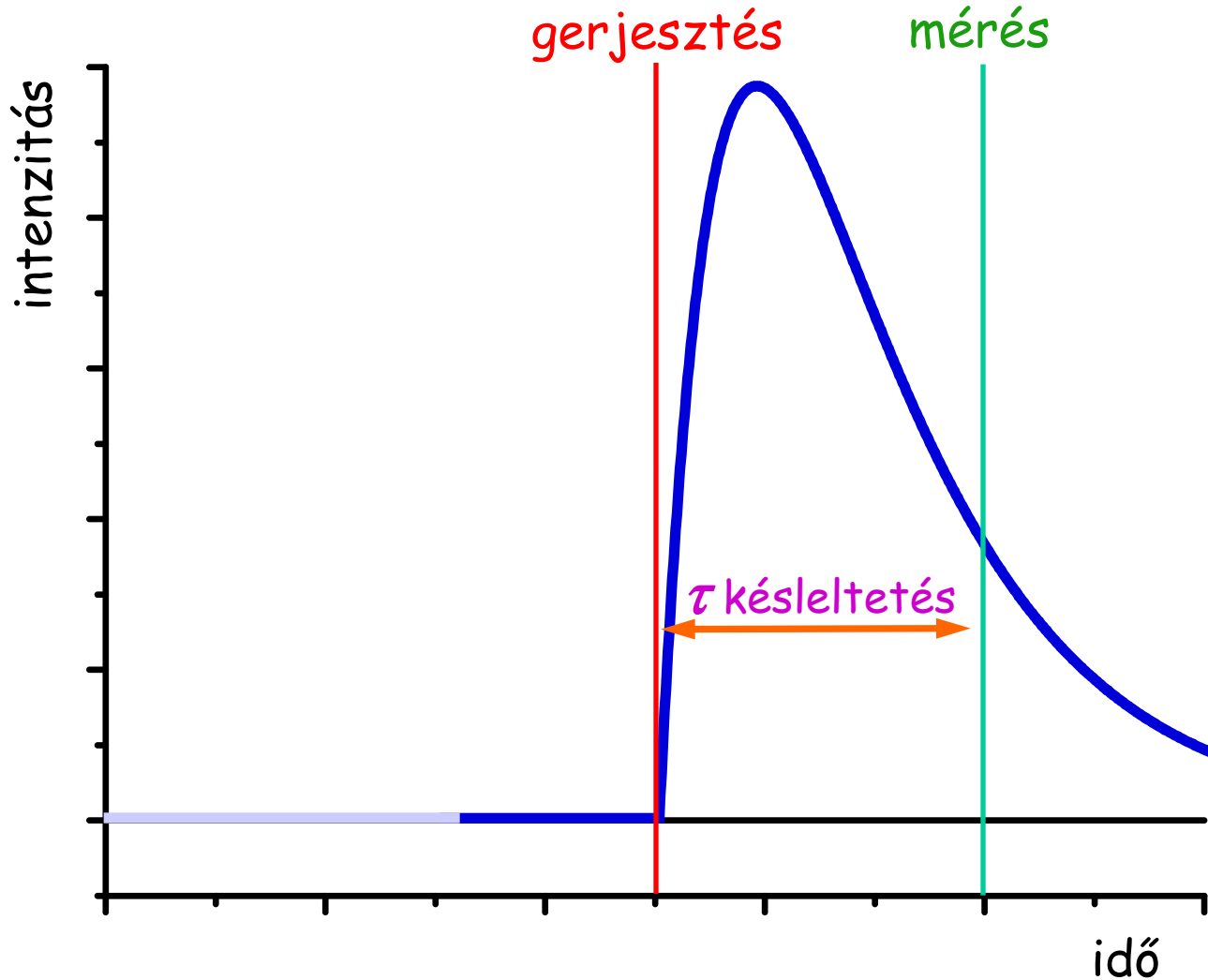
CPM ring laser (**C**olliding **P**ulse **M**ode locked; 1974-től,  $10^{-12}$  s)



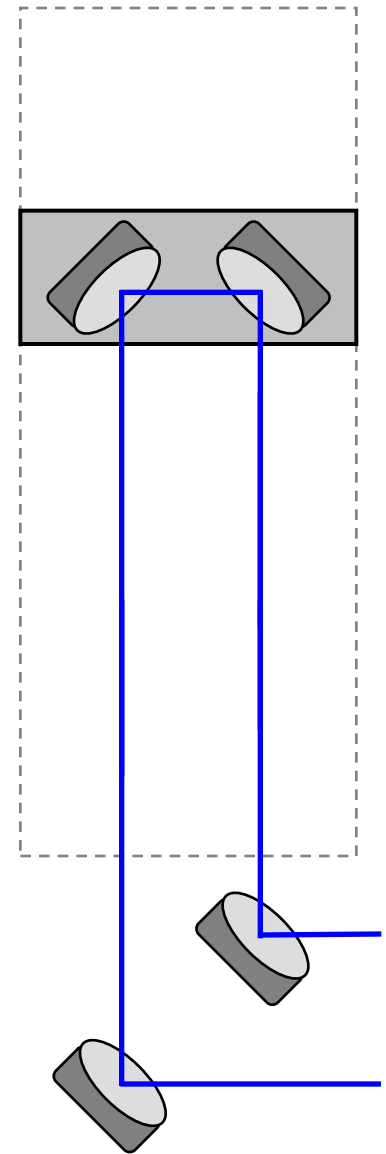
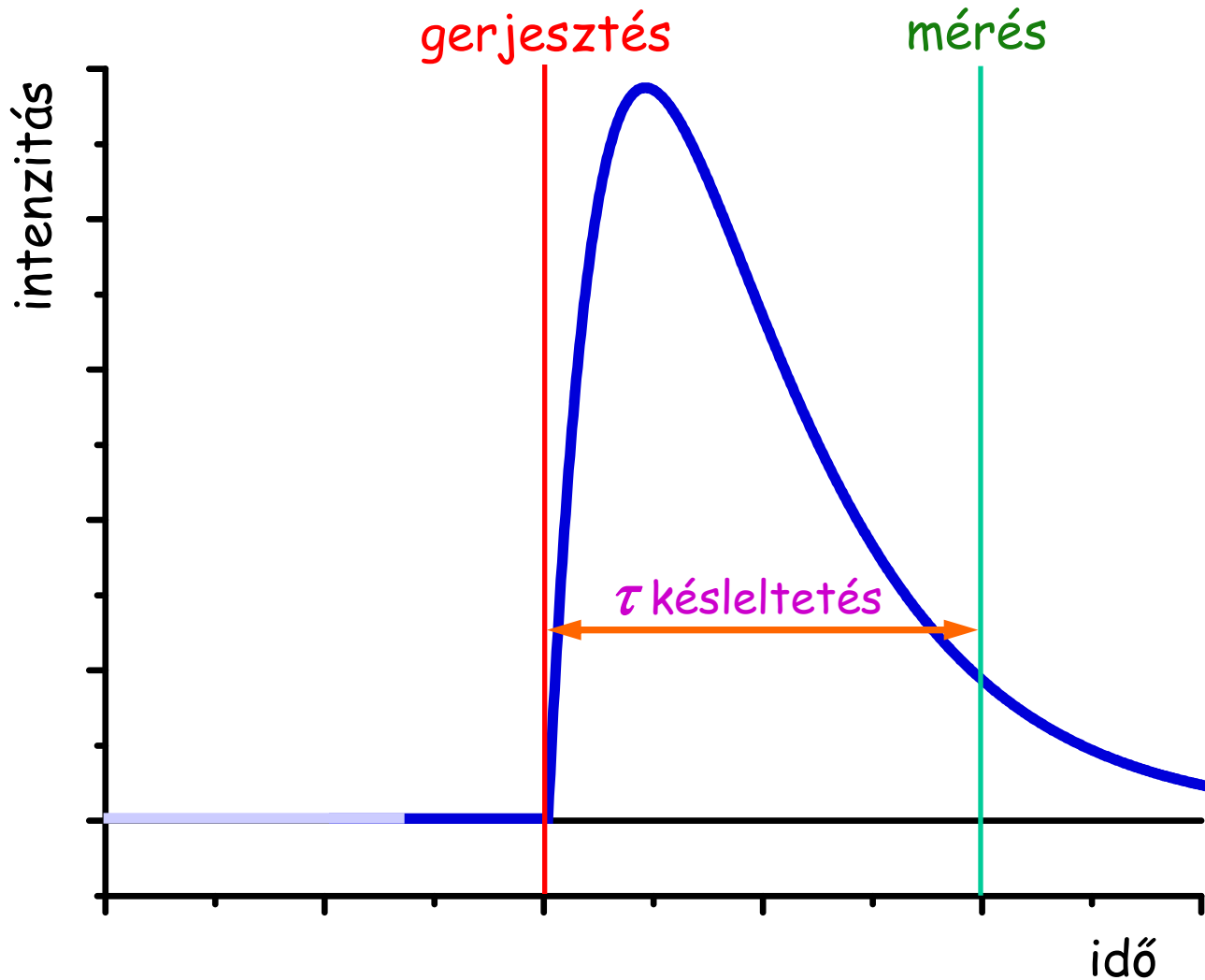
# Spektroszkópia femtoszekundum időfelbontással: a kísérleti berendezés



