

# Lézerek

Extreme Light Infrastructure

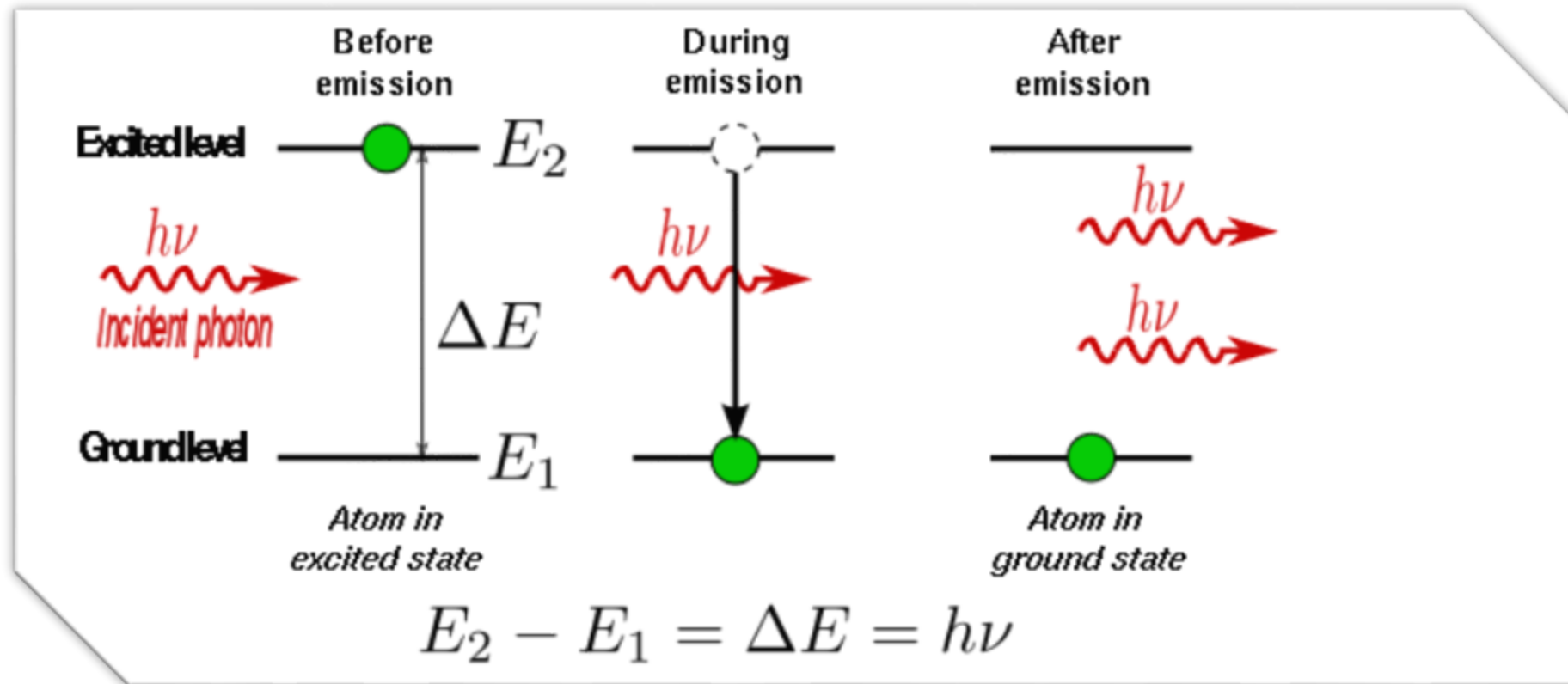
Készítette : Éles Bálint



# Elmélet

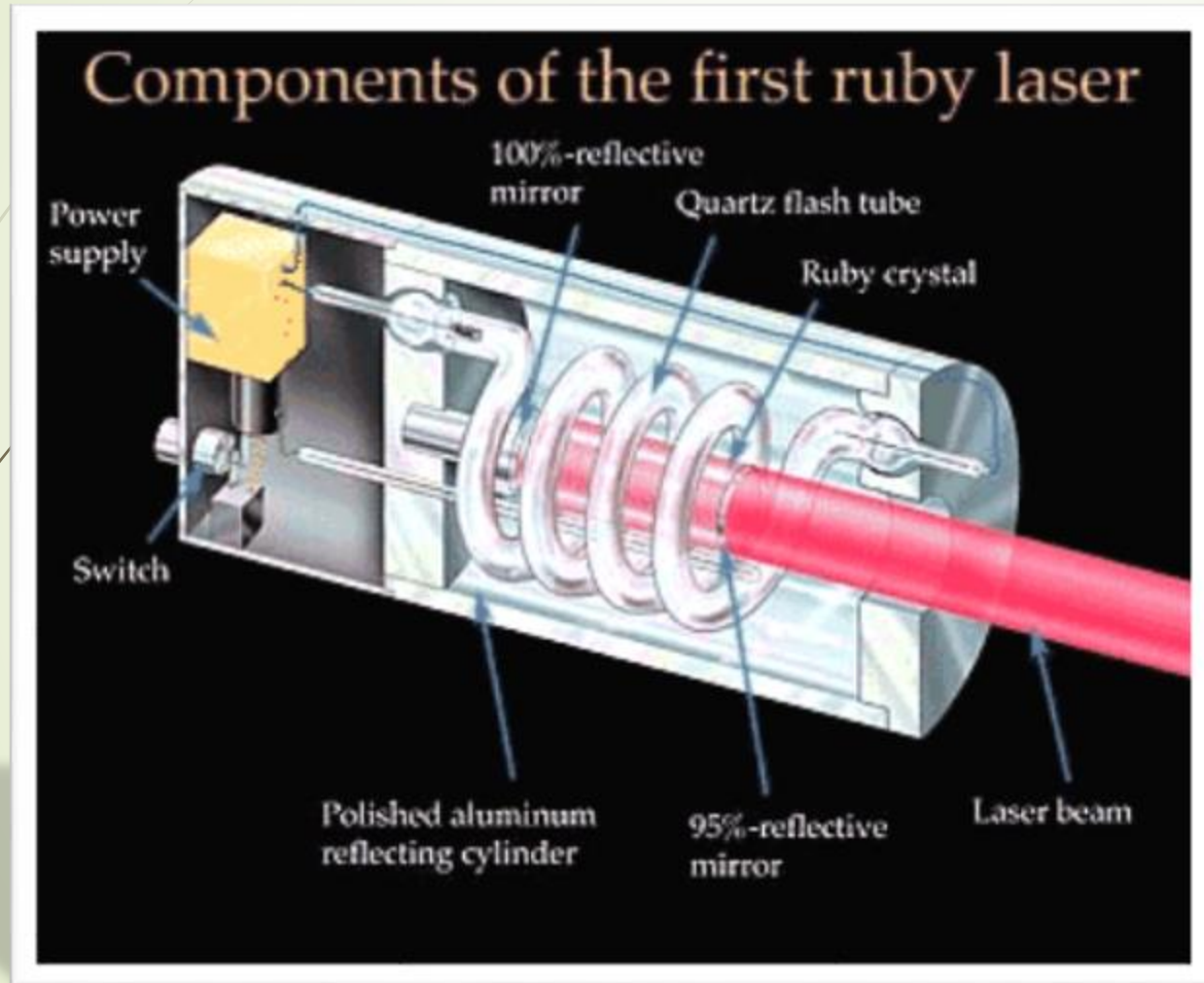
- ❑ A **lézer** olyan fényforrás, amely **indukált emissziót** használ **egybefüggő** fénysugár létrehozására
- ❑ Egybefüggőség definíciója:
  - ❑ Koherens hullámok
  - ❑ Kis divergenciájú nyalábok
  - ❑ A sugár jó közelítéssel azonos frekvenciájú hullámokból áll

