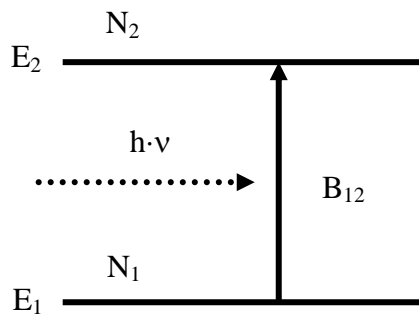


3. LÉZEREK

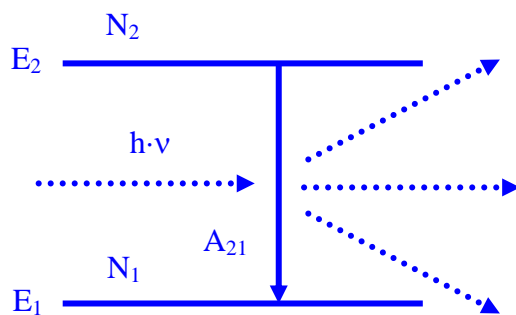
3.1. A lézerműködés fizikai alapjai

Abszorpció

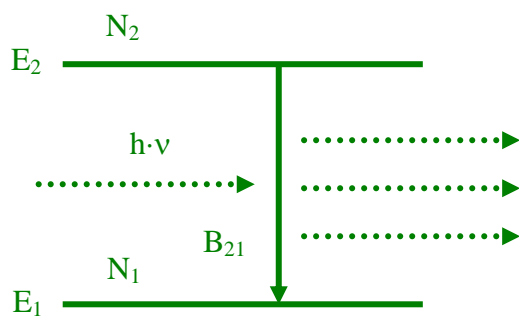


Emisszió

A) Spontán



B) Indukált (Einstein, 1917)



Termikus egyensúlyban:

$$\frac{N_2}{N_1} = e^{-\frac{E_2 - E_1}{kT}} \quad \text{Boltzman-eloszlás}$$

Pl.: He esetén $E_2 - E_1 \rightarrow 20 \text{ eV} = 3,2 \cdot 10^{-18} \text{ J}$

300 K-en:

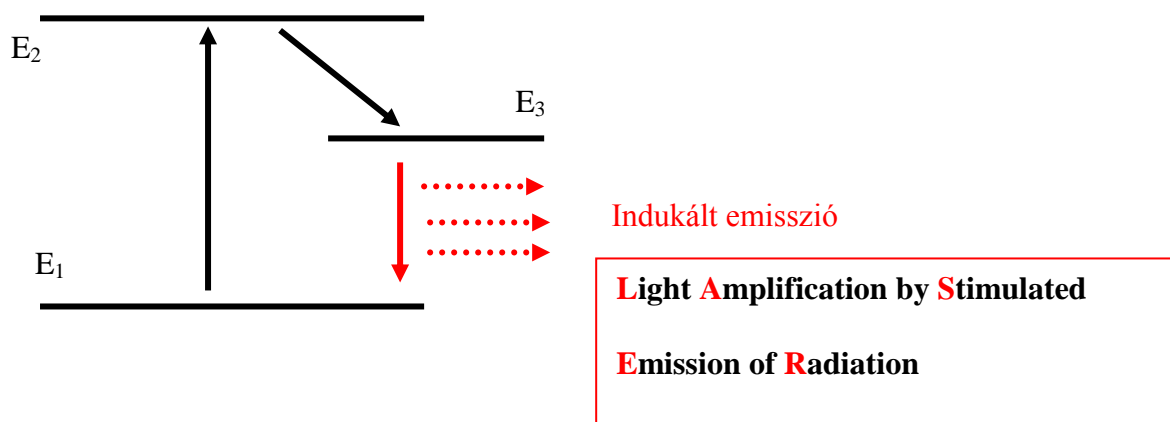
$$N_2 = N_1 \cdot e^{-\frac{3,2 \cdot 10^{-18}}{4,1 \cdot 10^{-21}}} \approx N_1 \cdot 10^{-339}$$

500 K-en:

$$N_2 = N_1 \cdot e^{-\frac{3,2 \cdot 10^{-18}}{6,9 \cdot 10^{-21}}} \approx N_1 \cdot 10^{-202}$$

A gerjesztési energiától való „megszabadulás” termikus fényforrások esetén: spontán emisszióval történik.

