

# A lézerek működési elve, típusai, orvosi alkalmazási területei

Haluszka Dóra

2023.10.25.

# Laser/lézer

light **a**mplification by **s**timulated **e**mission of **r**adiation

Fényerősítés a sugárzás indukált emissziója által



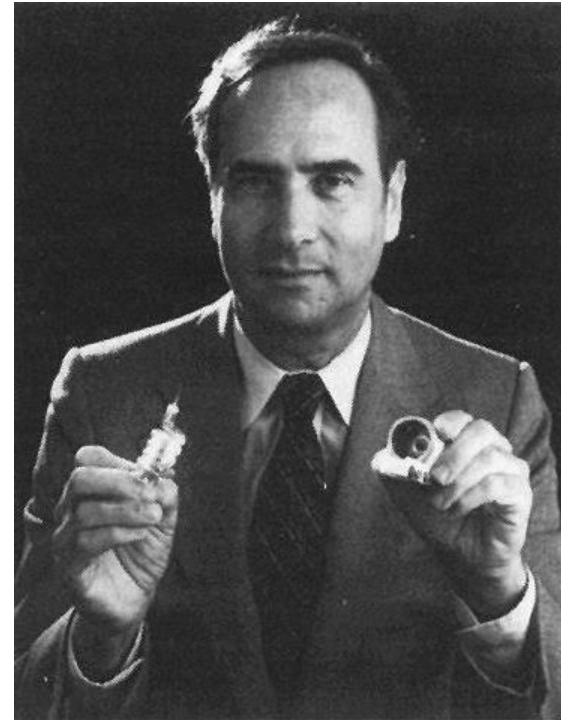
# Egy kis történelem...

**1917 - *Albert Einstein*:** az indukált emisszió elméleti predikciója

**1954 - *N.G. Basow, A.M. Prochorow, C. Townes*:** ammonia maser  
(m-mikrohullám)

**1960 - *Theodore Maiman*:** az első lézer  
(rubin lézer)

Lámpával megvilágított szintetikus rubin  
kristály → 694 nm lézer fény



## **Fizikai Nobel-díj 1964**

Lézerek és mézerek fejlesztése területén végzett úttörő munkásságukért



**Alexander Prokhorov**



**Charles H. Townes**



**Nicolay Basov**

## **Fizikai Nobel-díj 1971**

A holográfia kidolgozásáért



XI. kerület, Magyar tudósok körútja 2.



**Gábor Dénes**



**Steven Chu**



**William D. Phillips**



**Claude Cohen-Tannoudji**

**Fizikai Nobel-díj 1997**  
az atomok lézeres hűtésére és befogására  
kifejlesztett módszerért



**Zhores Ivanovich Alferov**



**Herbert Kroemer**

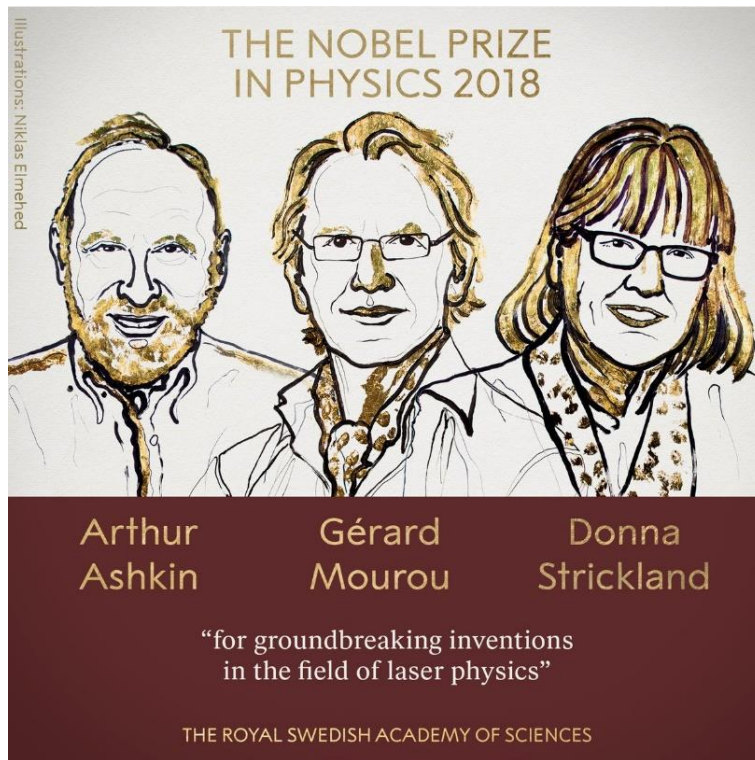
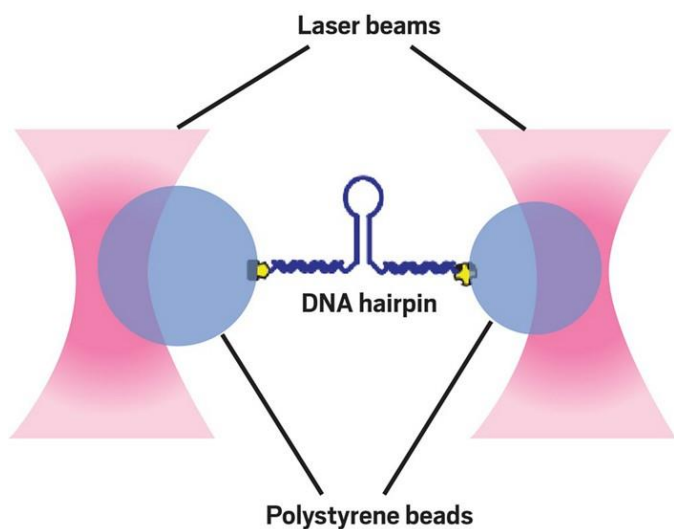
**Fizikai Nobel-díj 2000**  
A félvezető lézerdiodákért

## Fizikai Nobel-díj 2018

A díjat a mai lézertechnika kifejlesztését megalapozó fizikai alap kutatásokért osztották ki

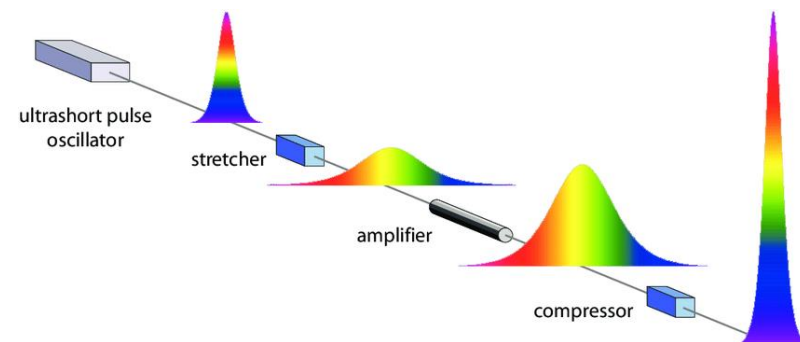
### Ashkin,

az optikai csipeszek létrehozásáért, illetve azok biológiai rendszerekben történő alkalmazásáért kapta meg az elismerést. Az optikai csipesz különlegessége, hogy lézerujjaival képes megragadni az apró részecskéket, például az atomokat.



### Mourou és Strickland

ezzel szemben a nagy intenzitású, ultra-rövid optikai impulzusok előállításáért ítelték oda a díjat. Az efféle lézereket nemcsak az iparban, de a gyógyászatban is fel tudják használni, segítségükkel ugyanis precízen lehet bevágásokat ejteni és lyukakat fúrni a különböző anyagokon.