# Indukált emisszió:



- A kilépő foton polarizációja, fázisa, energiája és iránya is megegyezik a bejövő fotonéval.

# Gyakorlati megvalósítás?



1 : Feszültségforrás

2 : Fénycső

3 : Instabil gerjesztett állapot.

4 : Spontán emisszió

5 : Indukált emisszió

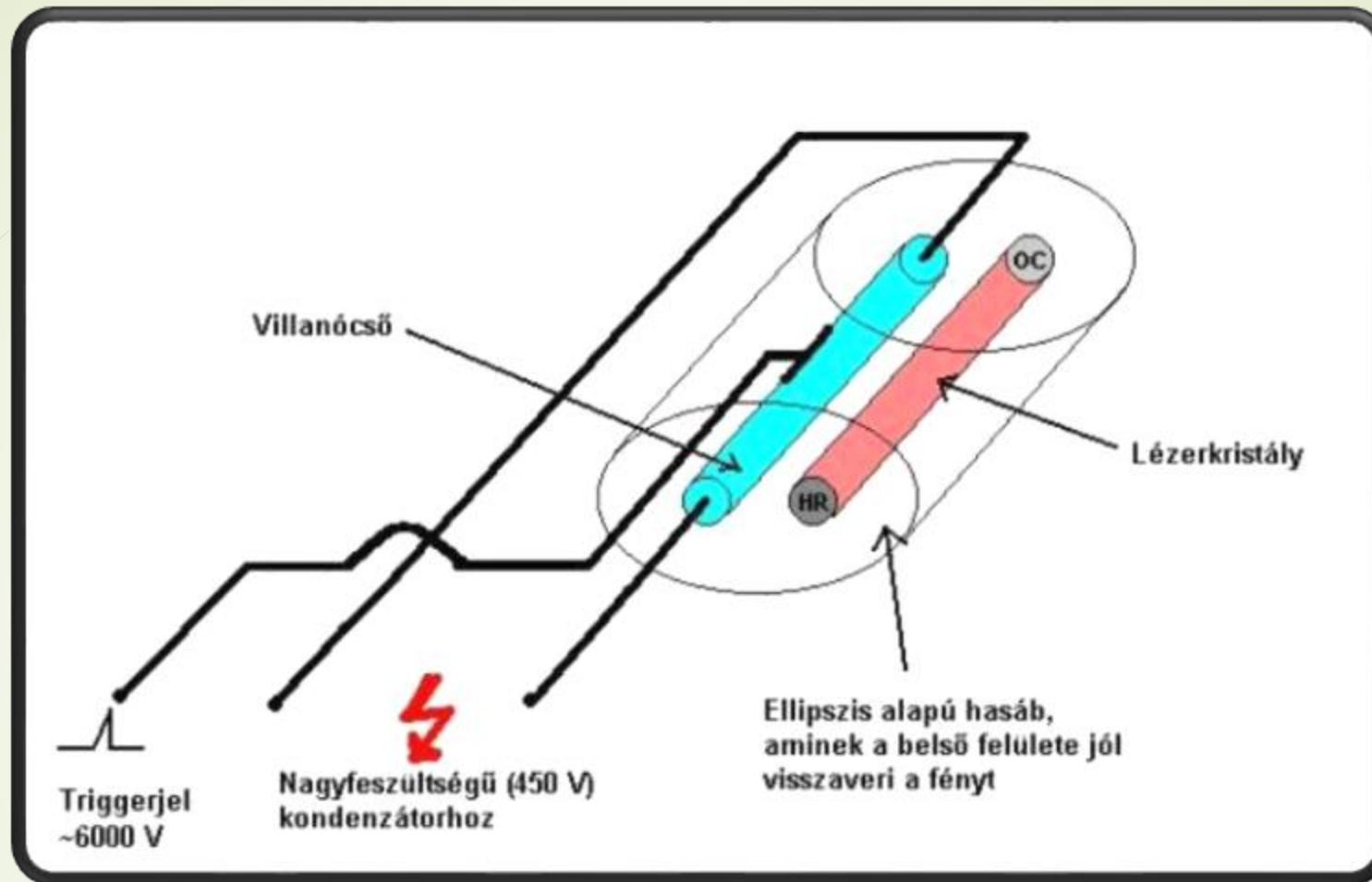
6 : Foton kettőződés

7 : Intenzitás növekedés



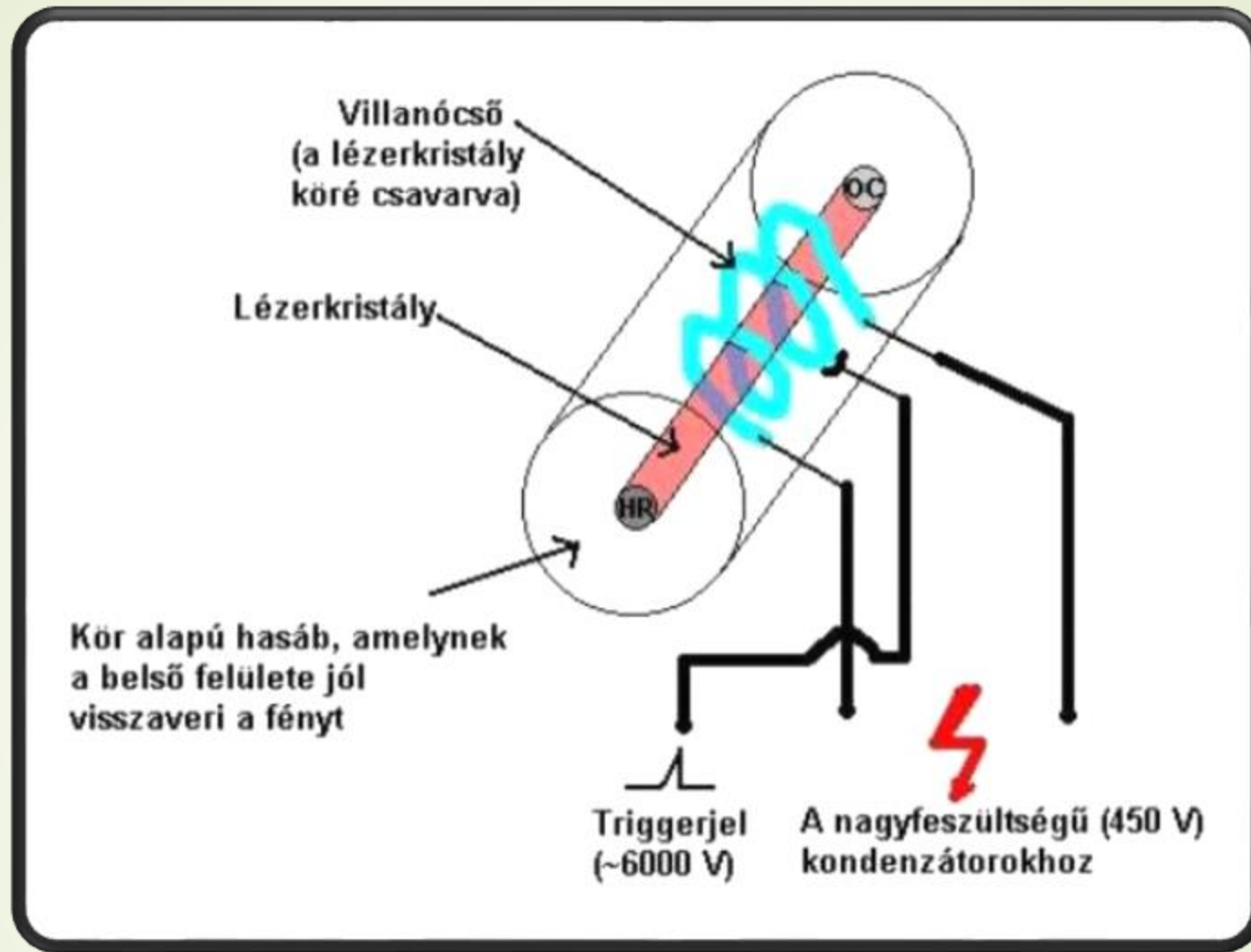
# Erősített spontán emisszió

- ▶ Kérdés, hogy mi szab határt az intenzitás növekedésének?
- ▶ Addig amíg elérjük az ún. lasing thresholdot, nincs probléma
- ▶ A határ elérése után problémát jelent az erősítés mivel ezek nem koherens hullámok és gátat szabnak az aktív közegben az erősítésnek
- ▶ Eleve nagy erősítésű vagy nagy méretű aktív közegű lézerekben nagy probléma.



- ❑ Lézerkristályt és a villanócsövet egy ellipszis alapú hasáb 1-1 gyújtópontjába (azaz gyújtóegyesébe).
- ❑ Az ellipszis egyik gyújtópontjából kiinduló sugárzás a másik gyújtópontba fókuszálódik amikor a villanócső begyűjt, és mivel a lézerkristály van az egyik gyújtópontban, a villanócső által kibocsátott erős fény a lézerkristály belsejébe fókuszálódik.