Populációinverzió kell!



Nobel díjak:

Townes, Bászov, Prokhorov, 1964

„for fundamental work in the field of quantum electronics, which has led to the construction of oscillators and amplifiers based on the maser-laser principle”

Shawlow, Bloembergen, 1981

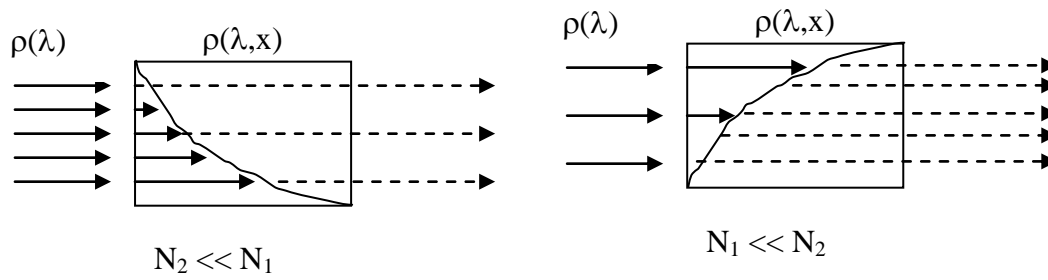
„for their contribution to the development of laser spectroscopy”

Első lézer: Maiman építette 1960-ban. Rubinlézer volt (Cr (Króm) ionokkal szennyezett Al_2O_3 kristály).

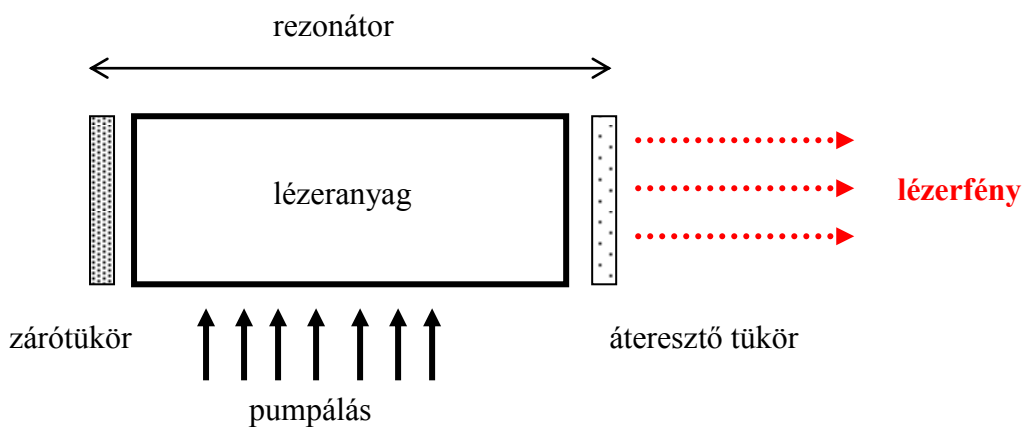
A Beer-Lambert törvény érvényes!!!