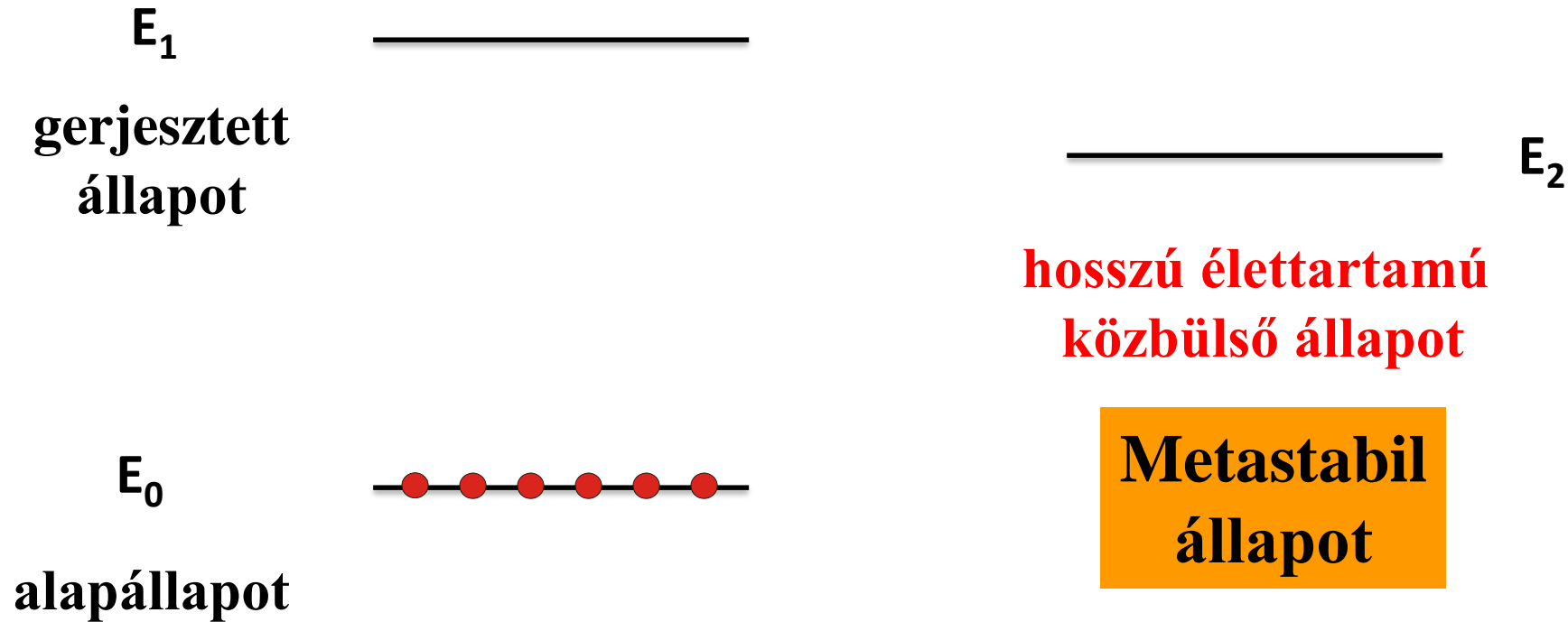


# A lézerfény előállításának feltételei és lépései



# Speciális elektron energia állapotok

## I. három energianívós rendszer

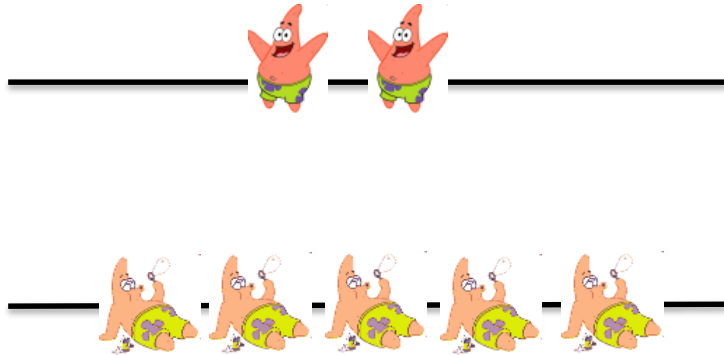


Lézeranyag: szennyezett kristály, két vagy több gáz keveréke, több energianívós festékmolekulák oldata



# Elektronállapotok betöltöttsége

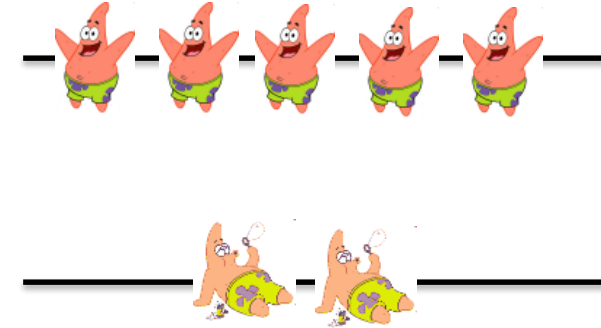
## II: Populáció inverzió



### *Termikus egyensúly*

Boltzmann eloszlás szerint:

$$n = n_0 e^{-\frac{\Delta\varepsilon}{kT}}$$

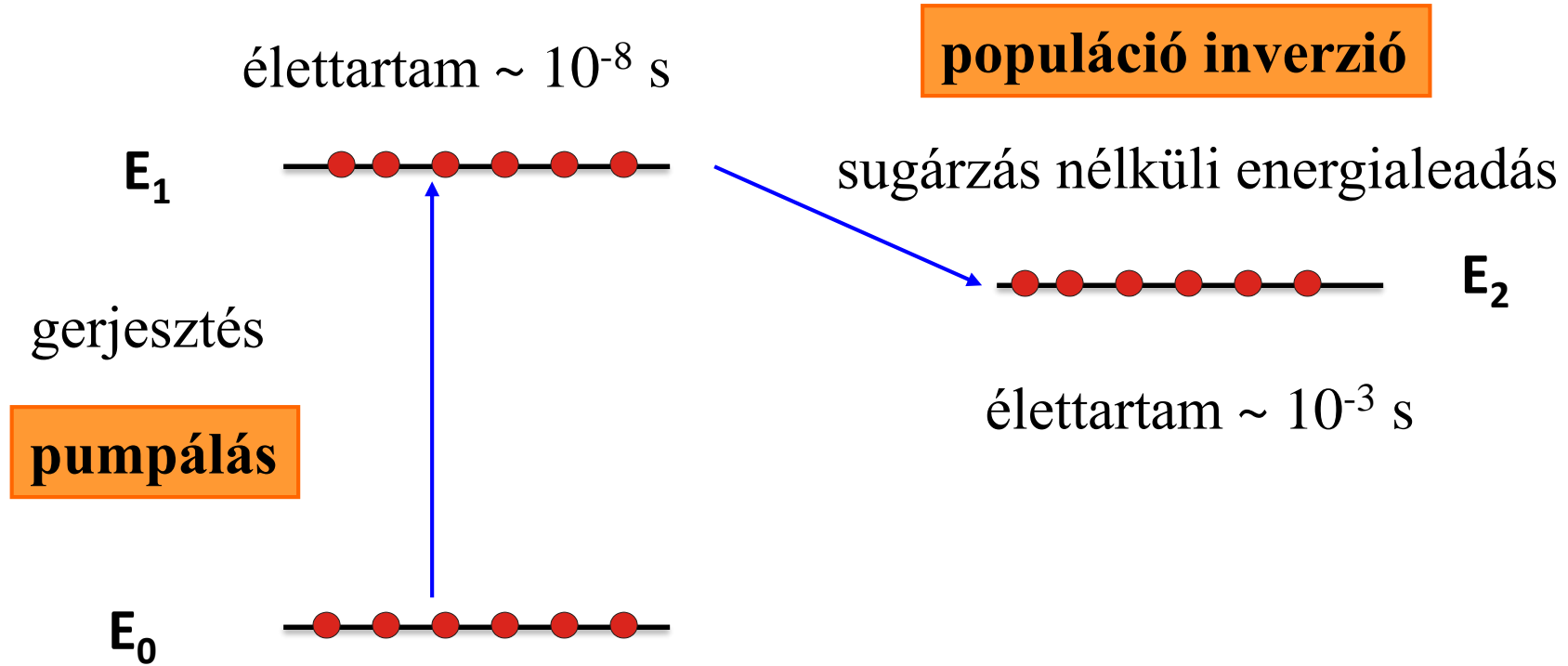


### *Populáció inverzió*

“fordított” betöltöttség

# Gerjesztés

## III: Optikai pumpálás



Optikai pumpálás = külső forrásból történő energia bevitel (elektromos, optikai, kémiai energia)