- ❑ itt a lézerkristály egy henger középvonalaiban van és a kristály a felcsavart villanócső belsejében kap helyet

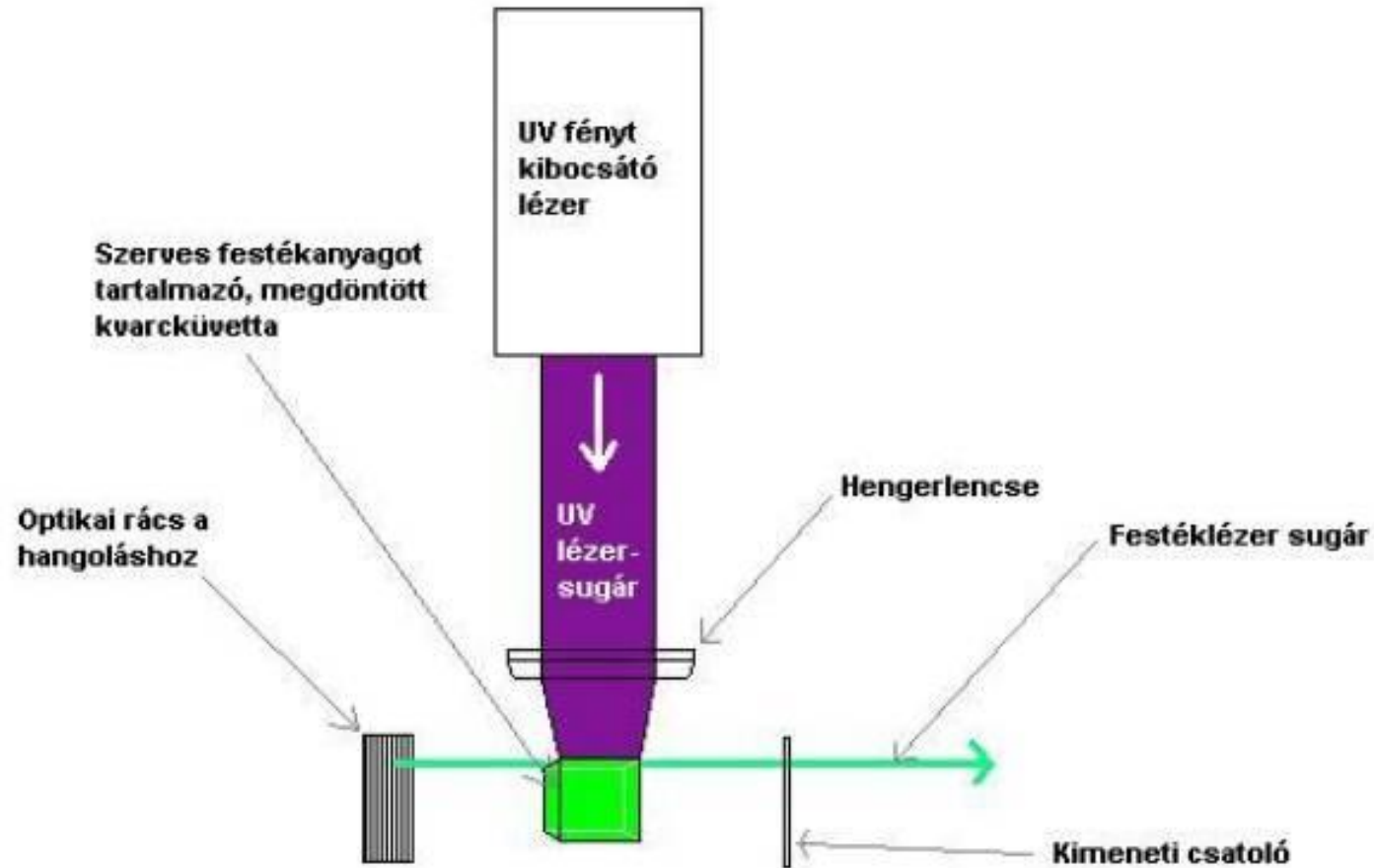


# Folyadéklézerek

- ▶ Aktív közeg folyadék (amiben megvalósítottuk a populáció inverziót → több gerjesztett állapotban lévő atom van a közegünkben, mint alapállapotban lévő atom)
- ▶ Gerjesztés : lézeres pumpálással