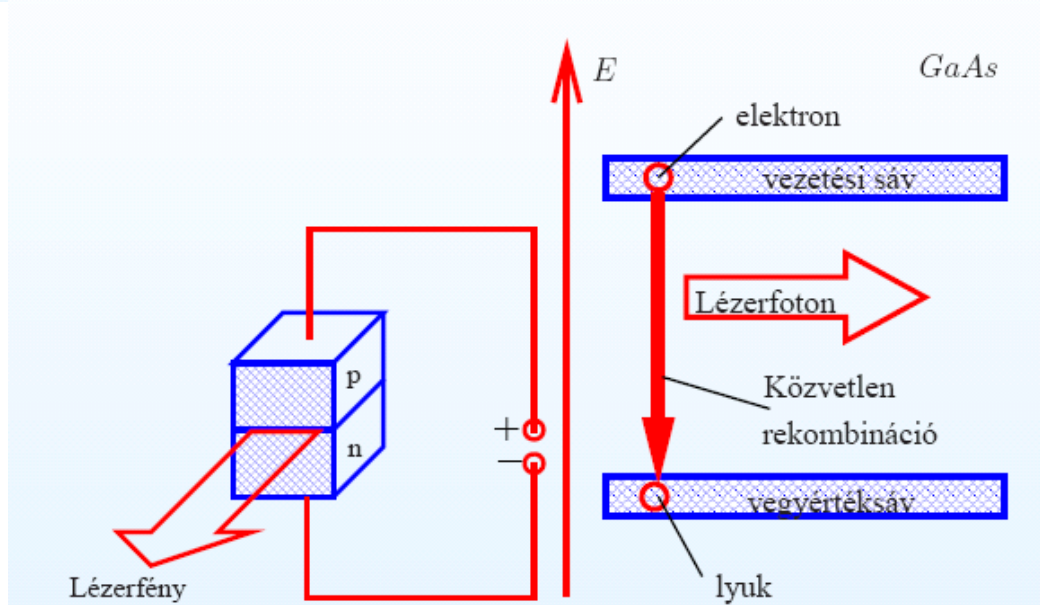
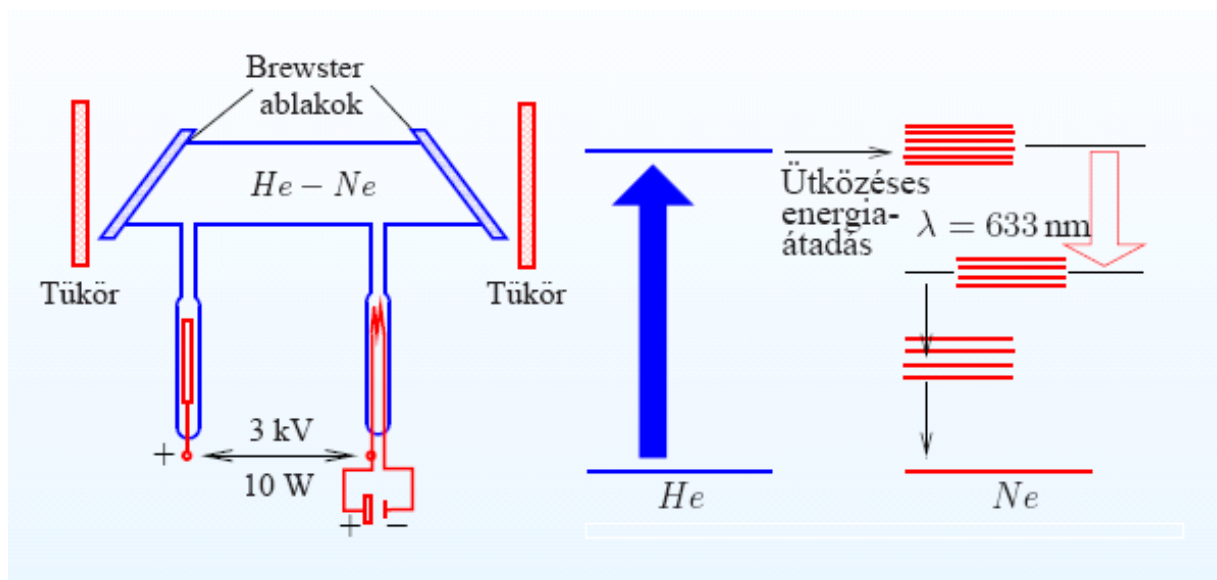
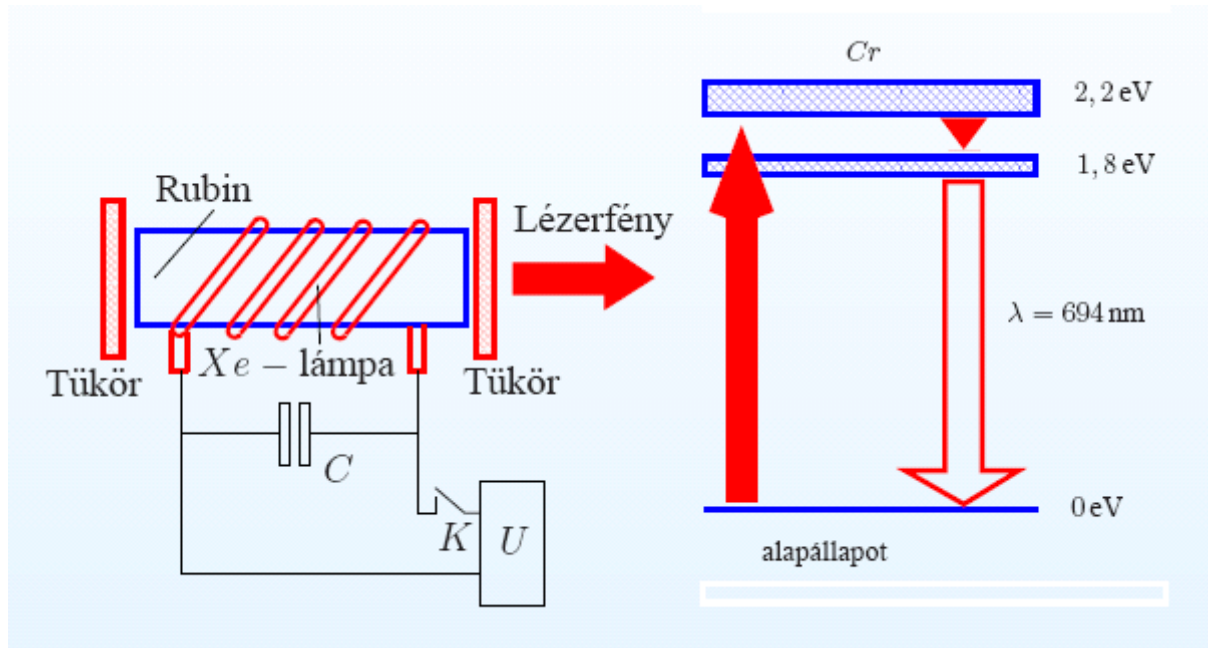
$$\Delta I = -(N_1 - N_2) \cdot \text{konst.} \cdot I \cdot \Delta x$$