## Spontán emisszió

$E_1$  \_\_\_\_\_

$E_0$  \_\_\_\_\_●

●●●●●● \_\_\_\_\_

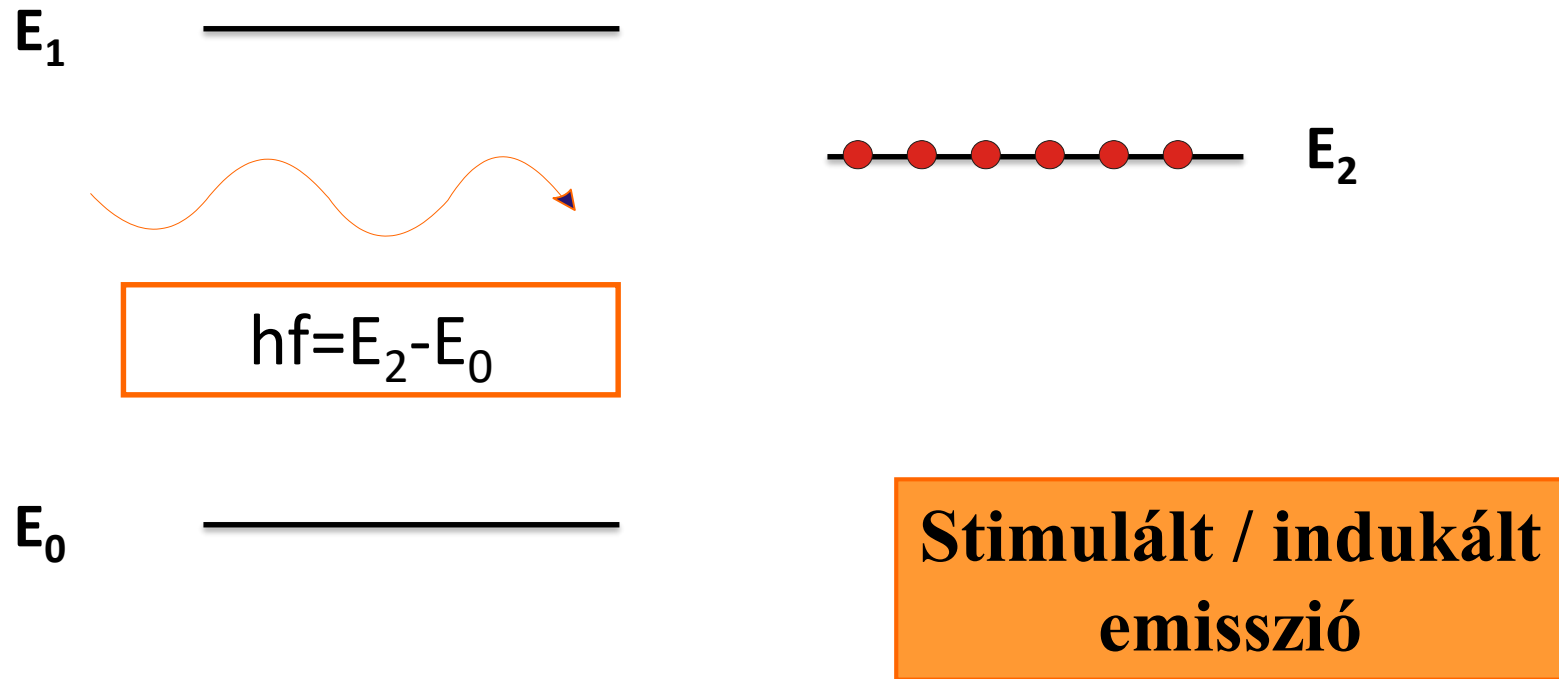
$E_2$



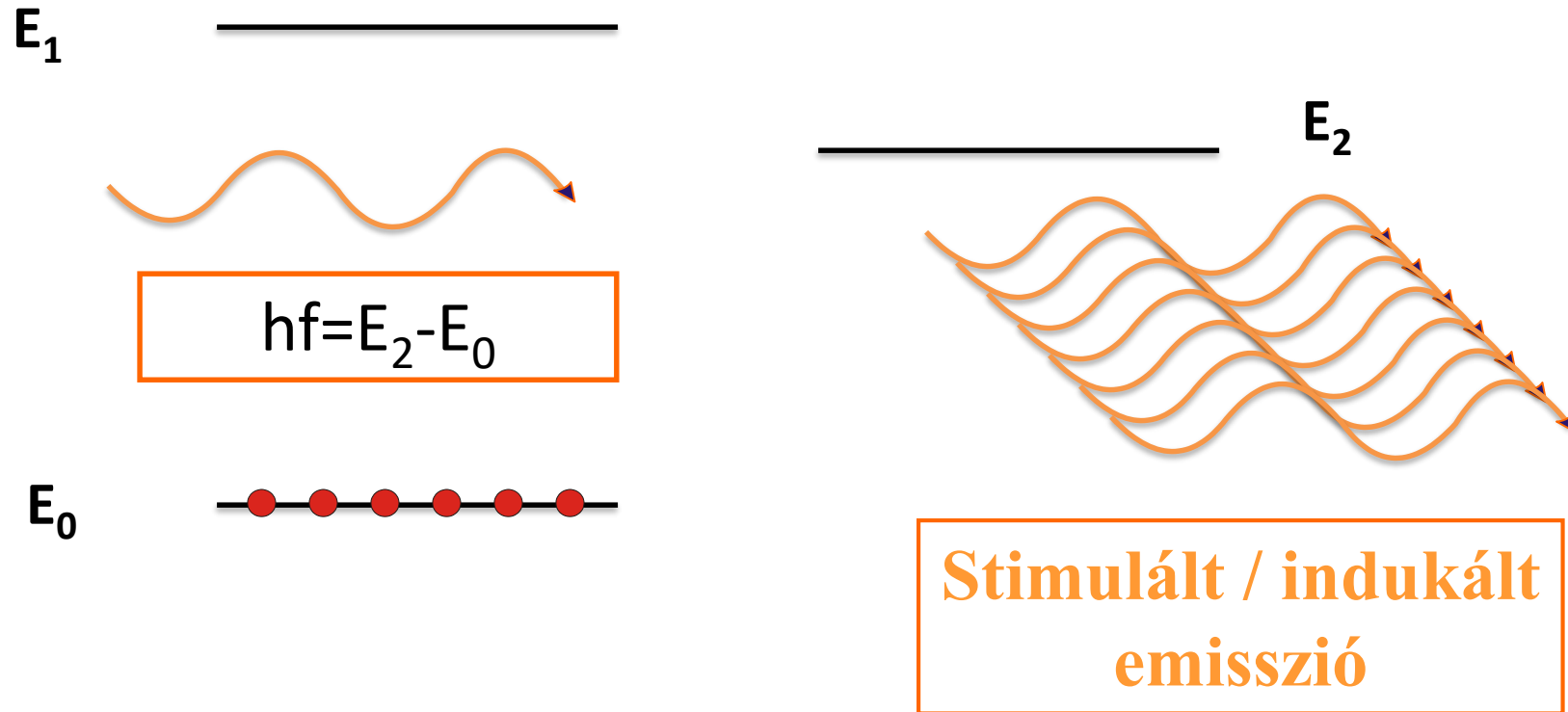
spontán  
fényemisszió

*kis valószínűséggel*

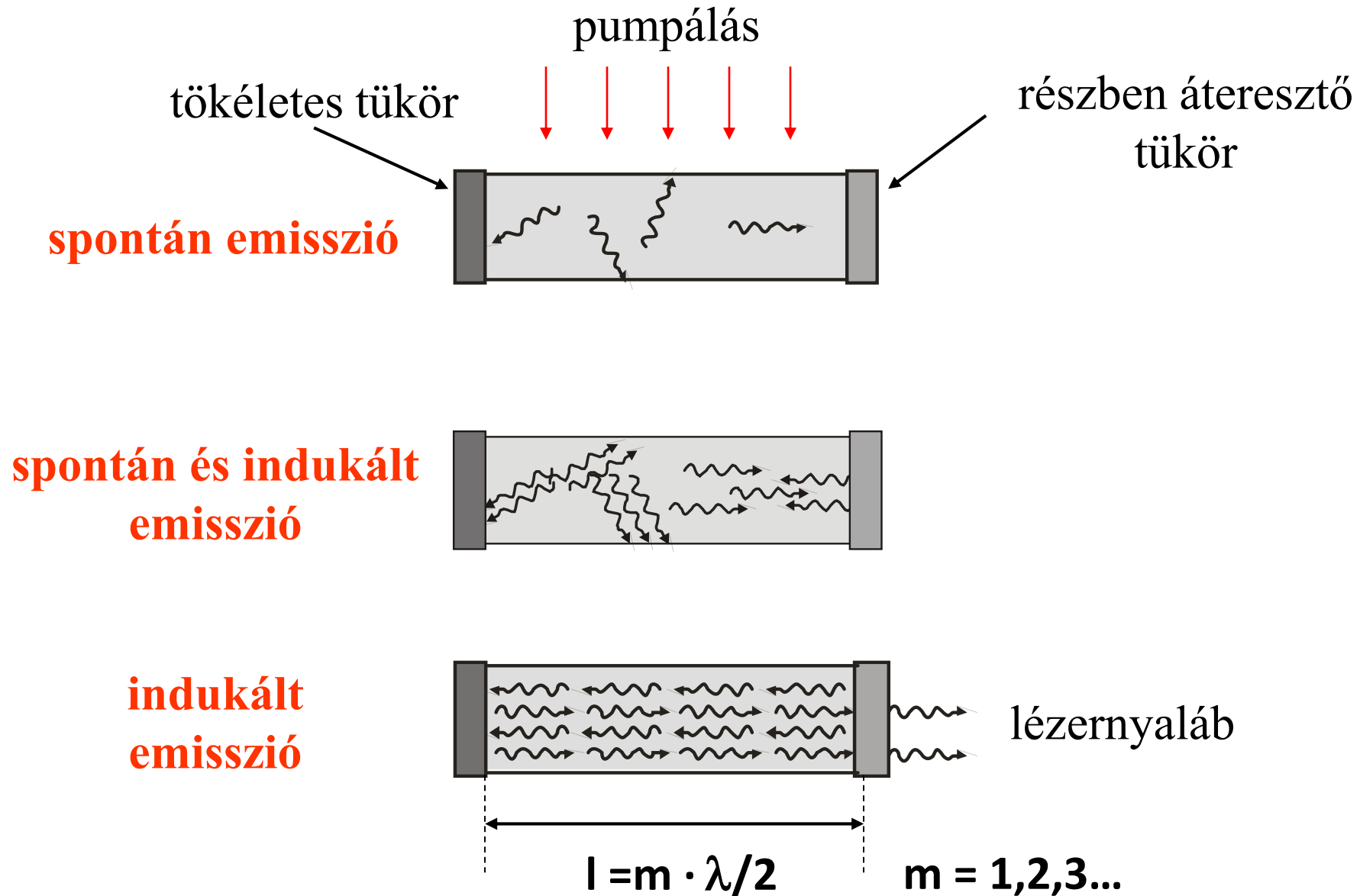
# A metastabil nívón lévő elektronok relaxációjának stimulálása



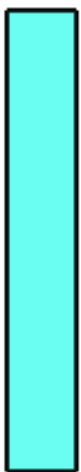
# A metastabil nívón lévő elektronok relaxációjának stimulálása



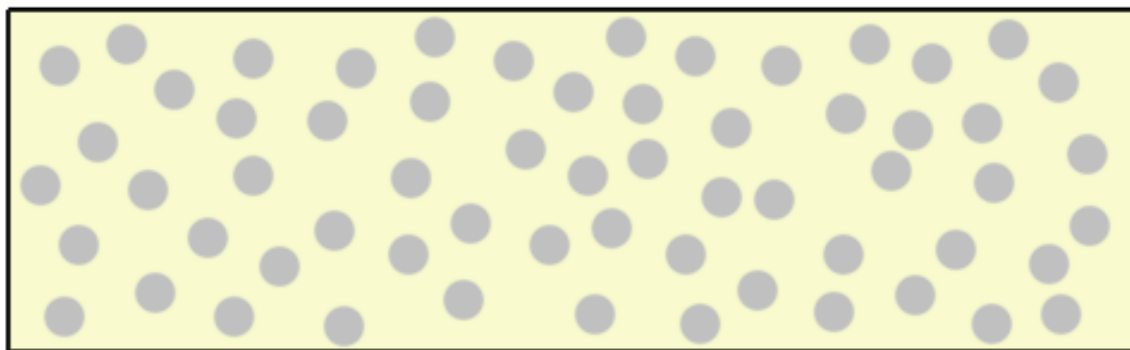
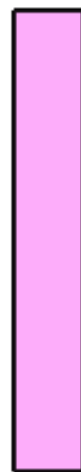
# Lézercső – optikai rezonátor



záró tükör