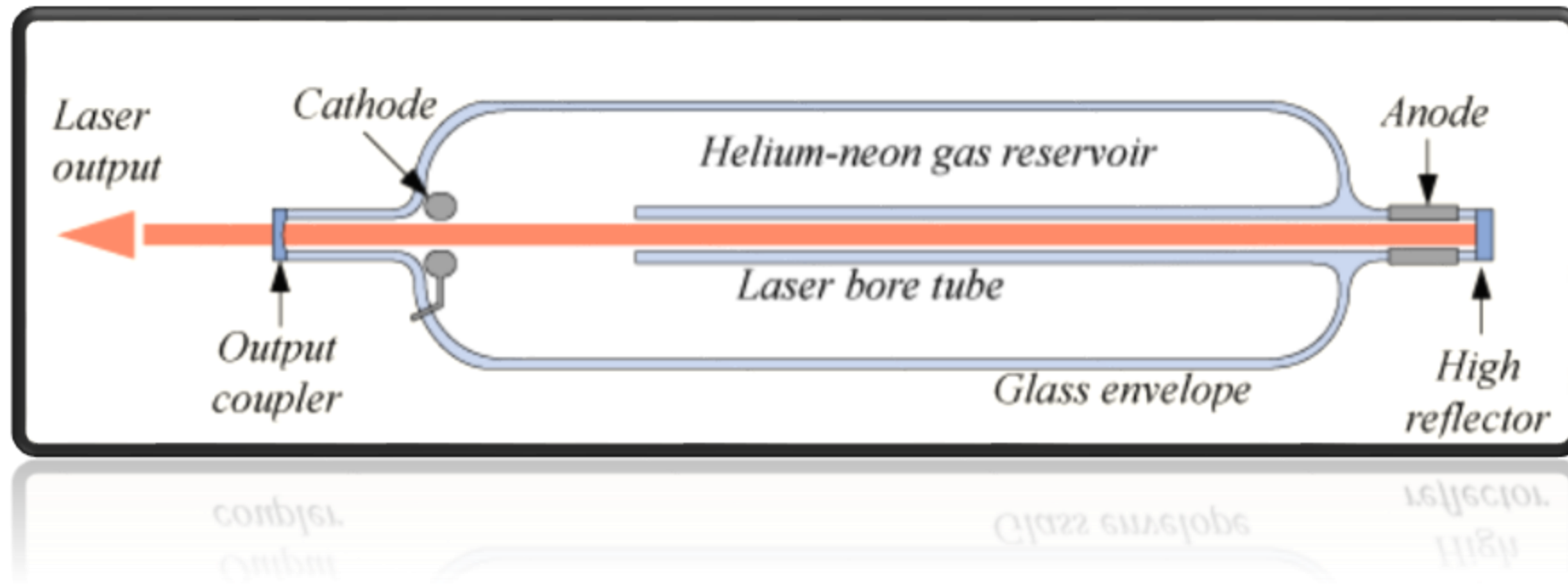


## Lézerrel pumpált festéklézer rezonátor (felülnézet)



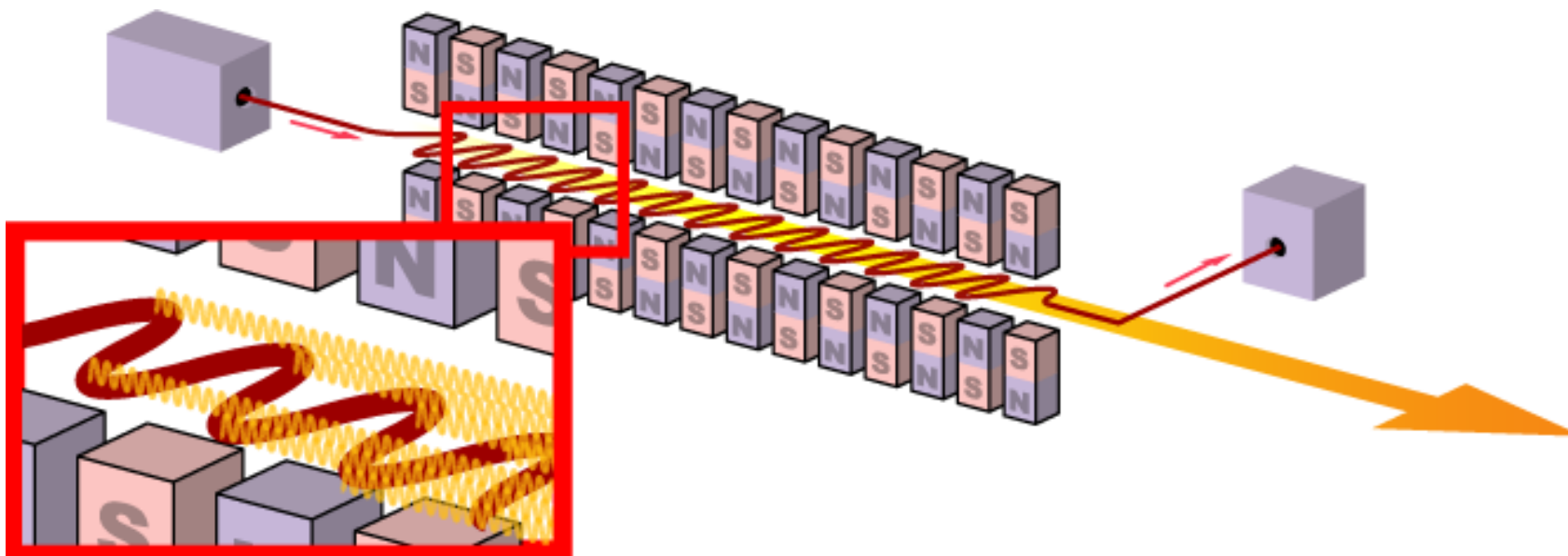
- ❑ kvarcküvetta-t meg szokták dönteni, megelőzve ezzel egy helyi rezonátor kialakulását (ez egy olyan rezonátor, amelyben a lézerfény gyengítő interferenciába kerül önmagával)

# Gázlézerek



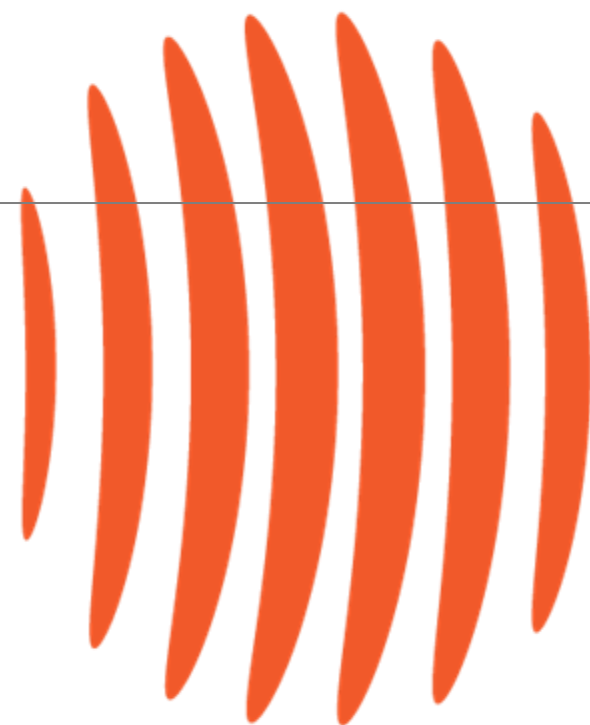
- ❑ Teljesen hasonló elven alapul, mint a szilárdtest lézerek.
- ❑ A gerjesztést elektromos energiával, például gázkisüléssel valósítják meg.