$$\Delta I = -k(\lambda) \cdot I \cdot \Delta x$$



3.2. Lézerelrendezés





3.3. A lézersugárzás tulajdonságai

1) monokromatikus

2) koherens

- interferenciára képes
- térbeli – időbeli koherencia
- koherenciahossz: $l_n = \frac{c}{\Delta\nu}$

$$\text{a koherens hullámhosszak száma: } z = \frac{c}{\Delta\nu \cdot \lambda}$$

3) kis divergencia

4) nagy fényteljesítmény ($10^{10} - 10^{15}$ W is lehet)

5) rövid impulzusok (10^{-18} s (as) is lehet)

3.4. Lézertípusok

a) üzemmód szerint: - folyamatos
- impulzus

b) hangolhatóság szerint: - rögzített λ
- változtatható λ

c) lézertápanyag szerint: 1) gáz

- több ezer féle
- 100 nm – 1 mm
- Pl.: He-Ne: 633 nm
- CO₂: -nagy teljesítmény
- rezgési átmenetek gerjesztése → IR
- pl. sebészletben

2) szilárd anyag

- nagy teljesítmény (GW, TW is)
- rövid impulzusok is
- Pl.: rubin (Al₂O₃:Cr³⁺)
- YAG:Nd³⁺ (yttrium-aluminium-oxide-garnet)

3) festék

- más impulzuslézer hajtja
- széles hangolhatósága

| Lézertípus | | Hullámhossz (nm) | Teljesítmény (W) imp. folyt. | | Nyalábát -mérő | Alkalmazási terület |
|---------------------------------|----------------------|------------------|---------------------------------|-----------|-------------------|---|
| Szilárdtest | Rubin | 694 | 10^{10} (10 ns) | - | 250 μm | bőrgyógyászat szemészet sebészet |
| | Nd:YAG ^{/a} | 1064 | 10^6 (<20 ns) | 10^3 | 300 μm | gasztroenterológia |
| Gáz | He-Ne | 633 | - | 10^2 | 1 mm | beállítás |
| | Kripton | 647 (568) | - | 10 | 100 μm | szemészet |
| | Argon | 488 | 10^2 | 10 | 100 μm | szemészet gasztroenterológia |
| | CO ₂ | 515 | 10^{10} | 10^3 | 750 μm | nőgyógyászat |
| Festék | Kumarin | 400-500 | 10^6 (10 fs) | 1 | 200 μm | szemészet gasztroenterológia érsebészet |
| | Rodamin-6G | 560-610 | | | | |
| Félvezető | GaAs | 840 | - | 10^{-3} | | CD-lejátszók lézernyomatók kommunikáció száloptikával |
| | AlGaAs | 760 | - | 10^{-2} | | |
| | GaInAsP | 1300 | - | 10^{-2} | | |
| Kémiai és excimer ^{/b} | HF | 3000 | 10^6 (50 ns) | - | | lézerfegyverek kutatás medicina |
| | XeCl | 375 | 10^4 (10 ns) | - | | |