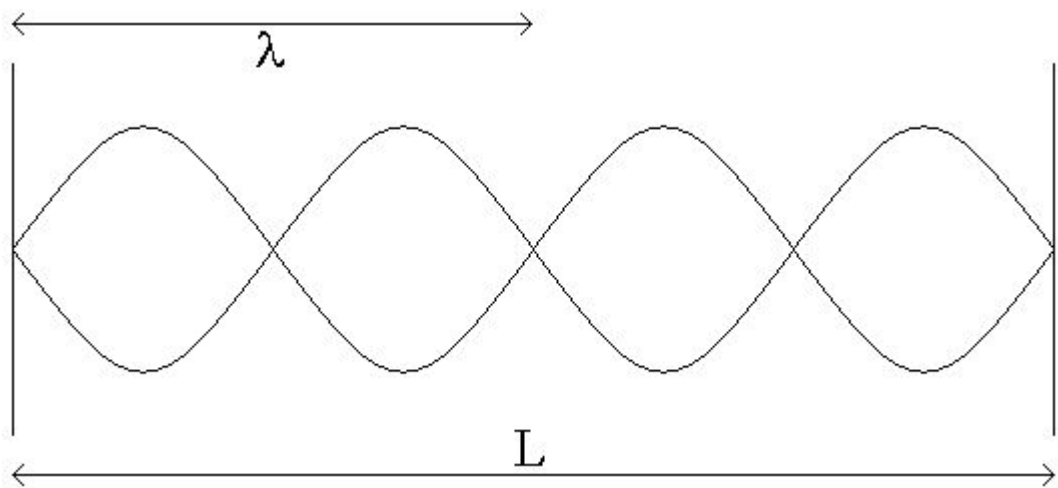


nyitó tükör



Alapállapotú lézerközeg

- alapállapot
- első energiaszint
- második energiaszint
- spontán emisszió
- indukált emisszió



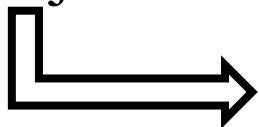
Állóhullám kialakulása a rezonátorban



# Lézerfény általános tulajdonságai

Az indukáló és az indukált emisszió révén keletkezett fotonoknak **azonos**:

- energiája
- fázisa
- rezgési síkja
- terjedési iránya



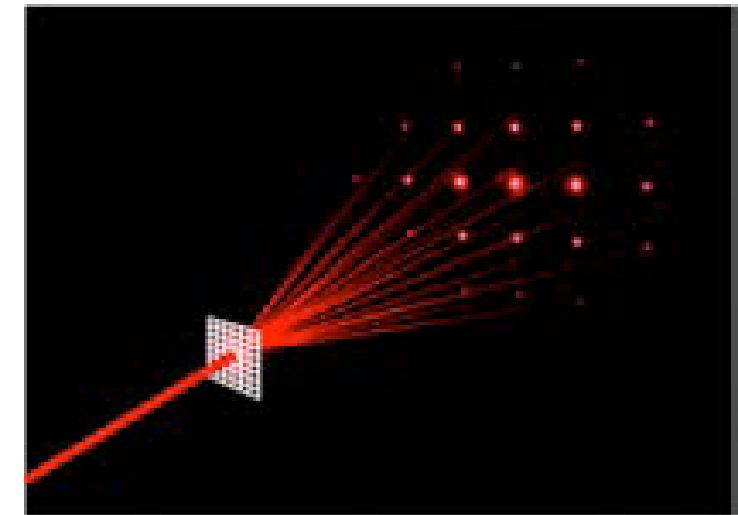
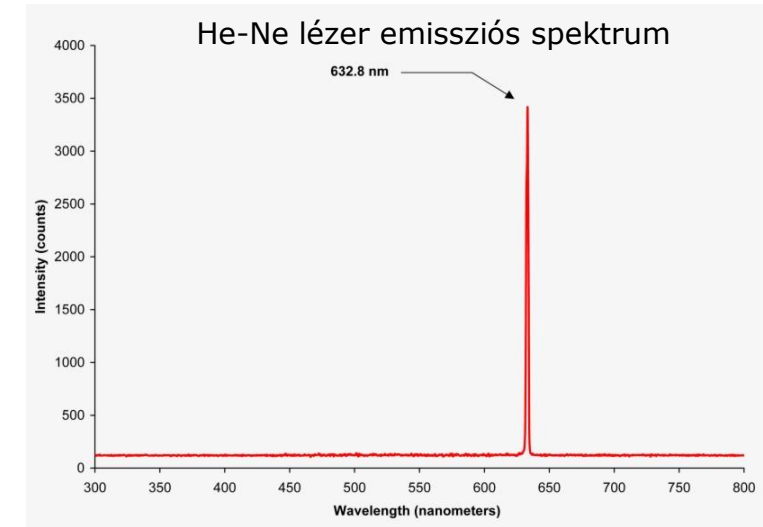
**Ezért az indukált emisszióval keletkezett fény:**