# Szabadelektron lézer



- Monokróm de inkoherens nyaláb az eredmény
- Külső lézerforrással meglőjük a szinuszosan mozgó elektronnyalábot
- A külső lézer elektromos tere kölcsön hat az elektronnyalábbal
- Elektronok energiát veszítenek és vesznek fel
- Ez az energia moduláció elektron áramsűrűség modulációhoz vezet
- Electron microbunch-ok alakulnak ki
- Az elektron csoportosulások által kibocsátott sugárzások azonos fázisban vannak, és a különböző bunchok sugárzása koherensen összeadódnak

e|i



beamlines

# Bevezetés

- ▶ Európai uniós „kutatási nagyberendezés”, ami nagy energiájú lézerekkel foglalkozik
- ▶ exawatt-osztályú ( $10^{18}$  wattos) lézerével a relativisztikus hatások figyelembe vételével  $10^{23}$  W/cm<sup>2</sup> intenzitás is elérhető
- ▶ Csehország, Magyarország és Románia közösen valósíthatja meg az ELI elosztott infrastruktúráját
- ▶ Elsődleges célja: lehető legnagyobb ismétlési frekvenciával biztosít a lehető legrövidebb időtartamú impulzusokat a terahertzestől ( $10^{12}$  Hz) a röntgensugárzásig ( $10^{18}$ - $10^{19}$  Hz) terjedő frekvenciatartományban.
- ▶ Tervezik egy 4. központ megépítését, ami nemlineáris kvantum-elektrodinamikai és laboratóriumi asztrofizikai vizsgálatok elvégzésére specializálódik 200 PetaWatt csúcsteljesítményű lézerimpulzusok létrehozásával

# ELI-NP - Romániai központ

- ❑ 2 legfontosabb berendezése :
  - ❑ 10 PW csúcsteljesítményű lézerrendszer
  - ❑ Gammasugárzó rendszer, amely erősen kollimált, nagyintenzitású, 20 MeV-ig hangolható energiájú gammasugárzást állít elő
- ❑ Kutatási területek :
  - ❑ nagyintenzitású lézerekkel történő részecskegyorsítás
  - ❑ terahertzes sugárzás lézerrel való létrehozása : Napjainkban ilyen sugárzást szinkrotronokban vagy lineáris gyorsítóknál állítanak elő, de ezek kényelmetlenül nagy és drága berendezések.
  - ❑ lézerek magfizikai alkalmazásainak vizsgálatára.



# ELI-BL: Csehországi központ

- Elsődleges feladata ultranagy intenzitású lézerekkel meghajtott másodlagos források teljesen új generációjának kifejlesztése : röntgenimpulzusok, gamma-impulzusok, gyorsított elektron-, proton- és ionnyalábok.

# Szeged: ELI-ALPS

- Attoszekundumos impulzusok előállítása.
  - Vegyérték-elektron vizsgálatok , fényimpulzusok elektromos terének attoszekundumos időskálán való szabályozhatósága
    - Vegyértékelektronok tanulmányozása atomokon és molekulákon belüli folyamatok során nagy időfelbontás mellett
- Atomtörzsi-elektron vizsgálatok
- 4D képalkotás
- Relativisztikus kölcsönhatások
  - A nagyintenzitású lézerimpulzusok (TW, PW) anyaggal való kölcsönhatása jellemzően atomi léptékű (femtoszekundumos, attoszekundumos) időskálán megy végbe.

# Femtosekundumos impulzus előállítása

▶ **Mode-locking** : természetes vonalszélessége van a sugárnyaláb frekvenciájának. Az optikai rezonátor csapdában állóhullámok alakulnak ki, ezek különböző frekvenciájú állóhullám-módusok. Általános esetben a módusok fázisa időben egymáshoz képest random változnak (pl a lézer anyagában végbemenő termikus változások), teljesen függetlenek egymástól, különálló lézereként működnek. Ha sikerül megoldani, hogy egymáshoz képest a fázisok ne változzanak, akkor periódikusan konstruktív interferencia tapasztalható → Femtosekundumos lézerimpulzusok.

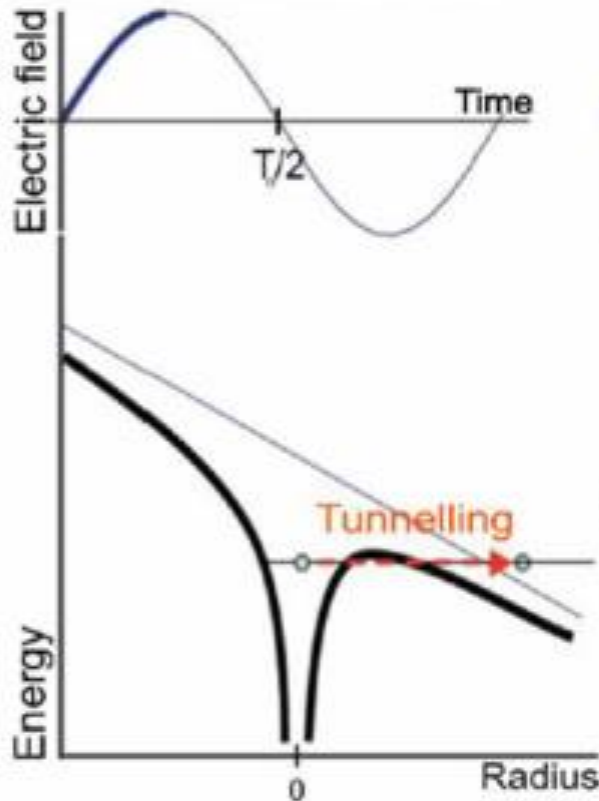
- ▶ Aktív mode-locking
- ▶ Passzív mode-locking