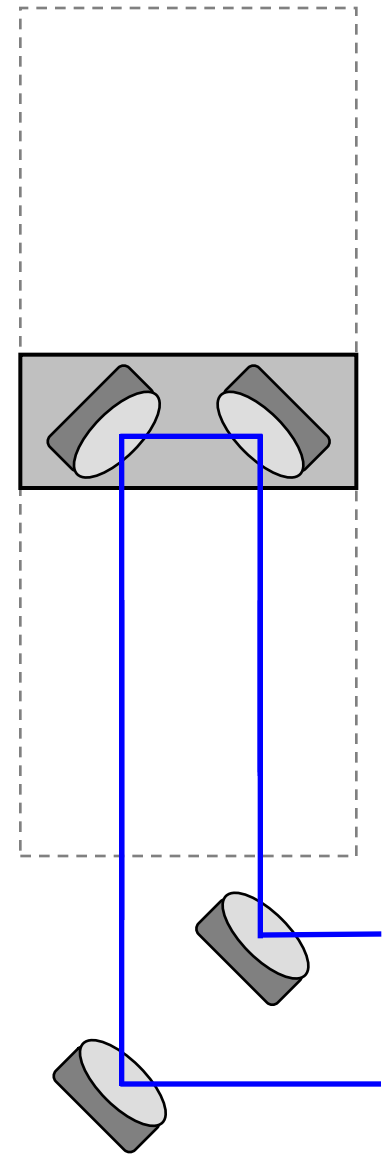
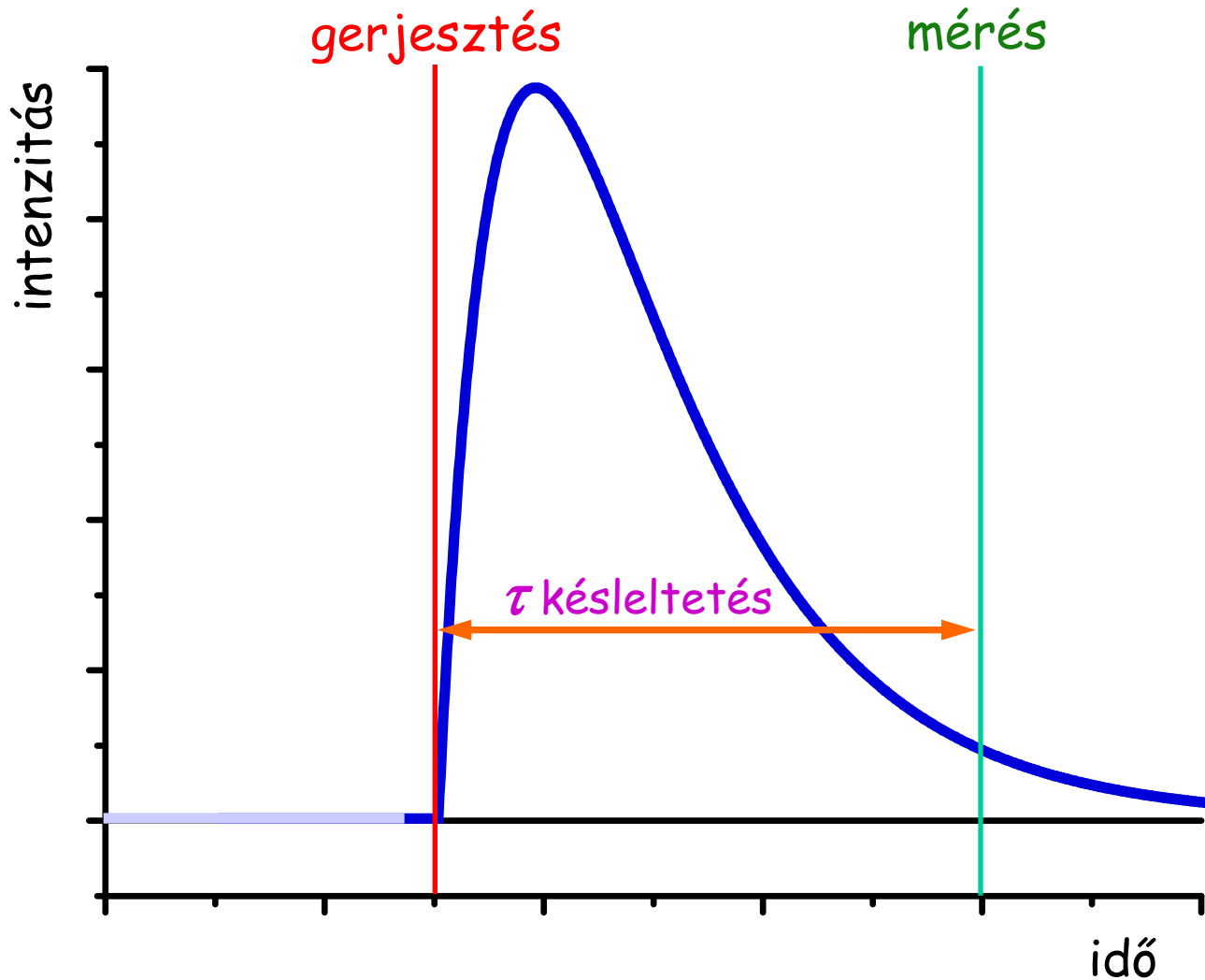
# Spektroszkópia femtoszekundum időfelbontással: az időbeli késleltetés



# Spektroszkópia femtoszekundum időfelbontással: az időbeli késleltetés

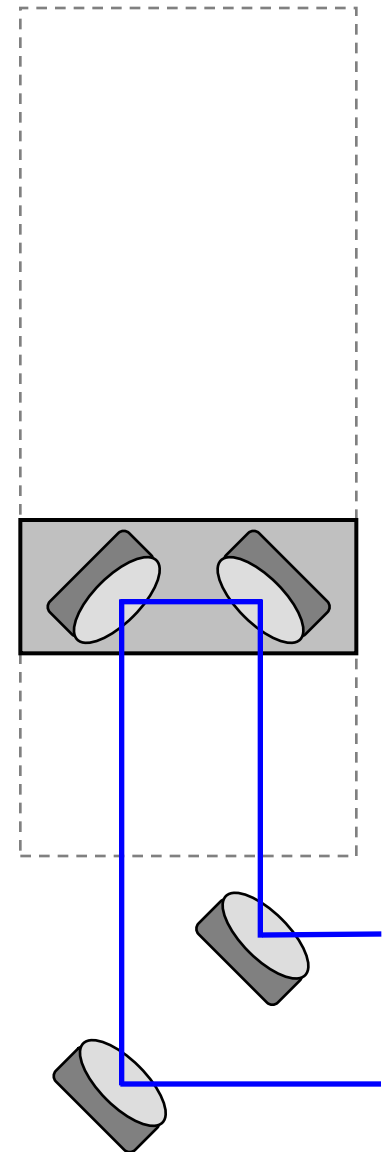
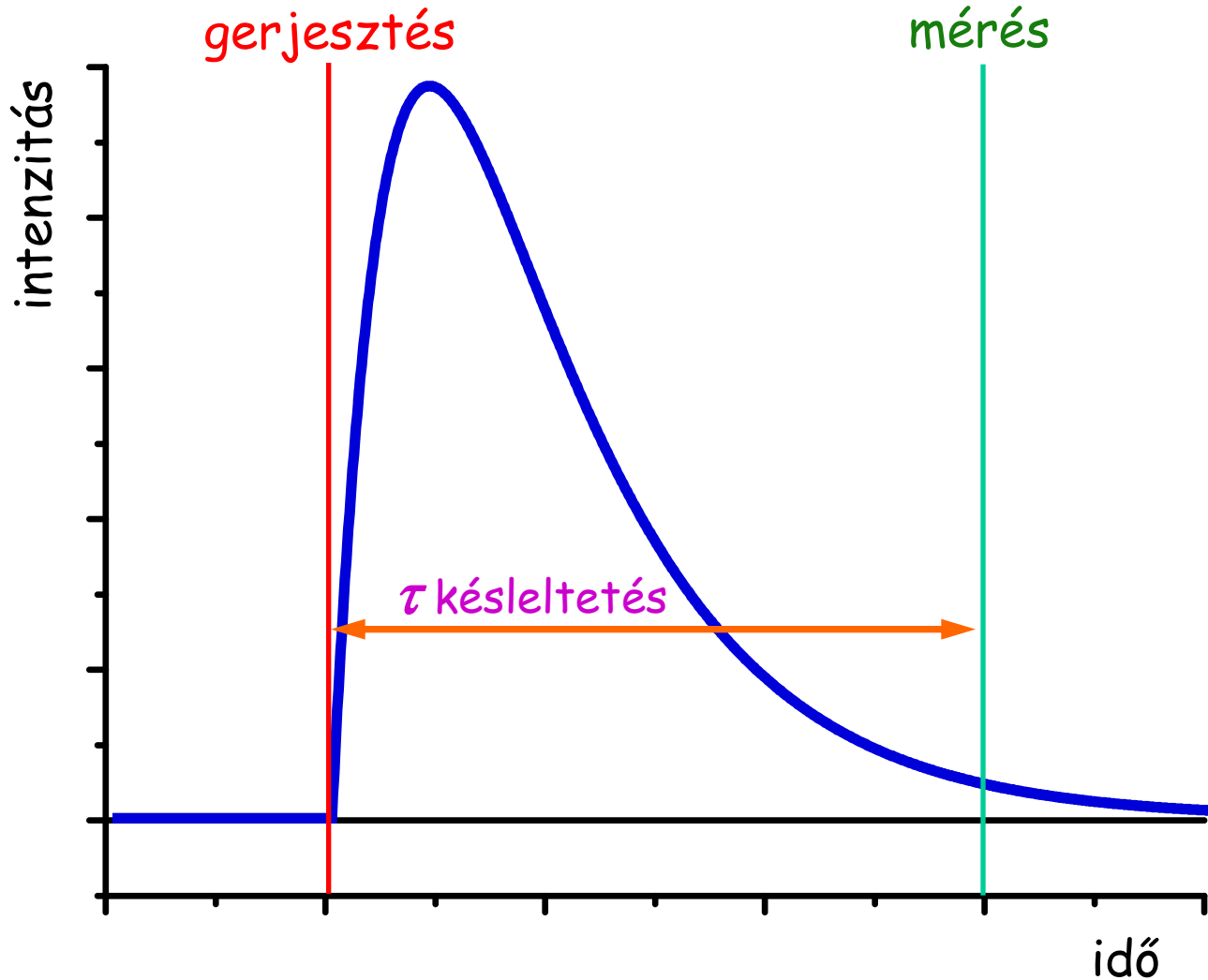