- Monokromatikus
- koherens
- poláros
- jól fókuszálható

## Az indukált emisszióval keletkezett fény

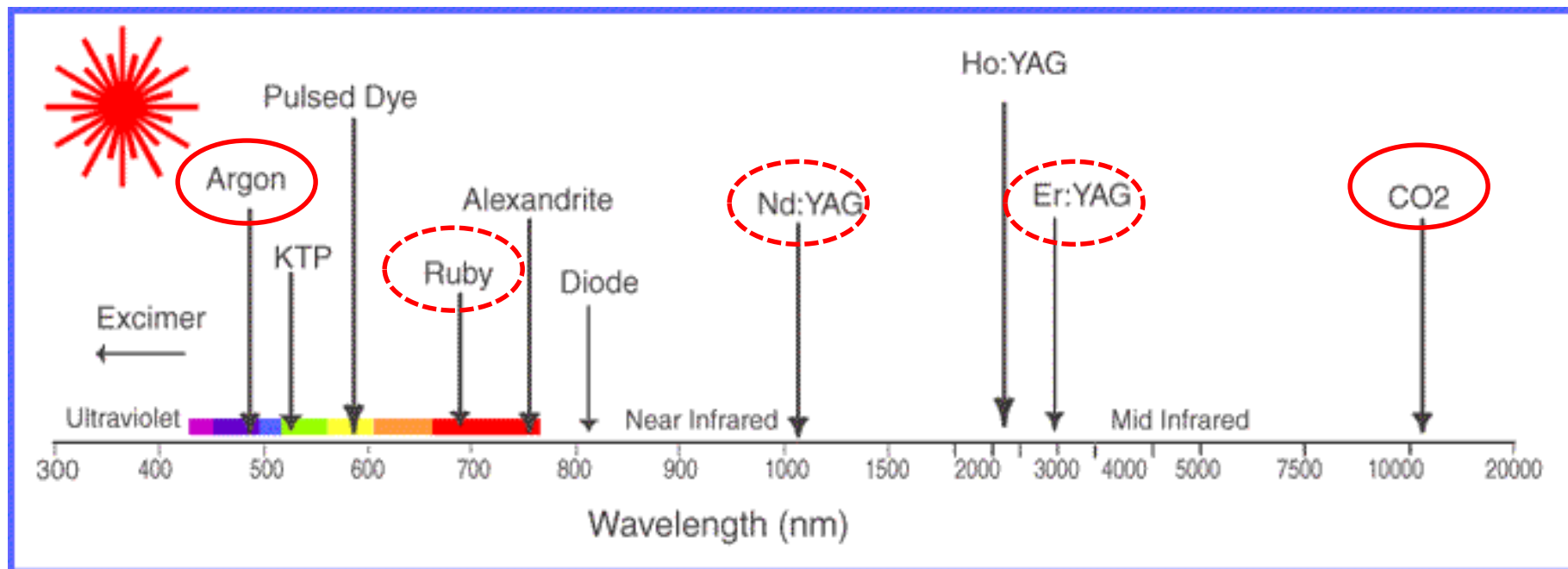
1. monokromatikus – keskeny spektrális sáv szélesség
2. koherens – interferenciaképesség  
időbeli koherencia: (különböző időpontokban emittált fotonok fázisazonossága)  
térbeli koherencia: (nyalábkeresztmetszet menti fázisazonosság)
3. Kis divergenciájú: kevésbé széttartó (közel párhuzamos)
4. Poláros
5. Rendkívül rövid impulzus idő: fs, ps, as
6. Nagy teljesítmény (kW-GW): nagy térbeli teljesítménysűrűség,  
pl.: Nd-YAG lézer impulzus energia 2 J, 20 ns, 10 Hz → kisugárzott  
átlagteljesítmény:  $2 \text{ J} / 0,1 \text{ s} = 20 \text{ W}$ , egy impulzus ideje alatti teljesítmény:  
 $2 \text{ J} / 20 \text{ ns} = 10^8 \text{ W}$
7. Impulzus és folyamatos üzemmód



Lézer fény interferencia mintázat

# Lézerek típusai – *anyaguk szerint*

1. Szilárdtest lézerek: fémionnal szennyezett kristályok (Rubin, Nd-YAG ittrium-aluminium-gránát, Ti-zafir)
2. Gázlézerek: He-Ne, CO<sub>2</sub>, Ar, Kr
3. Festéklézerek: szerves festékek híg oldata (rodamin, kumarin)
4. Félvezető (dióda) lézerek: p és n-típusú félvezetők kombinációja

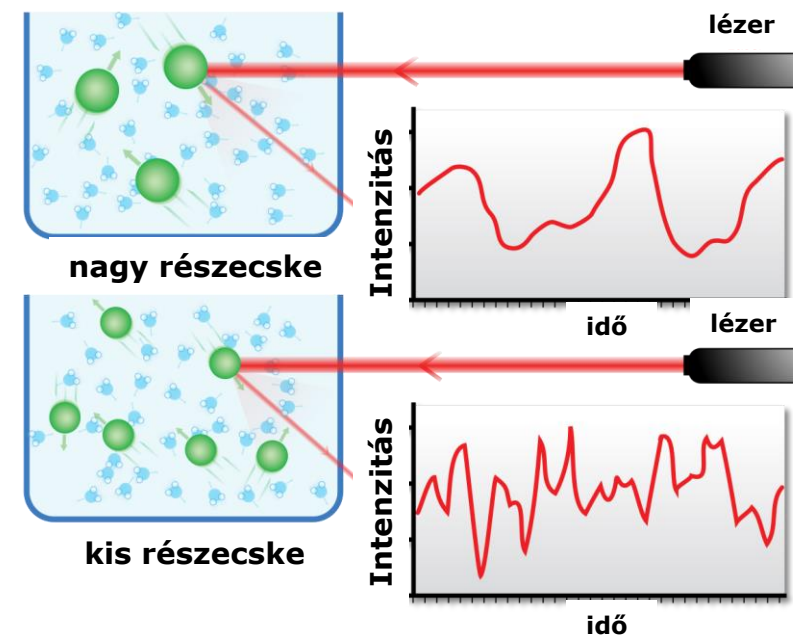
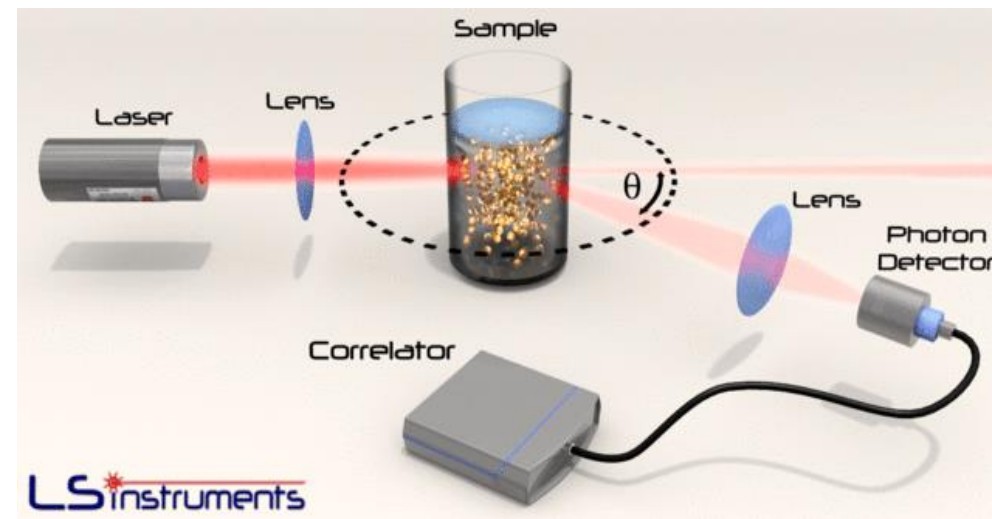