# Attoszekundumos források

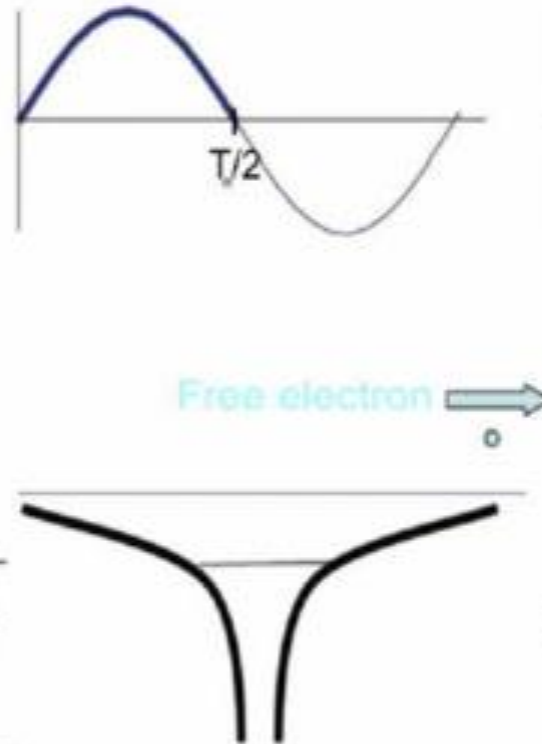
- ▶ A lézersugárzást egy magasrendű felharmonikuseltésnek („high harmonic generation,” HHG) nevezett folyamat során át kell alakítani attoszekundumos impulzusokká
- ▶ Nem lineáris folyamat, ami során a céltárgyat(gáz, plazma vagy szilárdtest) meglövünk nagy intenzitású lézerfényel, melynek során a meglőtt minta az eredetinek valamelyik felharmonikusának megfelelő frekvenciával sugározni kezd (ötödik felharmonikus sem kizárt)
- ▶ Az a rezgés, amelynek frekvenciája felírható egy szinuszos alaprezgés frekvenciájának egész szám szorosaként. Egy szinuszos rezgés alapfrekvenciáját szokás első felharmonikusnak nevezni. A második felharmonikus frekvenciája az alaprezgés frekvenciájának a kétszerese és így tovább

# High harmonic generation

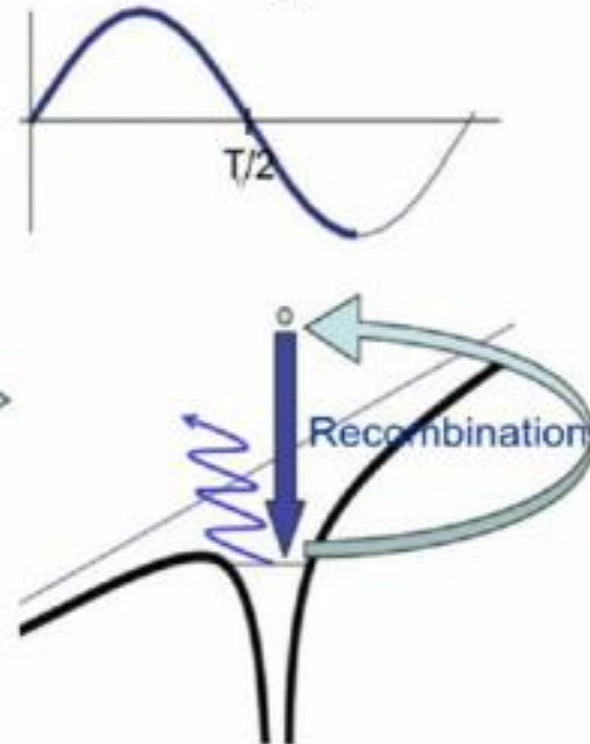
1. Laser field suppresses Coulomb barrier, thus electron can tunnel out of the atom



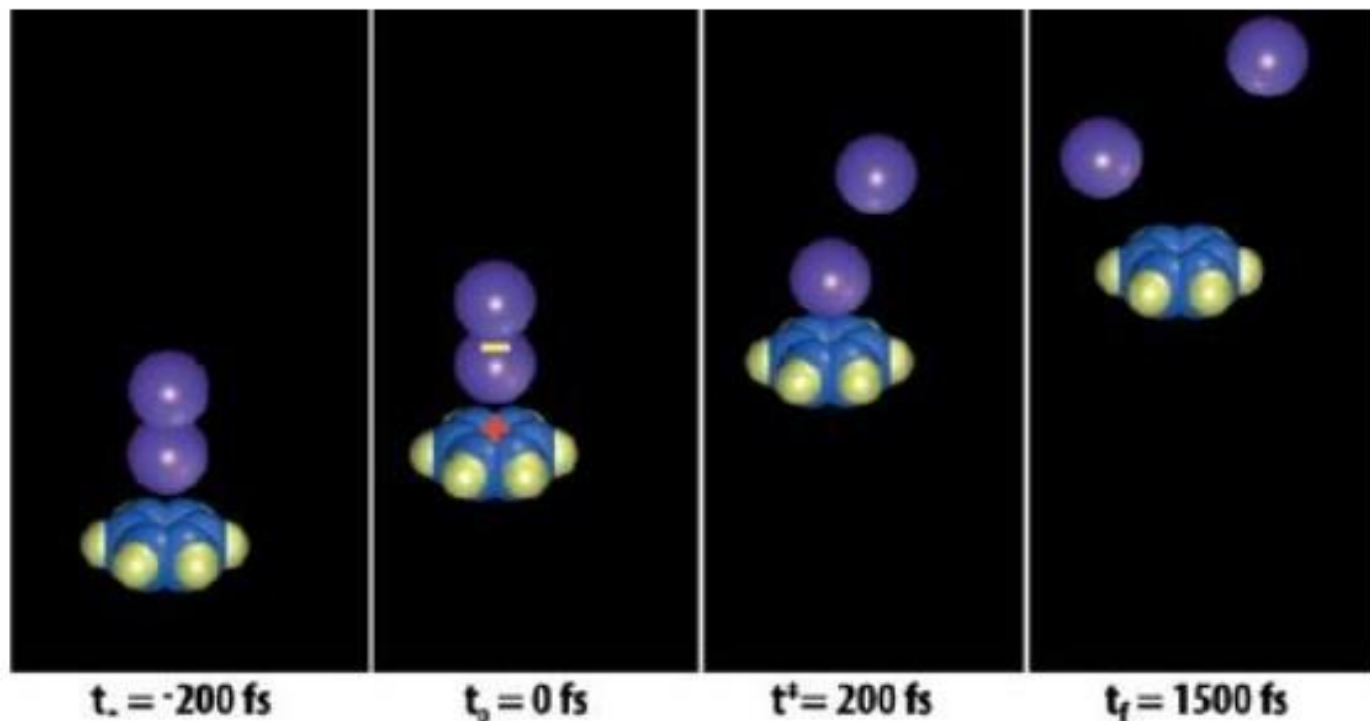
2. Free electron gains momentum in laser electric field