# Spektroszkópia femtoszekundum időfelbontással: az időbeli késleltetés

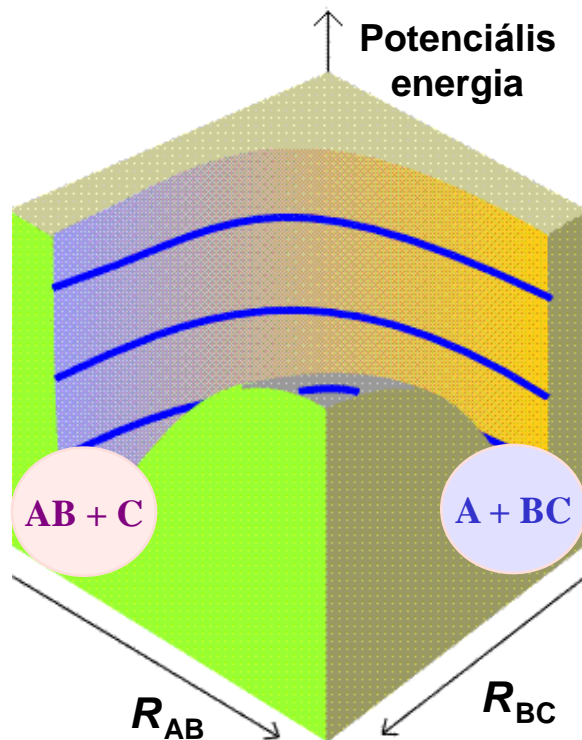




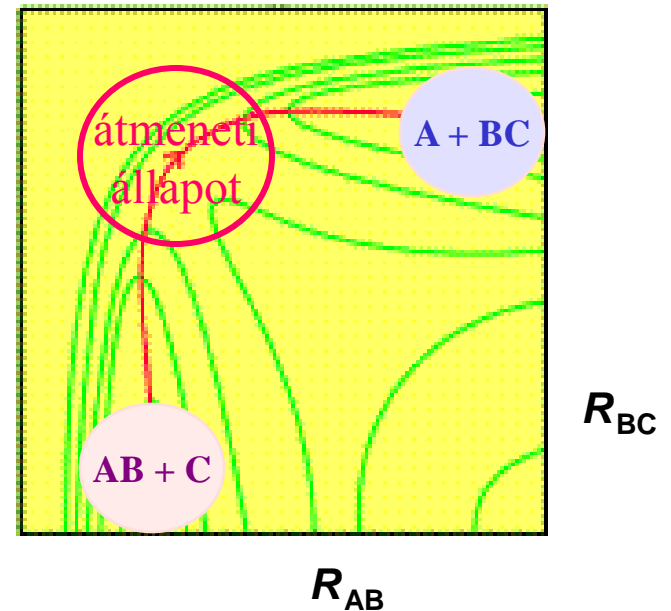
# Spektroszkópia femtoszekundum időfelbontással: az időbeli késleltetés



# Az átmeneti állapot elmélet (1935)

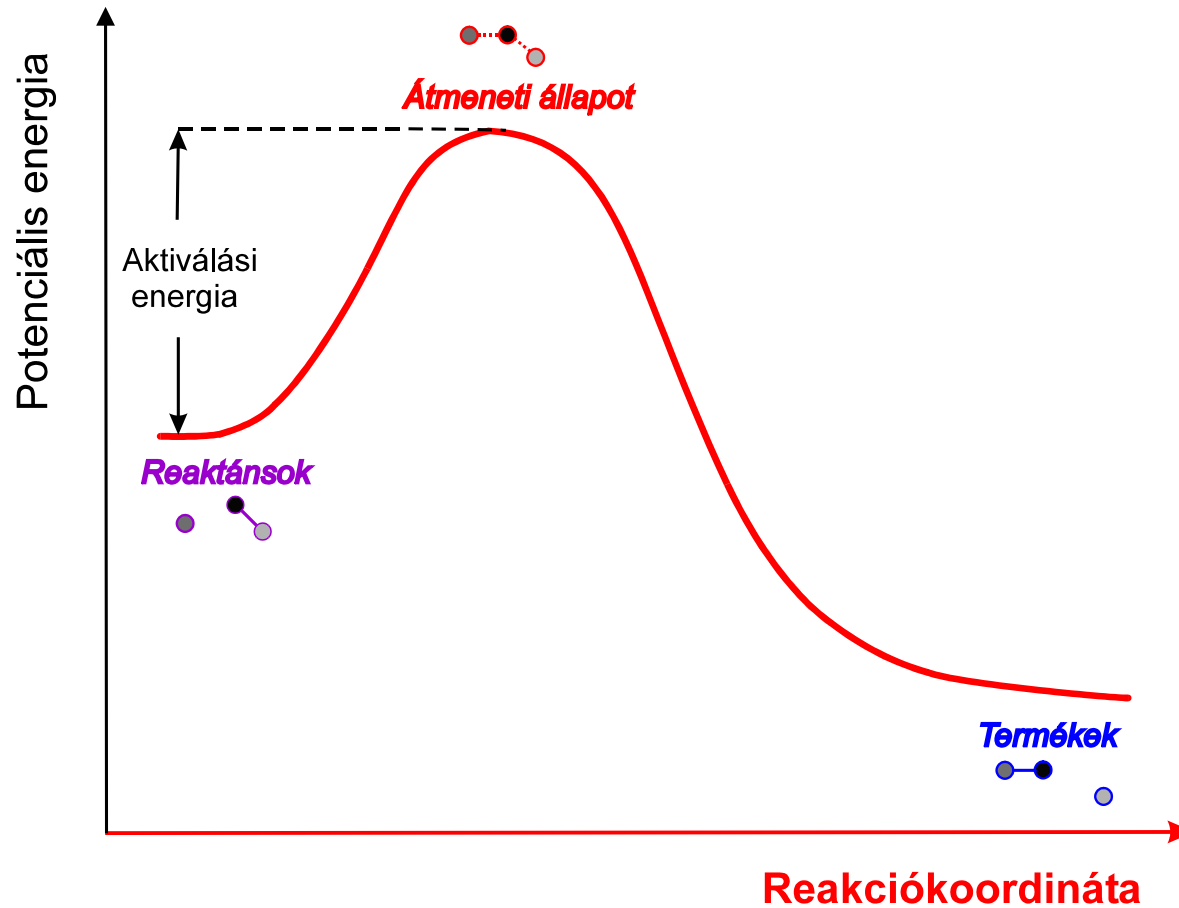


Vetület („térkép”):

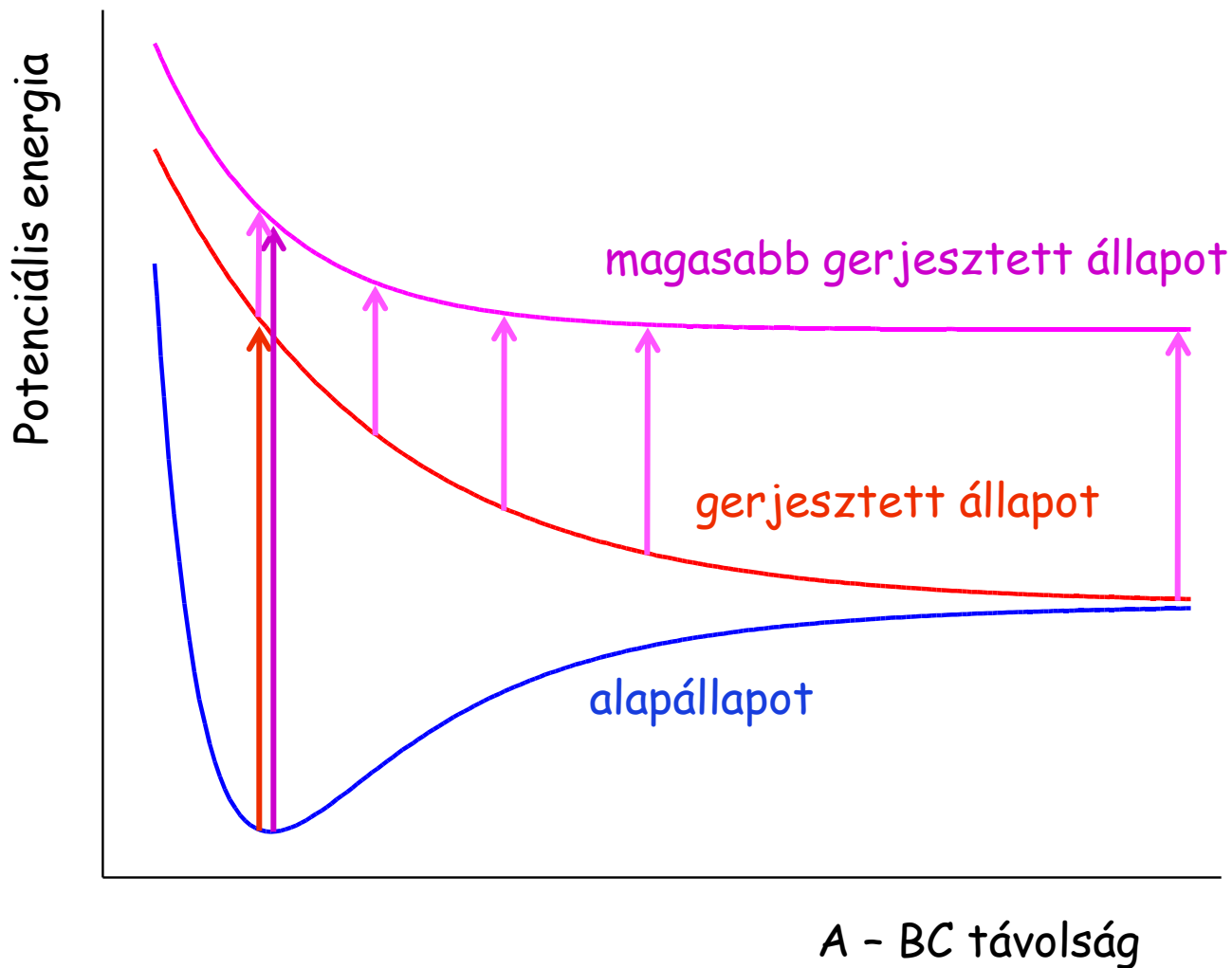
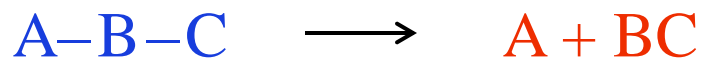