# Lézerek alkalmazási lehetőségei – laboratóriumi technikák

## Dinamikus fényszórás (DLS)

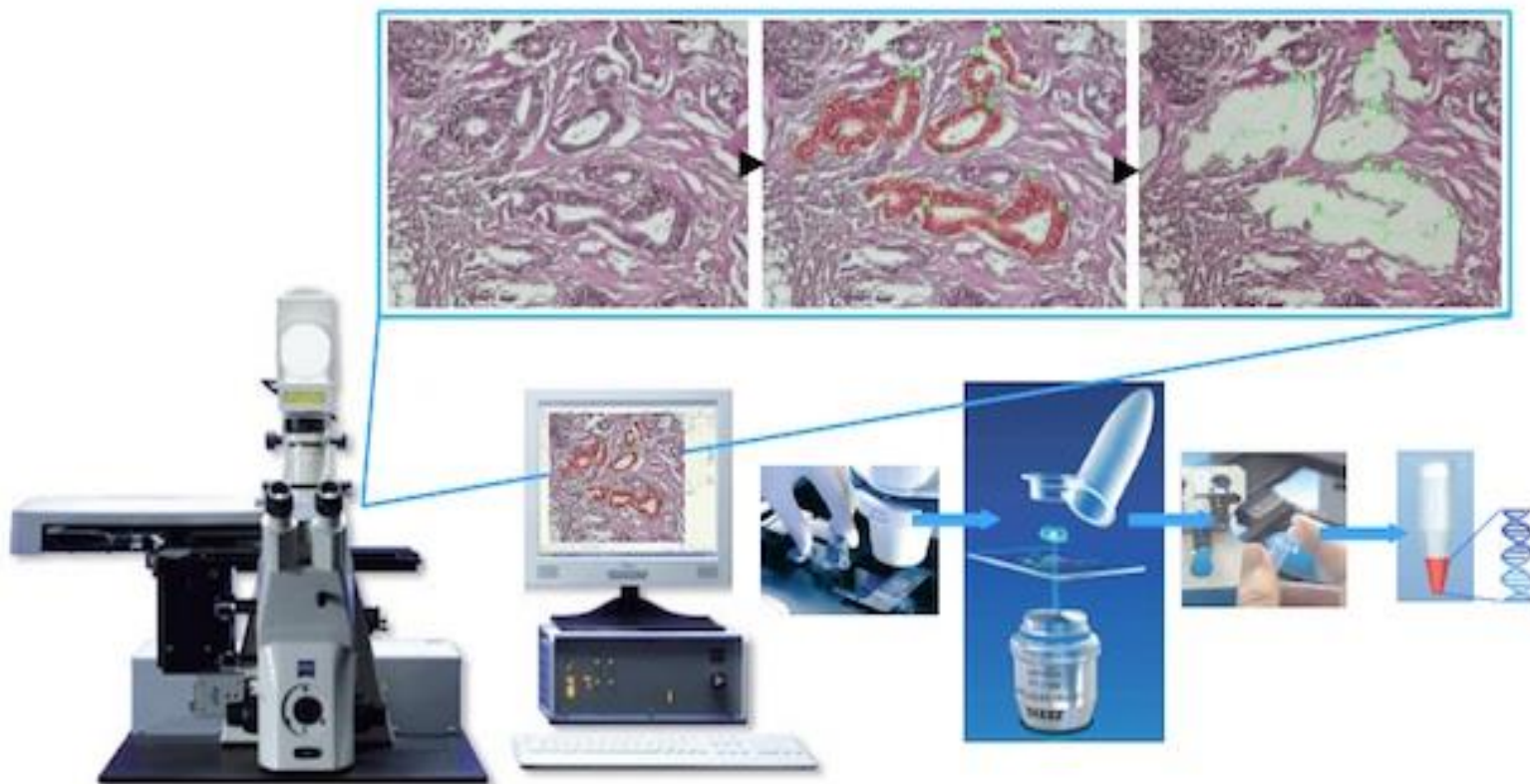
- nm-es nagyságú diffundáló részecskék
- a szuszpenzióban lévő részecskék a megvilágító fényt szórják
- emiatt annak minden időpillanatban véletlenszerűen változik az intenzitása
- ez összefüggésben van a részecskék méretével
- diffúziós állandó meghatározható
- részecske hidrodinamikai sugara kiszámolható
- vírusok, vezikulák, nanorészecskék, liposzómák

$$D = \frac{k_B T}{6\pi\eta r}$$

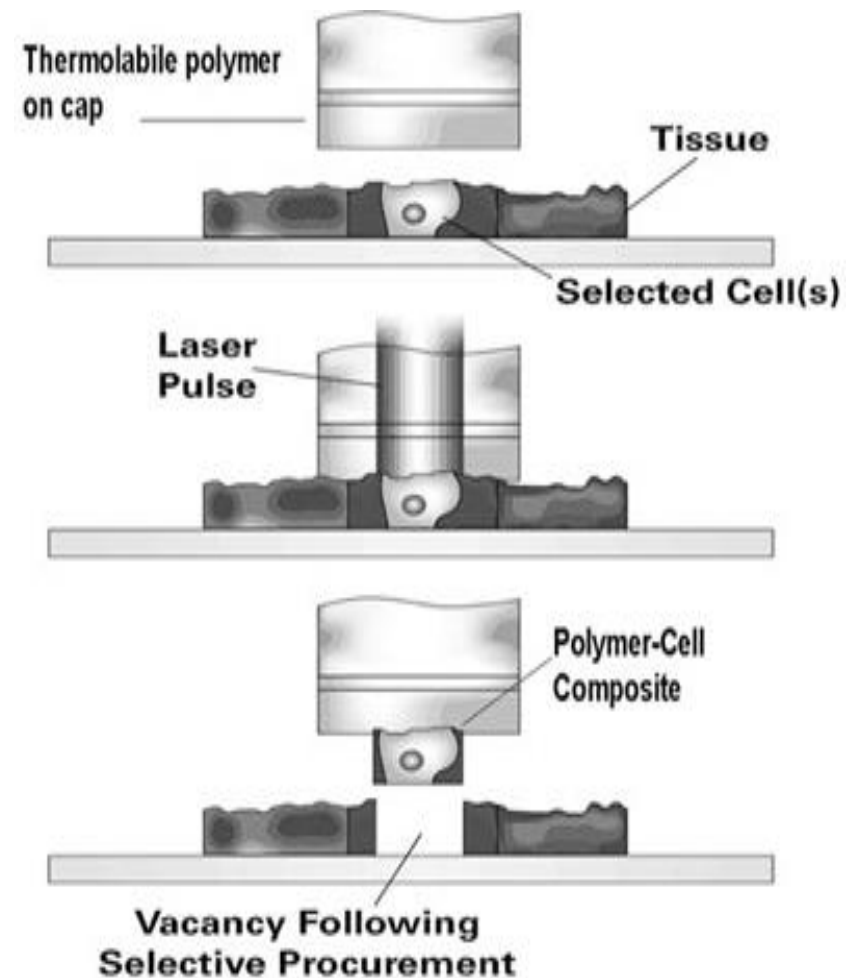


# Laser capture microdissection (LCM)

## lézer katapult mikrodisszekció



Lokális genetika/proteomika: KRAS mutáció, vastagbél daganat legfontosabb diagnosztikus markere, kizárólag a rákos sejtekből származó DNS vizsgálható, egészséges sejtekkel keveredve – álnegatív eredmény, szenzitivitás/szelektivitás javítása