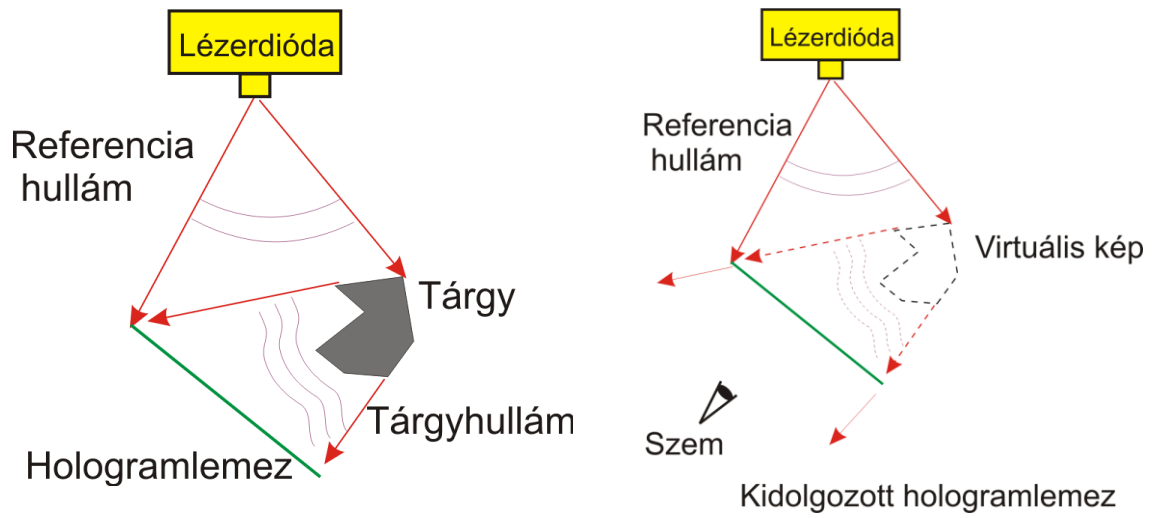
^{/a} Nd:YAG (neodymium-doped yttrium aluminium garnet; Nd:Y₃Al₅O₁₂)

^{/b} excited dimer

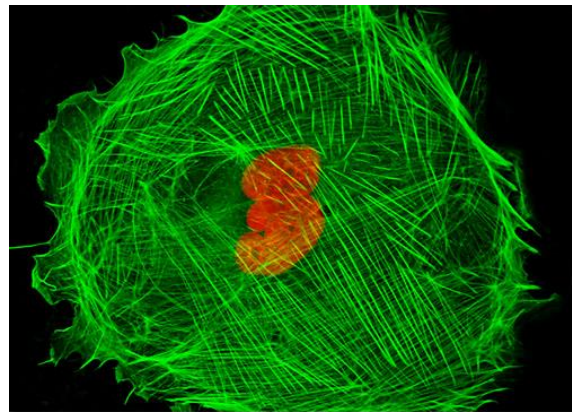
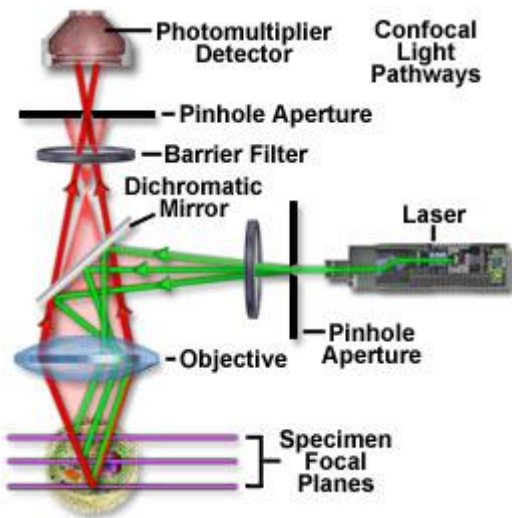
3.5. A lézerek alkalmazása