az átmeneti állapot élettartama  $\sim 10^{-13}$  s

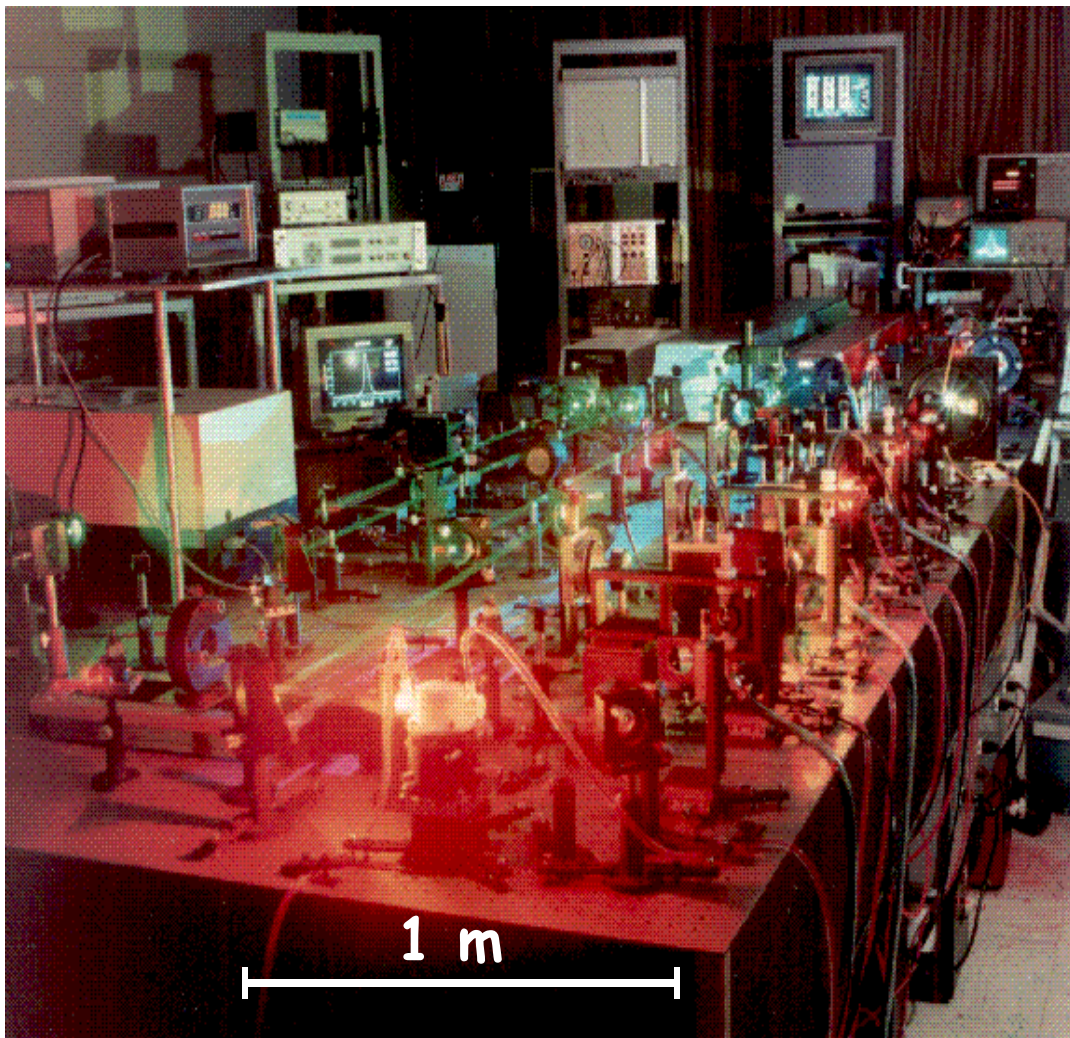
# Az átmeneti állapot elmélete



# Egy kis lézerkémia: lézerfotolízis



# Spektroszkópia femtoszekundum időfelbontással: a kísérleti berendezés

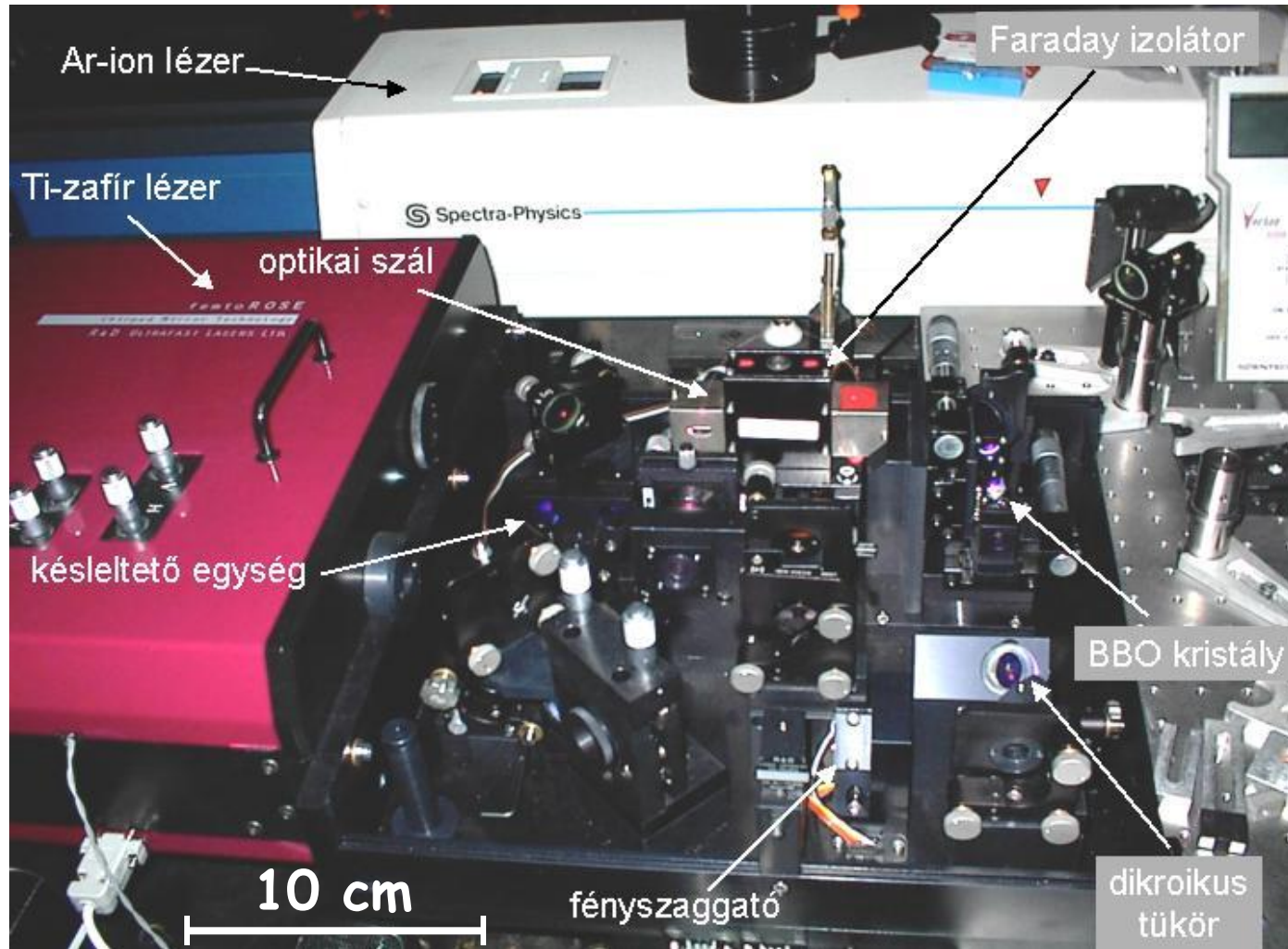


A kanadai  
Sherbrooke-i  
Egyetem  
1988-ban  
létesített  
femtokémiai  
laboratóriuma

[részletek...](#)

lézerekről: <http://femto.chem.elte.hu/kinetika/Laser/Laser.htm>

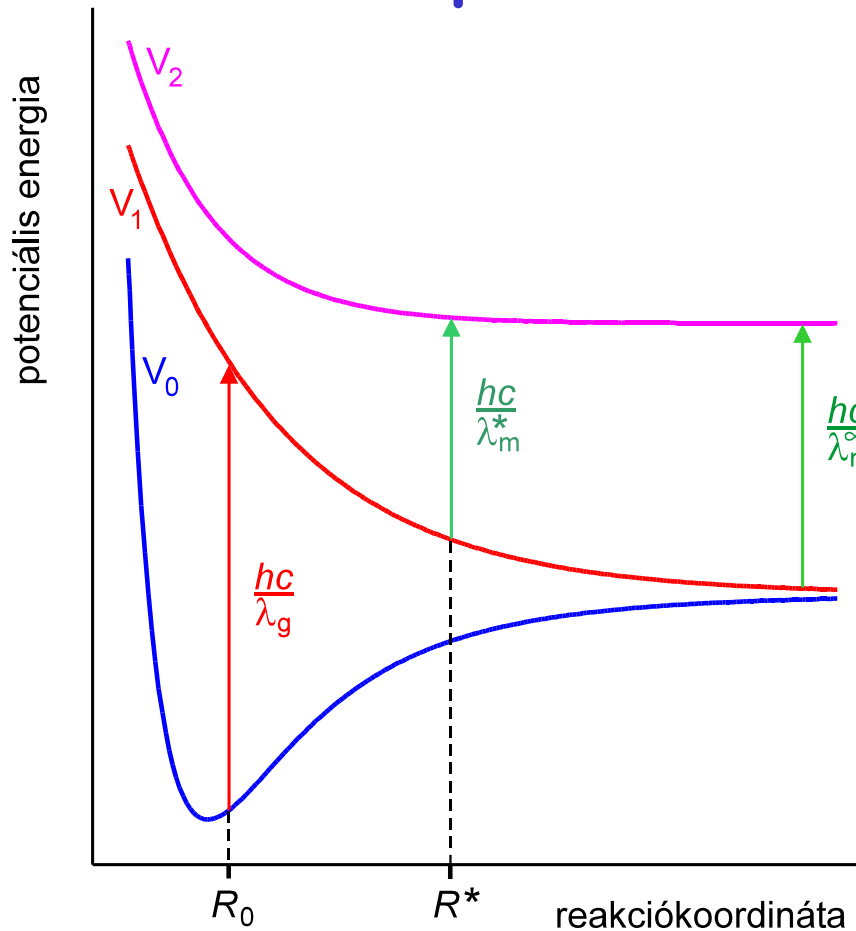
# Spektroszkópia femtoszekundum időfelbontással: a kísérleti berendezés