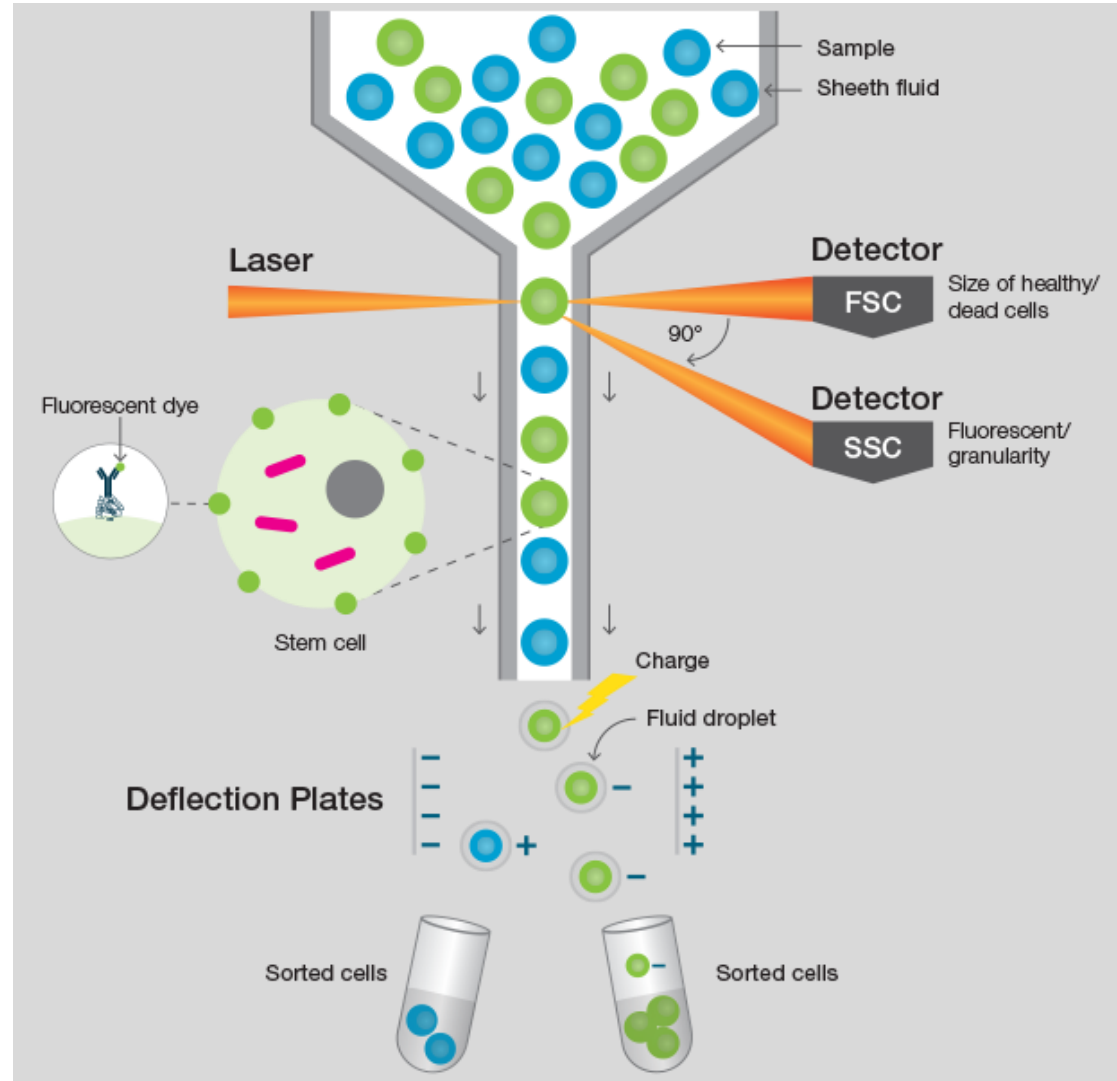


UV lézer – vágás  
IR lézer – melegítés

# FACS (Fluorescence activated cell sorter)

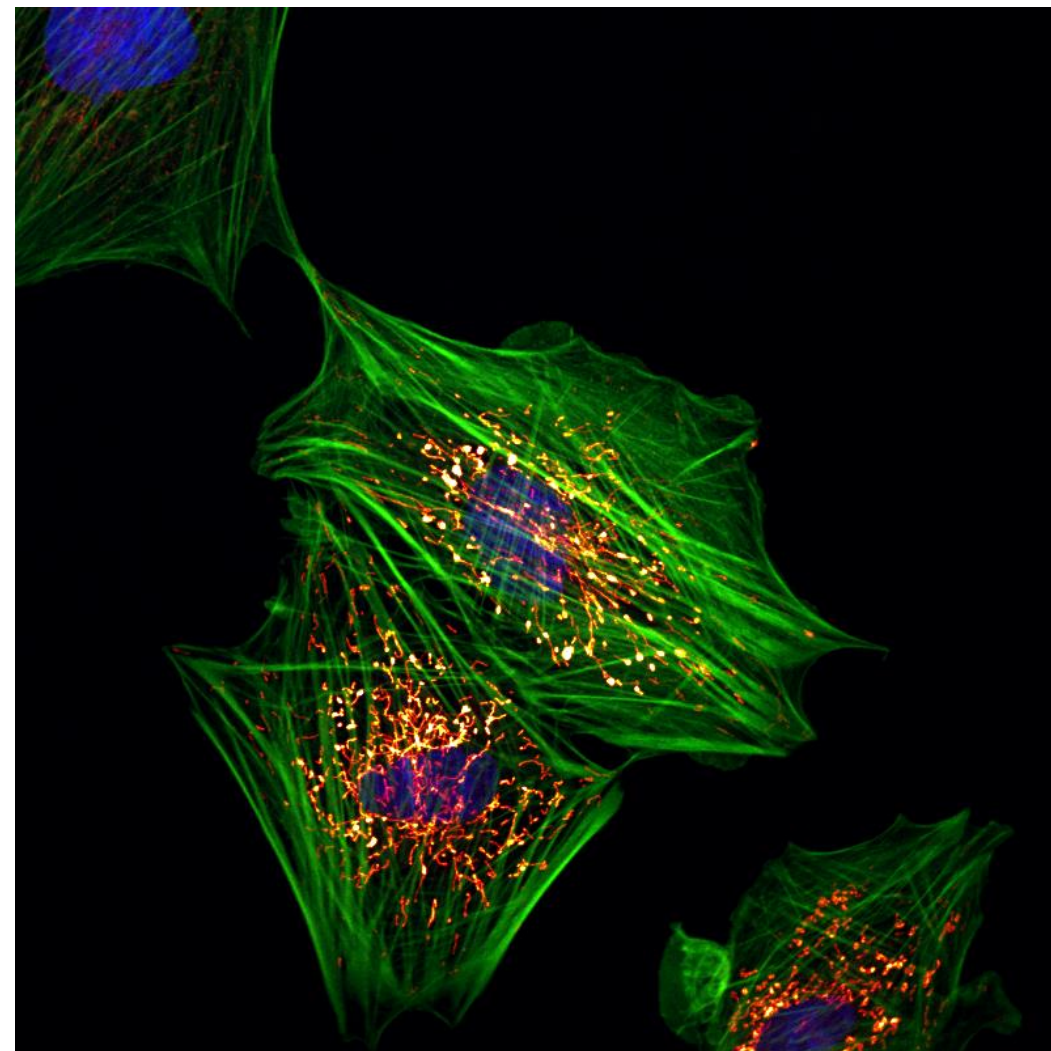
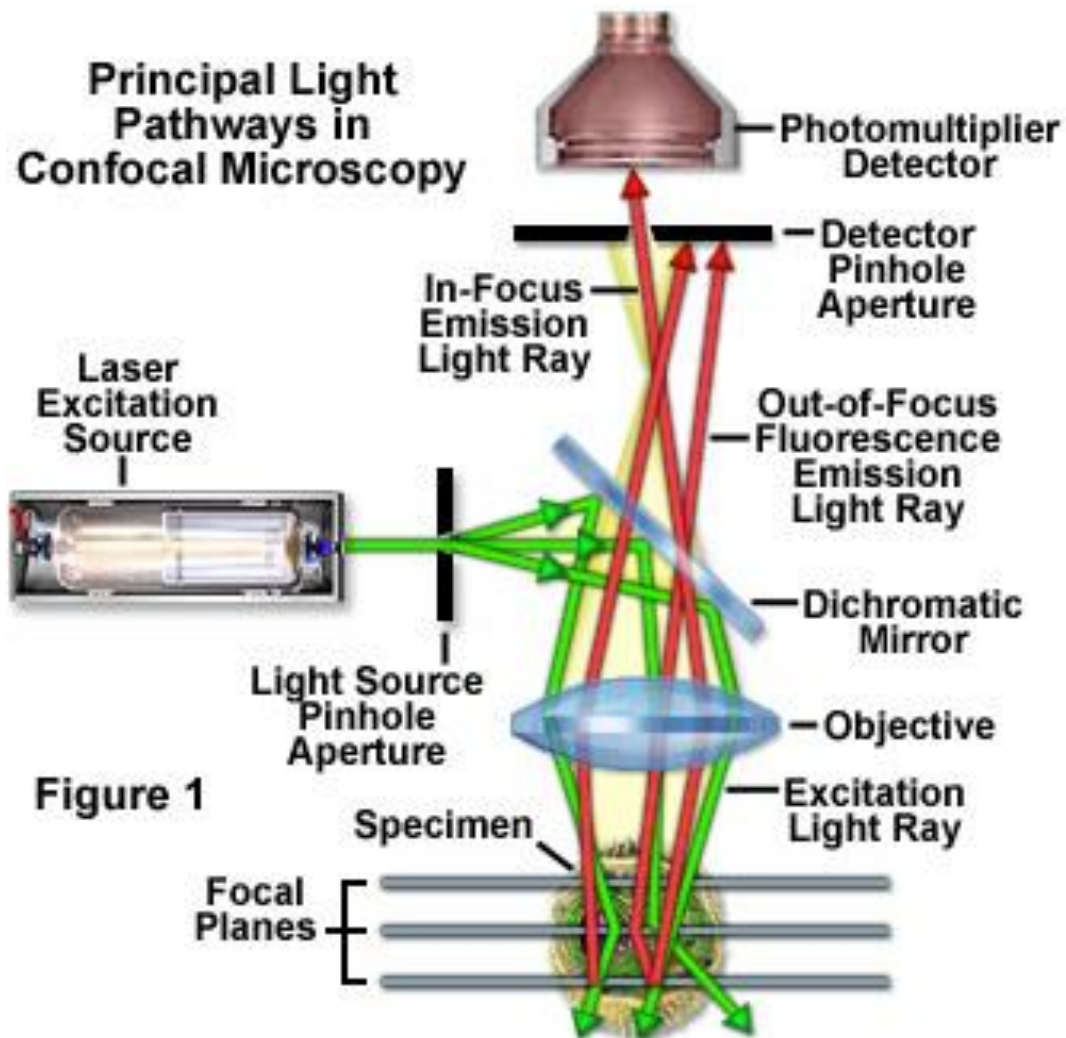
## Fluoreszcencia aktivált sejtválogatás