- holográfia
- orvosi alkalmazások
- optikai csipesz
- áramlási citometria és sejtszeparálás
- FRAP
- abbláció

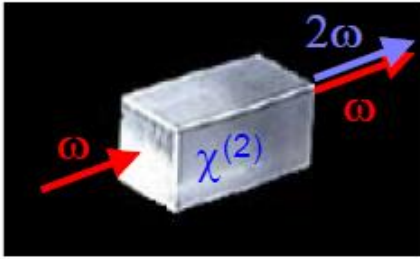
Holográfia (<http://fizipedia.bme.hu/images/3/37/Hologr%C3%A1fia.pdf>)



Konfokális mikroszkópia



Kétfon (többfoton) mikroszkópia



Több foton mikroszkópia

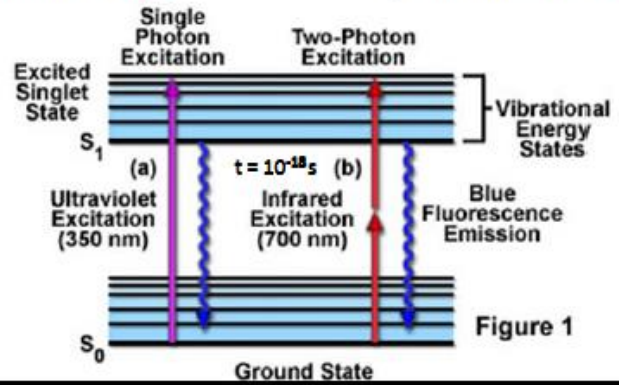
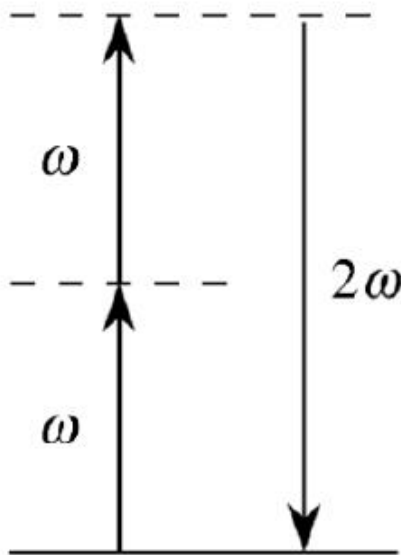
Alapelv: gerjesztés több fotonnal

„EGY FOTON” MIKROSKÓPIA

- gerjesztés: **1 foton**
- abszorpció: $t = 10^{-15} \text{ s}$
- $E = E_{\text{gerjesztett}} - E_{\text{alap}}$
- foton hullámhossza: λ

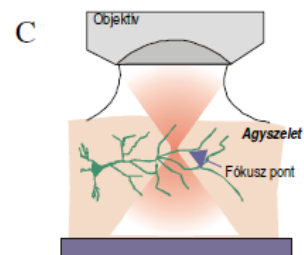
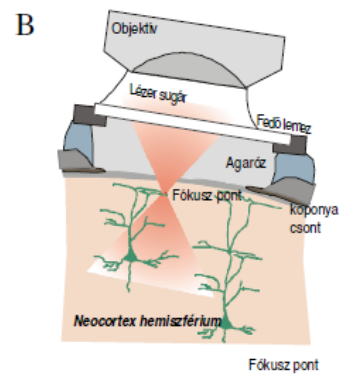
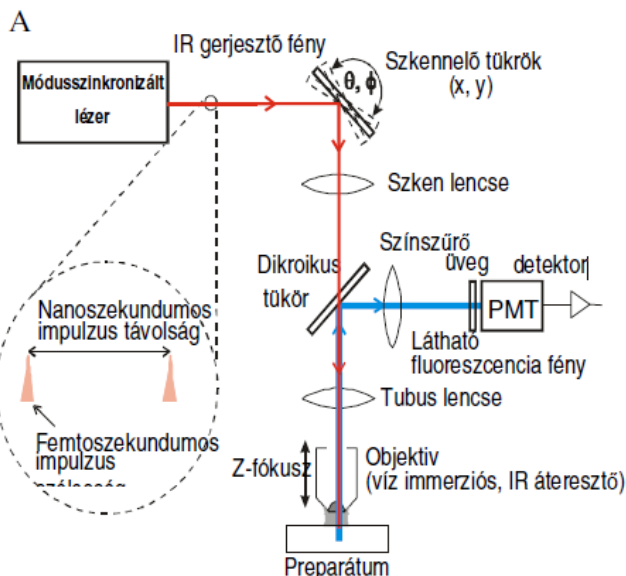
„KÉT FOTON” MIKROSKÓPIA