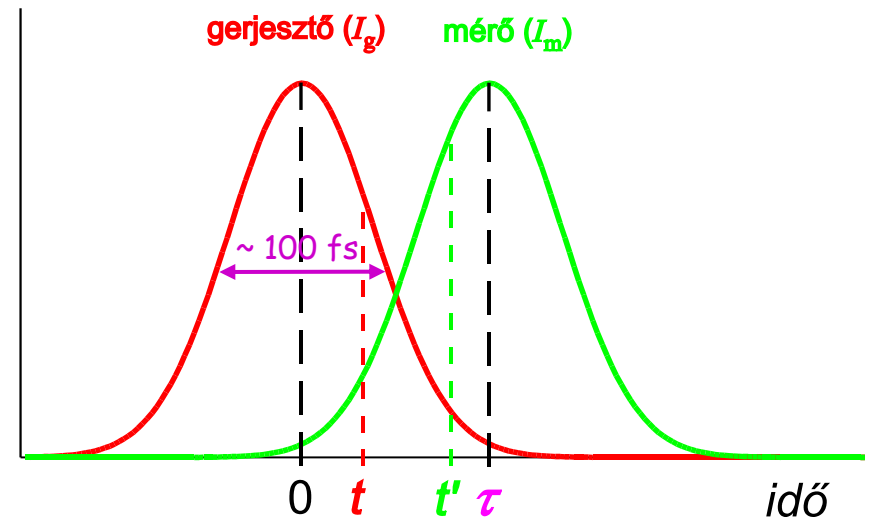
Az MTA SZFKI 2002-ben épített femtoszekundumos lézerberendezése

# Spektroszkópia femtoszekundum időfelbontással: a kísérlet elve

rövid impulzusok → koherencia és szelektivitás



1 fs = 0.3  $\mu\text{m}$  fényút





inkoherens  
mozgás,  
nincs szelektivitás



koherens  
mozgás,  
jó szelektivitás



# Ahmed Zewail, az 1999. évi kémiai Nobel-díjas



1946-ban született Egyiptomban.

Tanulmányai: Alexandriai Egyetem (Egyiptom), majd  
Pennsylvaniai Egyetem (U.S.A.) Ph. D. 1974

1974-76 a University of California Berkely munkatársa,  
1976- a California Institute of Technology munkatársa,  
1990- professzor, a kémiai-fizikai részleg vezetője.

Wolf-díj (1993), Nobel-díj (1999).

*(Ki Kicsoda, 2000)*

A Nobel-díjat kémiai reakciók átmeneti állapotainak femtoszekundumos spektroszkópiai vizsgálataiért kapta.