3. Electron can recombine with parent ion and emit a photon of higher energy

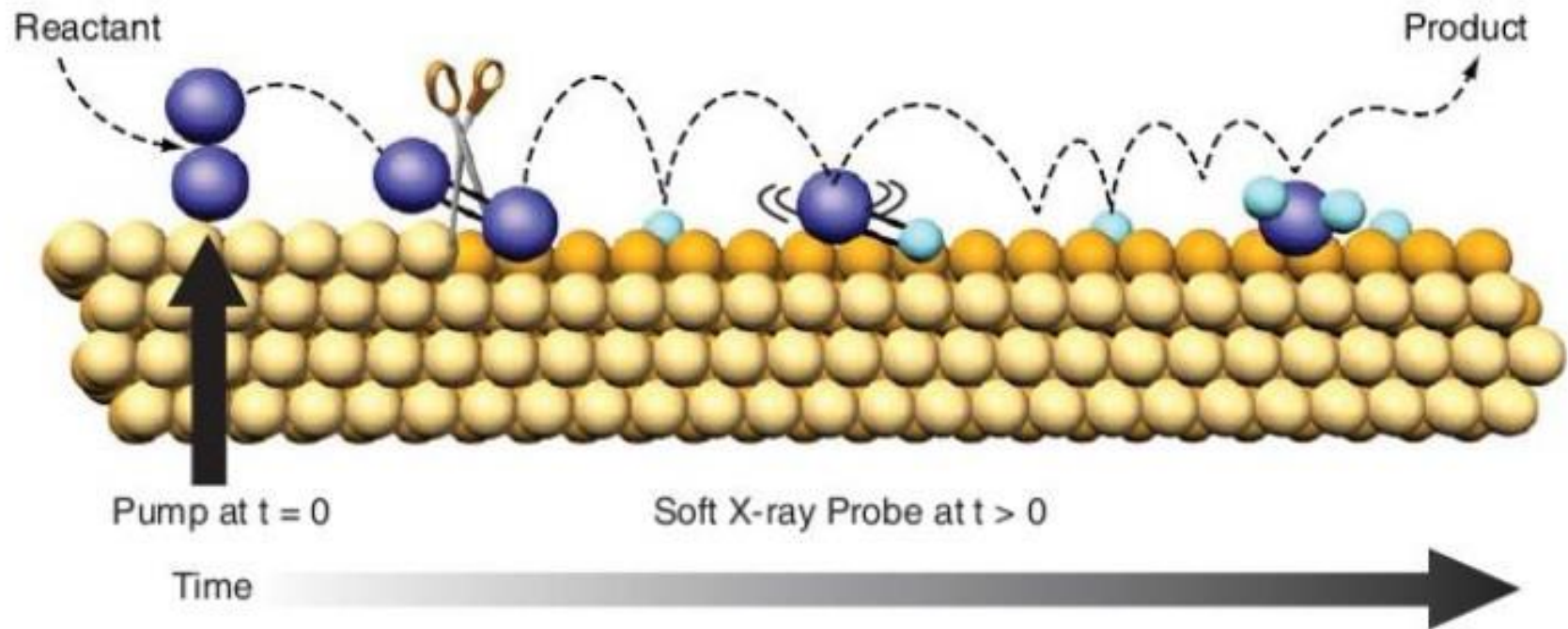


# Alkalmazási példák



A jódmolekula ( $\text{I}_2$ , felső) hasadása során egy elektron átadására kerül sor a gyűrűs molekulájú benzol ( $\text{C}_6\text{H}_6$ , alsó) felé. A femtoszekundumos lézerpulzusok segítségével pillanatképek készíthetők a molekuláris reakciókról azok lefolyása közben. (J.S. Baskin és A.H. Zewail: Freezing atoms in motion: Principles of Femtochemistry and demonstration by laser stroboscopy – Nobel Prize Report, J. Chem. Ed. 78, 737 [2001])





Egy katalitikus folyamatot valós időben lehet majd tanulmányozni. Egy ismert (bemenő) reaktáns adszorbeálódik a felületre (balra). A vegyület reakcióját nulla időpillanatban egy pumpaimpulzussal lehet elindítani. A folyamat reaktív lépések láncolatának tekinthető, beleértve ebbe jelenleg ismeretlen köztes termékek kialakulását igen gyors töltéstranszfer útján, amit próbaimpulzusokkal lehet vizsgálni ( $>0$  időpillanatokban, középen). Az ismert (kimenő) termék elhagyja a felületet (jobbra). (Scientific Needs for future X-ray sources in the US, LBNL SLAC white paper [2008]).

**Köszönöm a figyelmet**