- gerjesztés: **2 foton**
- abszorpció: $t = 10^{-15} \text{ s}$
- $E = E_{\text{gerjesztett}} - E_{\text{alap}}$
- foton hullámhossza: 2λ



$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

Kétfoton mikroszkópia



Tulajdonságai:

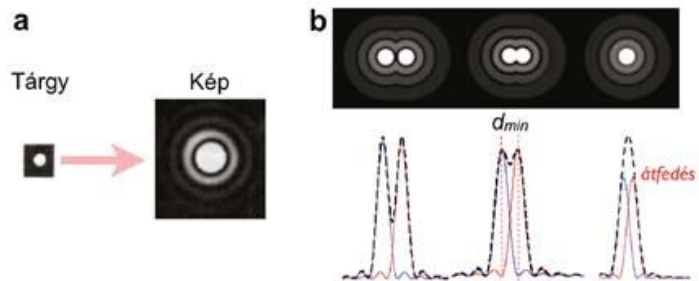
- penetráció (IR fotonok)
- gerjesztés csak a fókuszpontban
- szórt fotonok is detektálásra kerülnek
- hangolhatóság
- rendkívüli időbeli feoldás

Szuperrezolúciós mikroszkópia

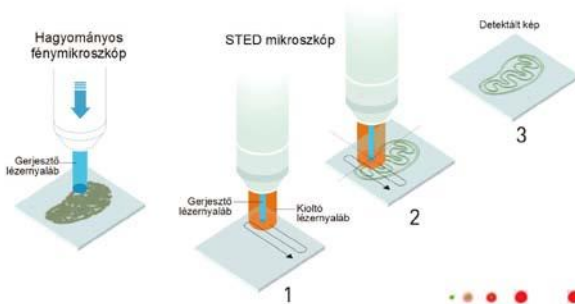
Eric Betzig, Stefan W. Hell William E. Moerner
A 2014. évi kémiai Nobel-díj

Hagyományos fénymikroszkóp: diffrakációs limit

$$d_{\min} = \frac{\lambda}{2n \sin \alpha}, \quad (1)$$

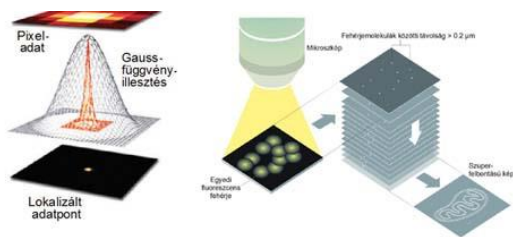
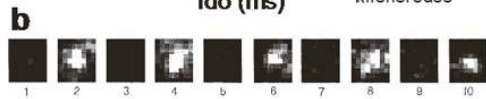
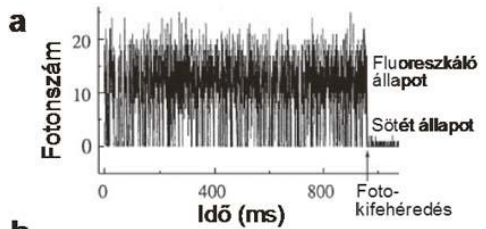


Determinisztikus szuperrezolúció: nagy energiák, nemlineáris optika



STED (Stimulated emission depletion): A kioltó (vörös) fény intenzitásának növelésével csökken a gerjesztési térfogat (zöld).

Sztocasztikus szuperrezolúció: fluoroforok fénykisugárzásának térbeli és időbeli eloszlása



PALM (Photo-activated localization microscopy) : Egyedi fluorofór-molekula pislogása, véletlenszerű ingadozása egy fluoreszkáló és egy sötét állapot között, állandó gerjesztő megvilágítás során.

STORM (stochastic optical reconstruction microscopy)