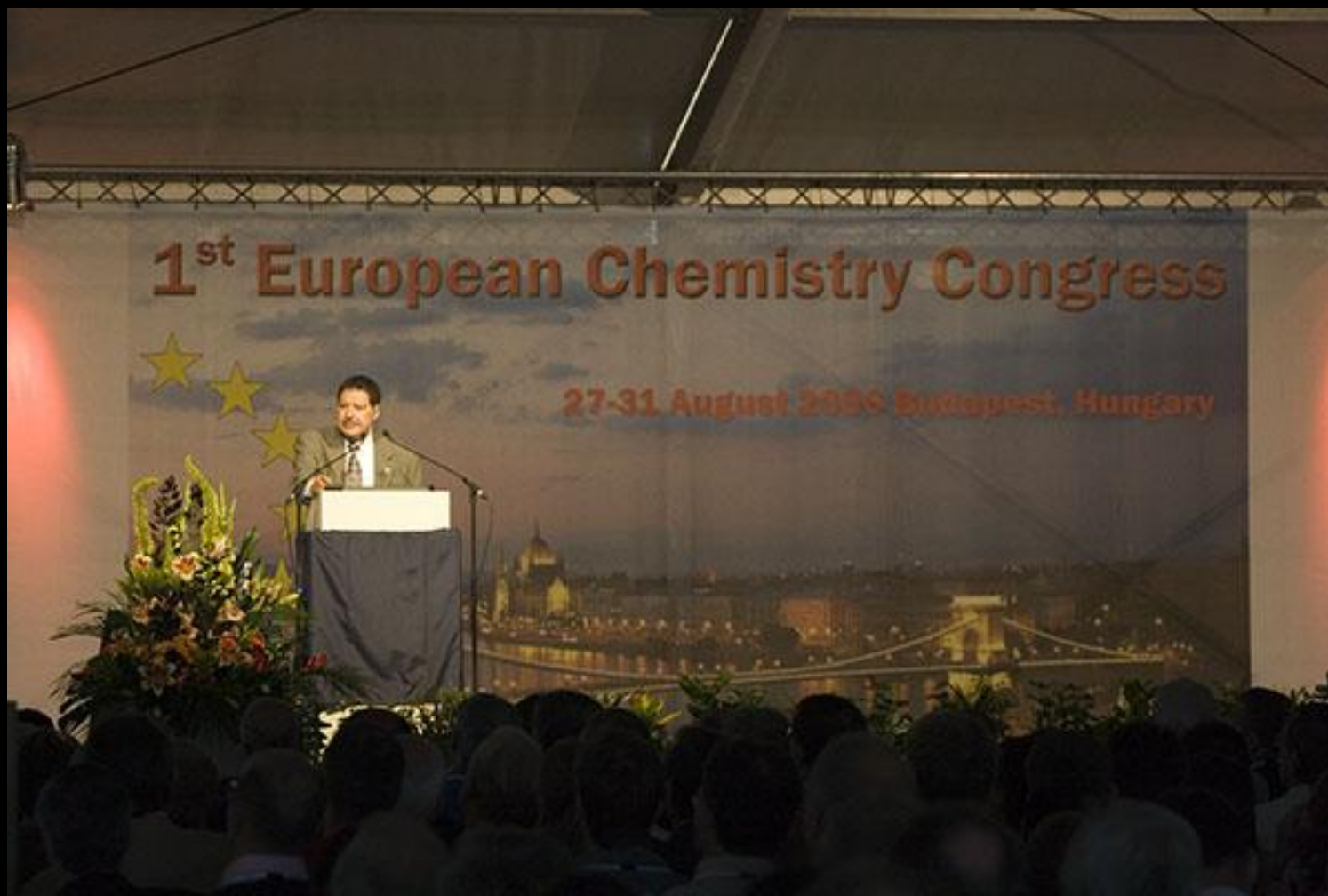


# 1<sup>st</sup> European Chemistry Congress

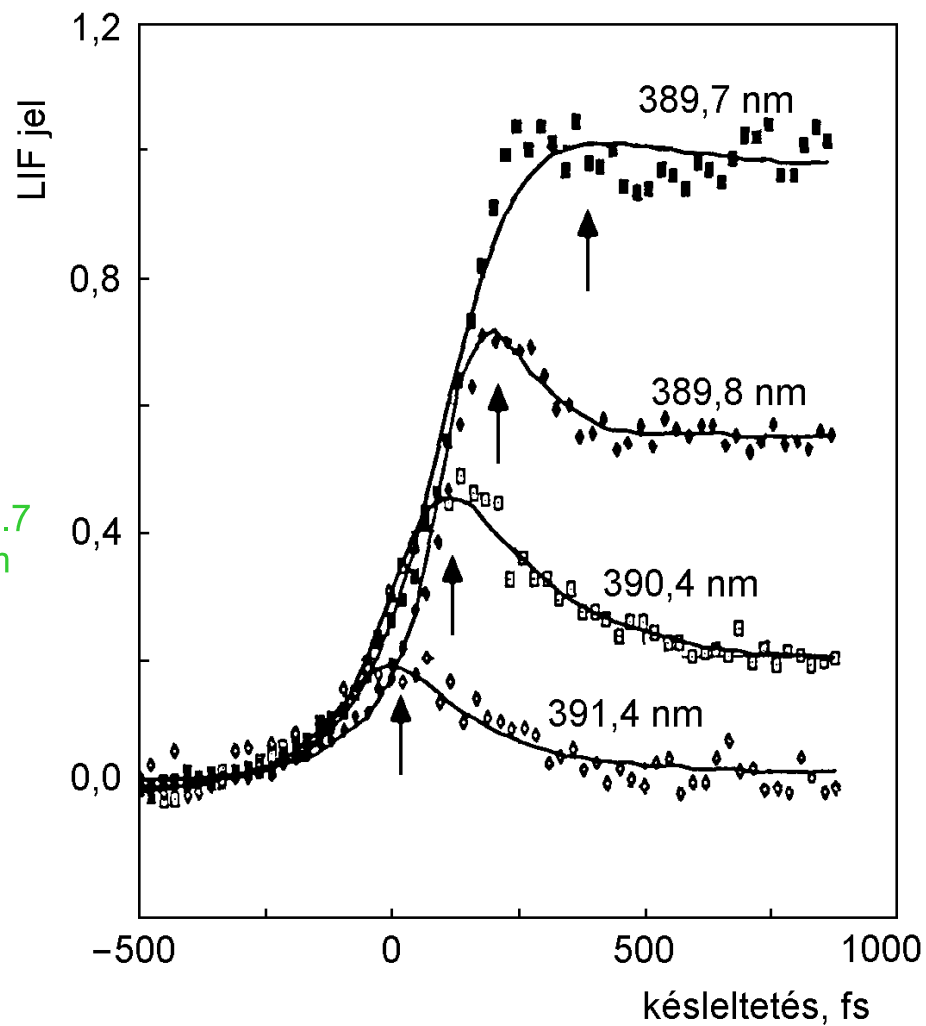
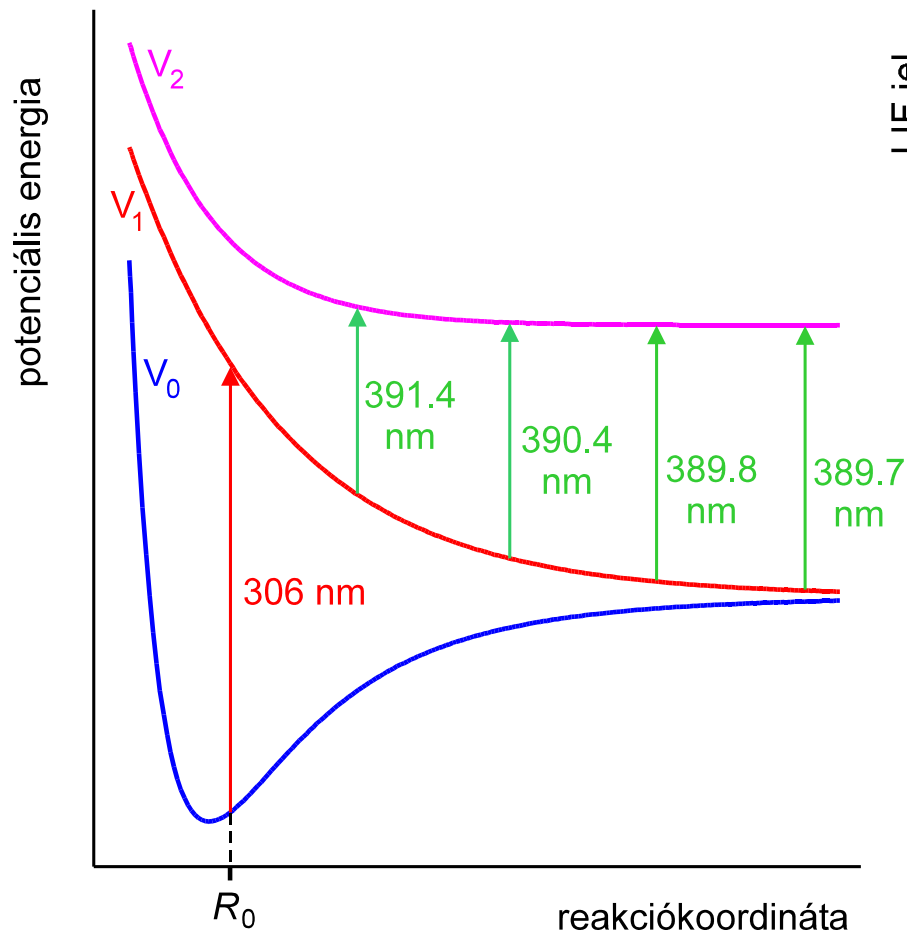
27-31 August 2006 Budapest, Hungary

opening plenary lecture, Monday 9 AM:

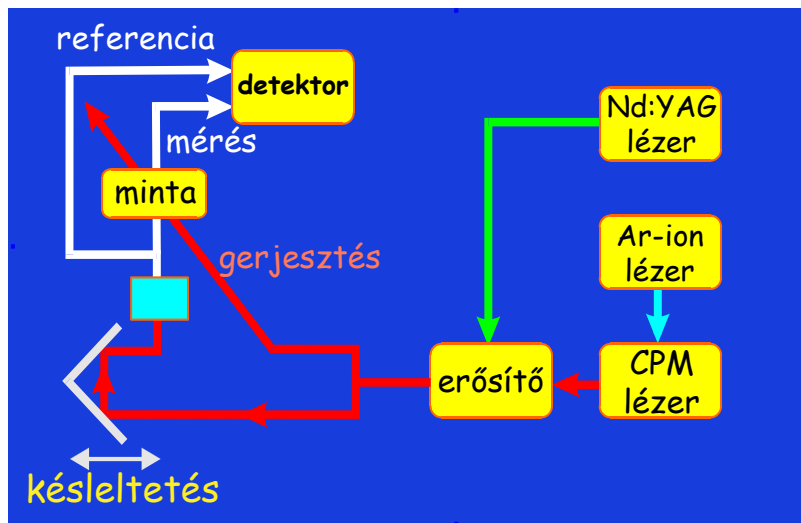
Ahmed Zewail (Pasadena, U.S.A.): 4D chemistry and biology



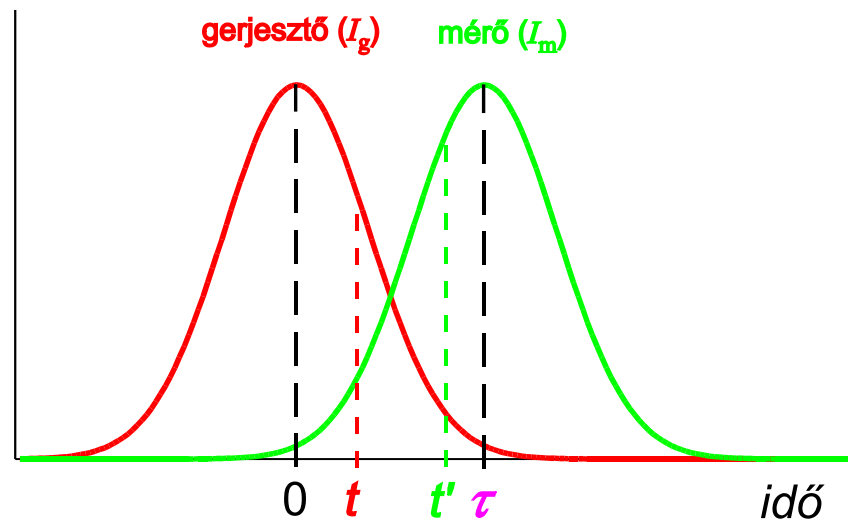
# Reakciótípusok, potenciálfelületek, ultragyors kinetika: az ICN molekula disszociációja



# Spektroszkópia femtoszekundum időfelbontással: hogyan készül a lassított felvétel?



1 fs = 0.3  $\mu\text{m}$  fényút



1. a minta felé indul egy gerjesztő impulzus
2. a gerjesztő impulzust követi adott késleltetéssel egy mérő impulzus
3. a detektor megméri a teljes lézerindukált fluoreszcenciát
4. a következő gerjesztő impulzus csak 0.1-0.001 másodperc után indul

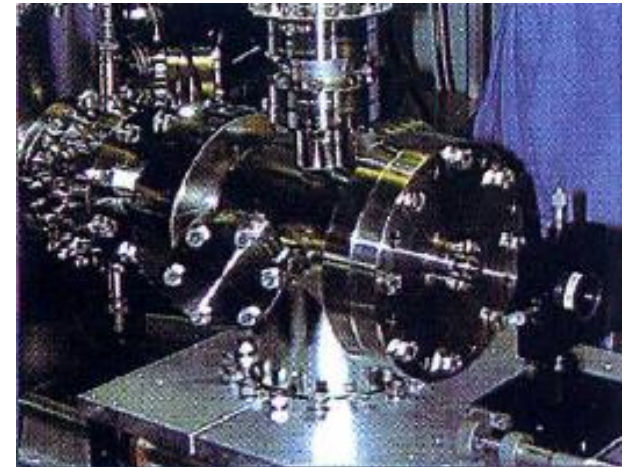
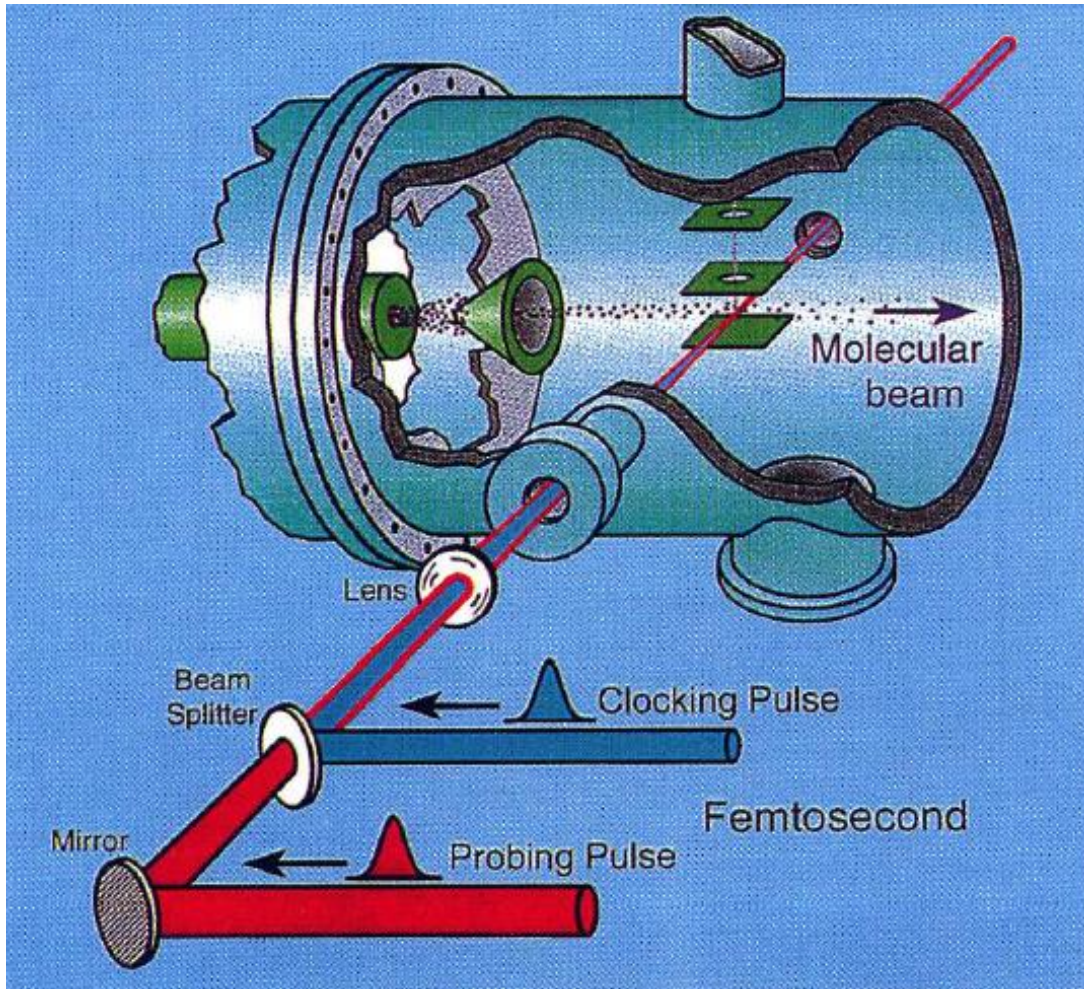
# Analógia: 100 méteres futóverseny videofelvétele hogyan készül a lassított felvétel?

1. a rajtpisztolyra elindul a futam
2. a rajtot követően adott helyen álló kamerához ér a mezőny
3. a kamera ekkor felvesz *egyetlen képkockát*
4. a következő futam csak *30 ezer év múlva* indul

1. a minta felé indul egy gerjesztő impulzus
2. a gerjesztő impulzust követi adott késleltetéssel egy mérő impulzus
3. a detektor megméri a teljes lézerindukált fluoreszcenciát
4. a következő gerjesztő impulzus csak 0.1-0.001 másodperc után indul

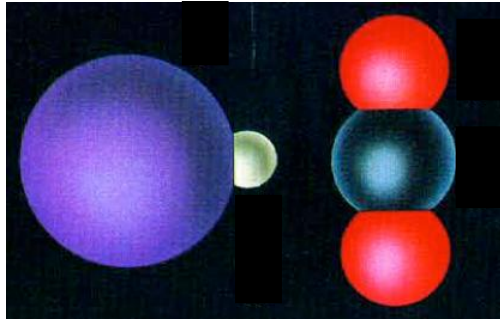
# Spektroszkópia femtoszekundum időfelbontással: független molekulák viselkedése

Ahmed Zewail: Nobel előadás, 1999. december 8.

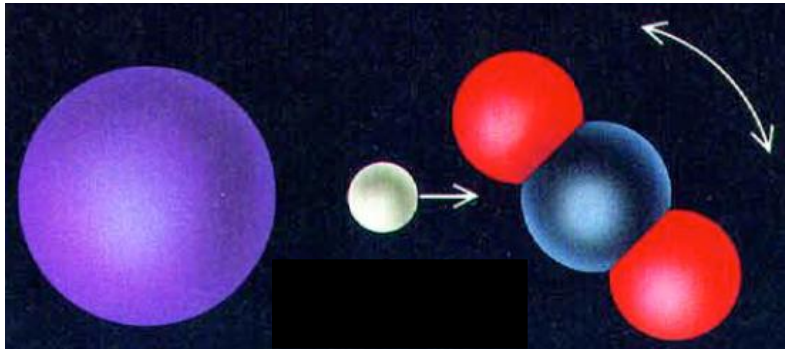


molekulasugár  
és lézernyaláb  
keresztzése  
vákuumban

# Reakciótípusok, potenciálfelületek, ultragyors kinetika: bimolekulás reakció



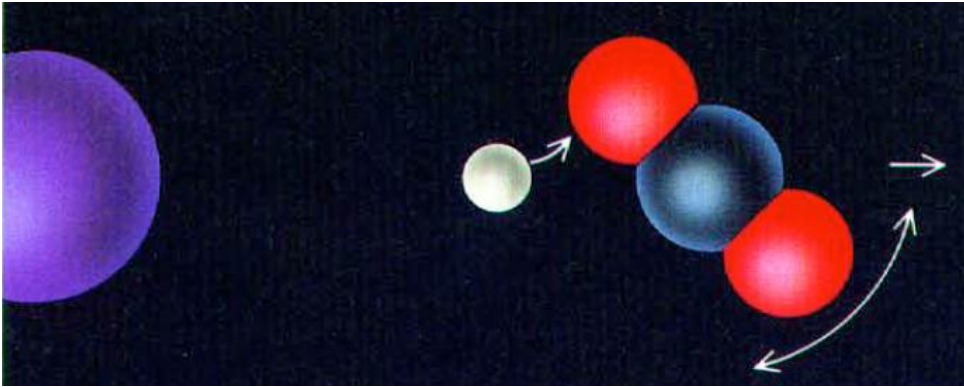
$\text{IH} \cdot \text{CO}_2$  van der Waals komplex  
repül a molekulasugárban



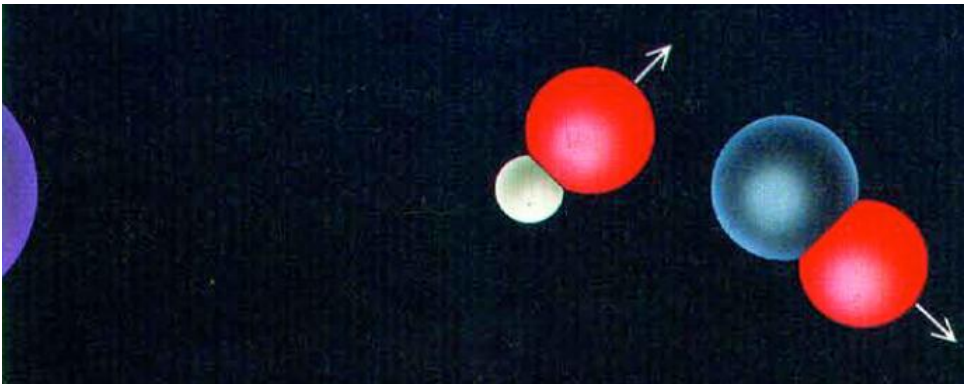
a gerjesztő impulzus hatására  
az  $\text{IH}$  molekula disszociál  
→ a  $\text{H}$ -atom a  $\text{CO}_2$ -re lökődik

a gerjesztő impulzus elindítja a bimolekulás reakciót

# Reakciótípusok, potenciálfelületek, ultragyors kinetika: bimolekulás reakció



kialakul a  $\text{H} \cdots \text{CO}_2$   
átmeneti állapot



a reakció termékei, az  
 $\text{OH}$  gyök és a  
 $\text{CO}$  molekula  
eltávolodnak egymástól

koherens módon lejátsszódik a bimolekulás reakció

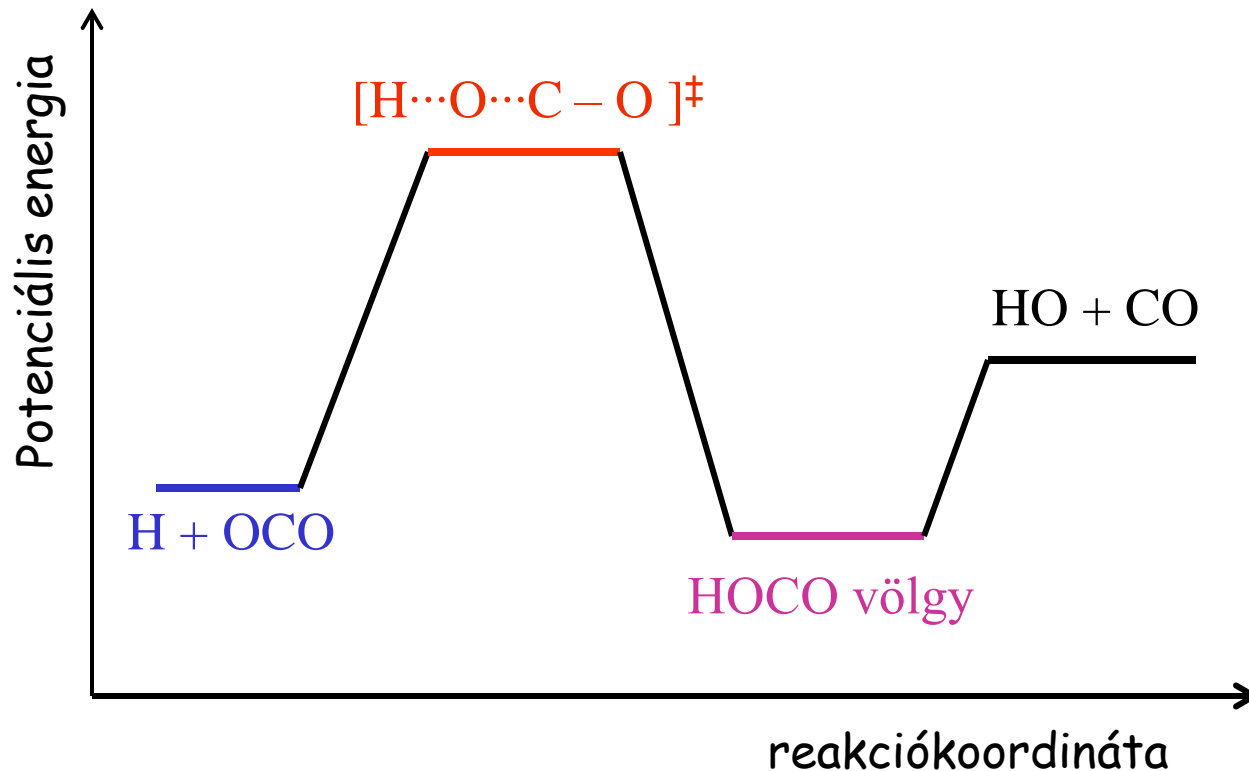


# Reakciótípusok, potenciálfelületek, ultragyors kinetika: bimolekulás reakció

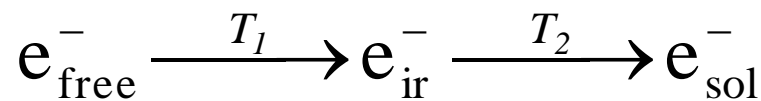
1. lépés: a reakció indítása:  $\text{IH} \cdot \text{CO}_2 \rightarrow \text{I} + \text{H} \cdot \text{CO}_2$

2. lépés: bimolekulás reakció:  $\text{H} + \text{OCO} \rightarrow [\text{H} \cdots \text{O} \cdots \text{C} - \text{O}]^\ddagger \rightarrow \text{HO} + \text{CO}$

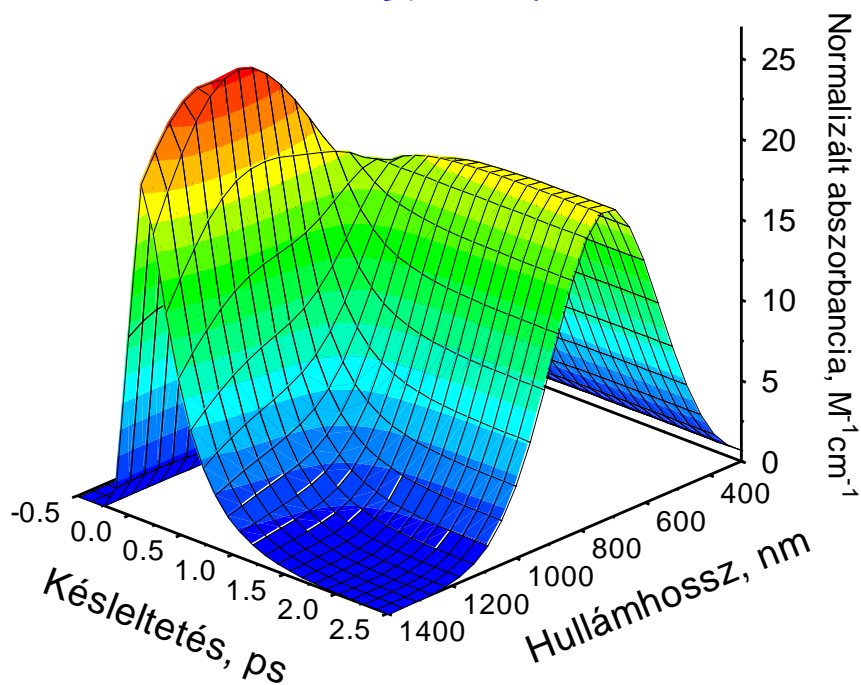
**Eredmény:** az OH-gyök lézerindukált fluoreszcenciája kb. 5 ps felfutással alakul ki



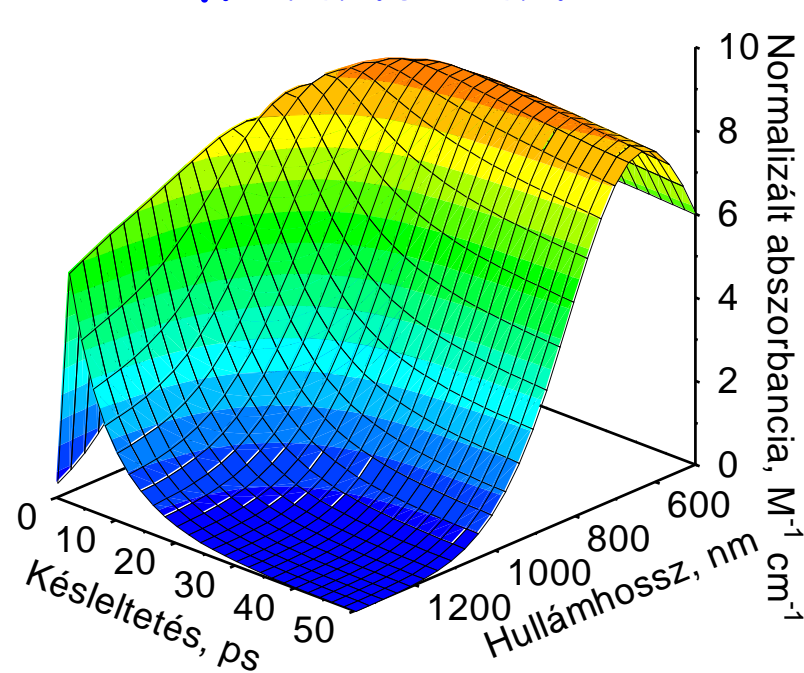
# Elektron oldódása poláros oldószerekben (példák saját kutatásaimból)



vízben



metanolban



# További fejlemények, lehetőségek

**UED:** ultragyors elektrondiffrakció

a detektáló lézerimpulzussal megvilágított fotokatód,  
az innen távozó elektronokkal meghatározható a szerkezet

**UEC:** ultragyors elektronkrisztallográfia

mint az UED, de kristály szórja az elektronokat

**UEM:** ultragyors elektronmikroszkópia

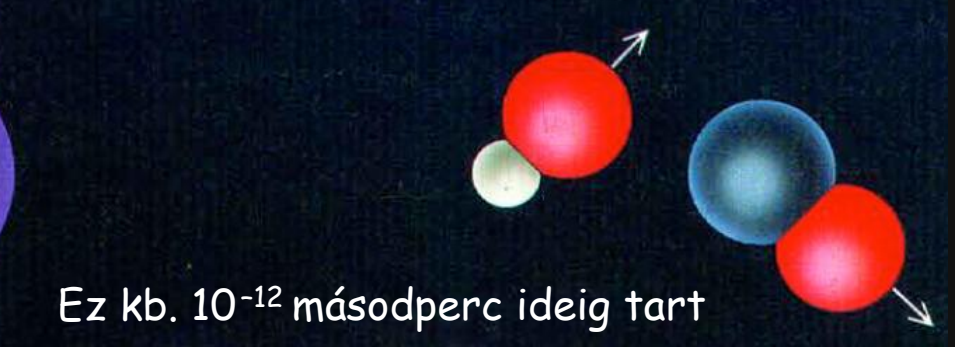
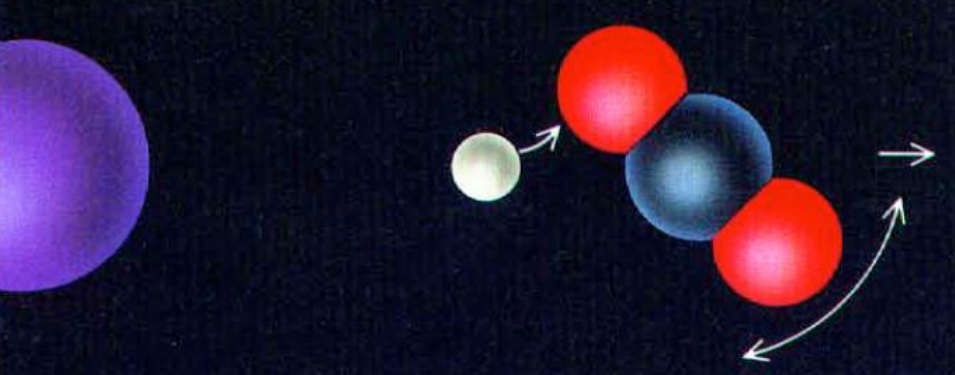
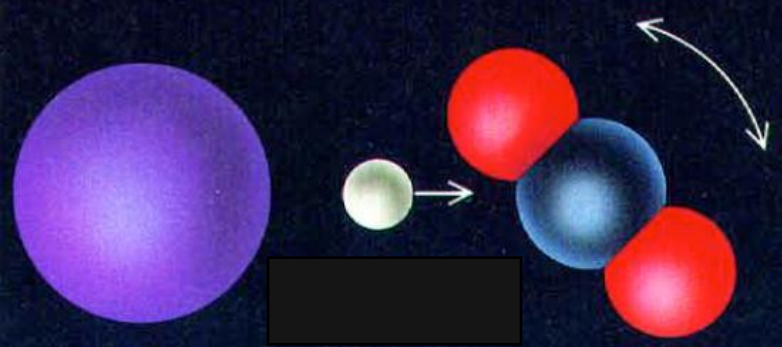
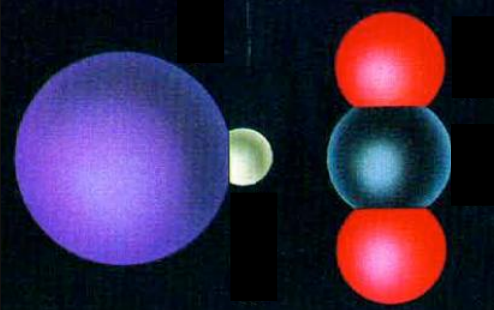
mint az UED, de nem diffrakció, hanem  
transzmissziós elektronmikroszkópia

**UXD:** ultragyors röntgendiffrakció

mint az UED, de rövid lézerimpulzusokkal előállított  
röntgenimpulzusokkal határozható meg a szerkezet

röntgenimpulzusok: lehetőség  $10^{-18}$  s időfelbontásra

**attofizika ??**



Ez kb.  $10^{-12}$  másodperc ideig tart

# Természet Világa

TERMÉSZETTUDOMÁNYI KÖZLÖNY • 140. évf. 2. sz. • 2009. FEBRUÁR • ÁRA: 620 Ft



- ELNÖKÖK ÉS TANÁCSADÓK
- AZ INTERNET ÚJRAGONDOLÁSA
- A FÖLDI ÜVEGHÁZHATÁS
- MAGZATKÁROSÍTÓ BÜNTETTEINK
- AZ AGGTELEKI ZÁTONY
- MUTASD MEG DNS-SZEKVENCIÁD!
- GONDOLATOK A KÖZÉPISKOLAI TERMÉSZETTUDOMÁNYOS OKTATÁSRÓL

Kívánom, hogy a folyóirat még legalább  $10^{12}$  másodperc ideig fennmaradjon - közelítve ezzel a címlap kozmikus objektumának életkorához !!