- élő sejtek számlálására, válogatására és izolálására szolgáló módszer
- sejtek jelölése fluoreszcens ellenanyaggal
- hidrodinamikai fókuszálás = sorba rendezzük a sejteket, egy lamináris áramlásban
- egyenként elvezetik egy optikai érzékelőrendszer előtt
- keletkezett lumineszcens jelet hullámhossza szerint lehet válogatni
- immunológia, citológia





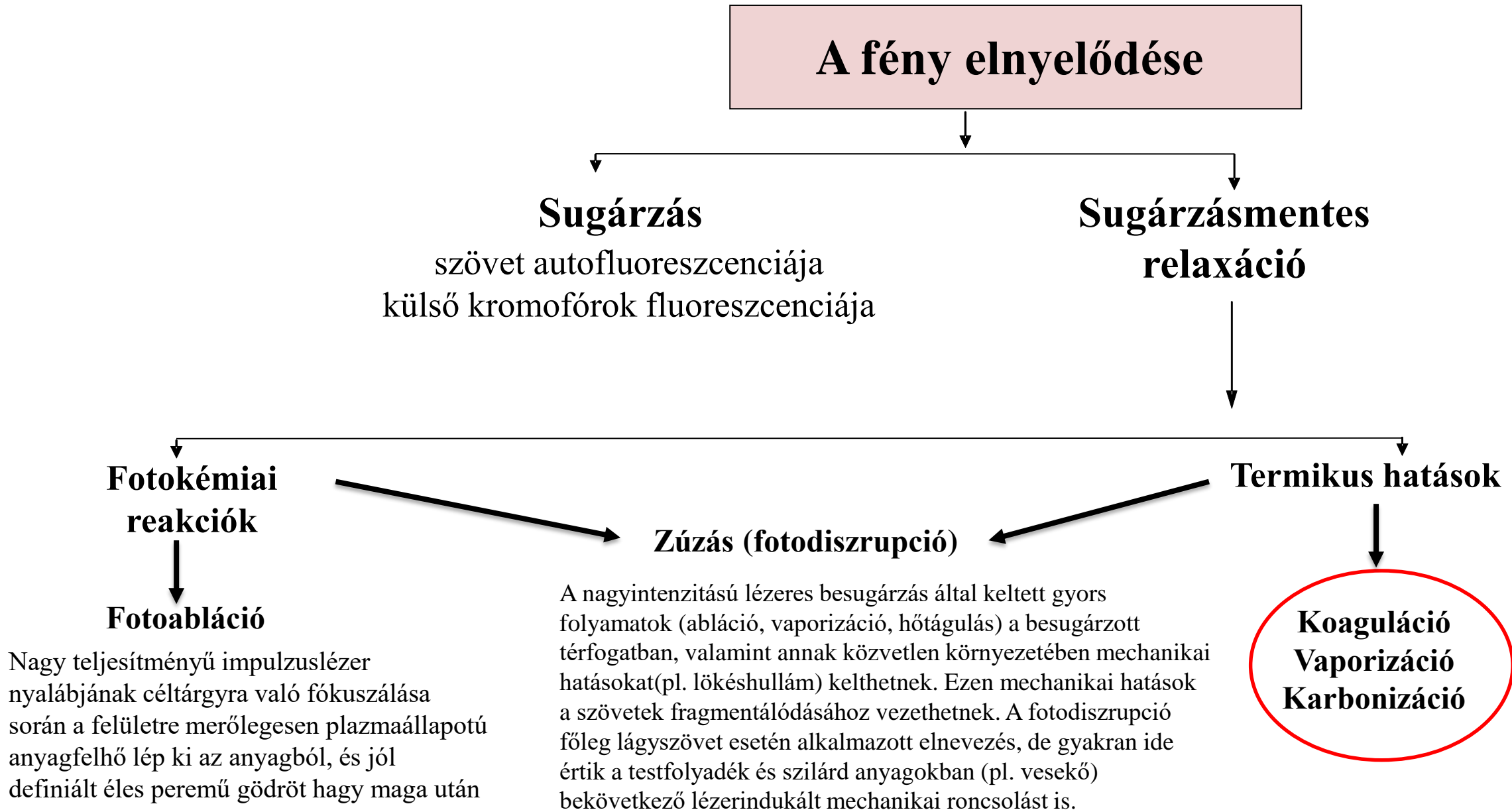
# Lézer pásztózó konfokális mikroszkópia



Fibroblaszt sejtek fluoreszcens jelölése: kék – sejtmag, zöld – mikrotubulusok, piros - mitokondrium



# Lézerek orvosi alkalmazási lehetőségei – egy kis elmélet...

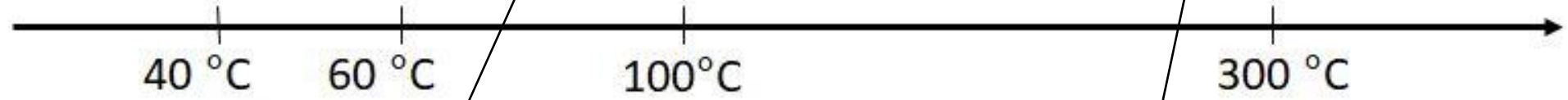


# Termikus hatások

*lézertermia,  
biostimuláció*

*koaguláció*

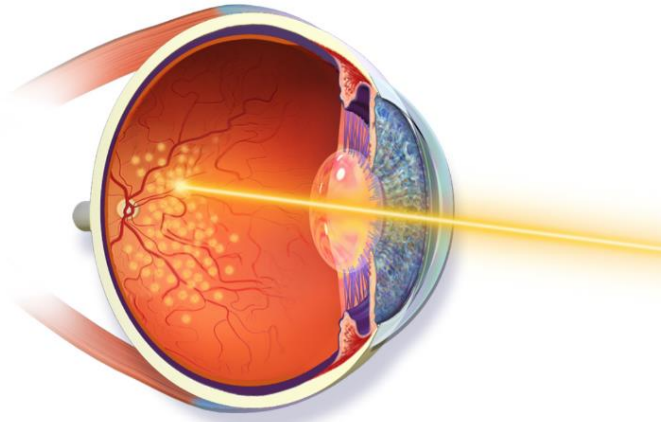
*vaporizáció  
karbonizáció*



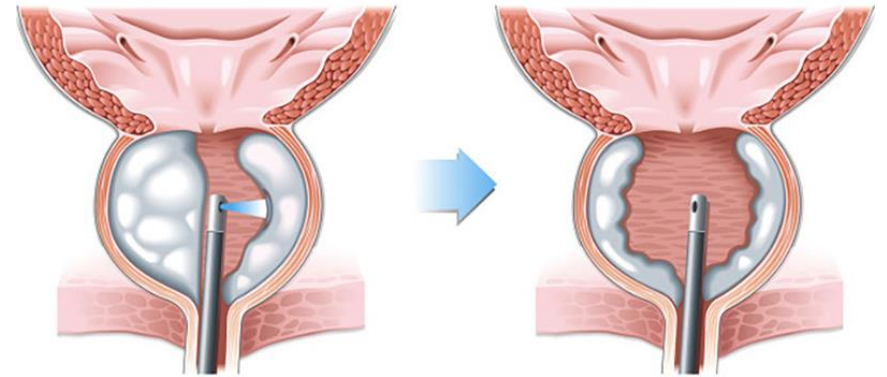
Ortopédiai alkalmazás



Szájüregi herpesz

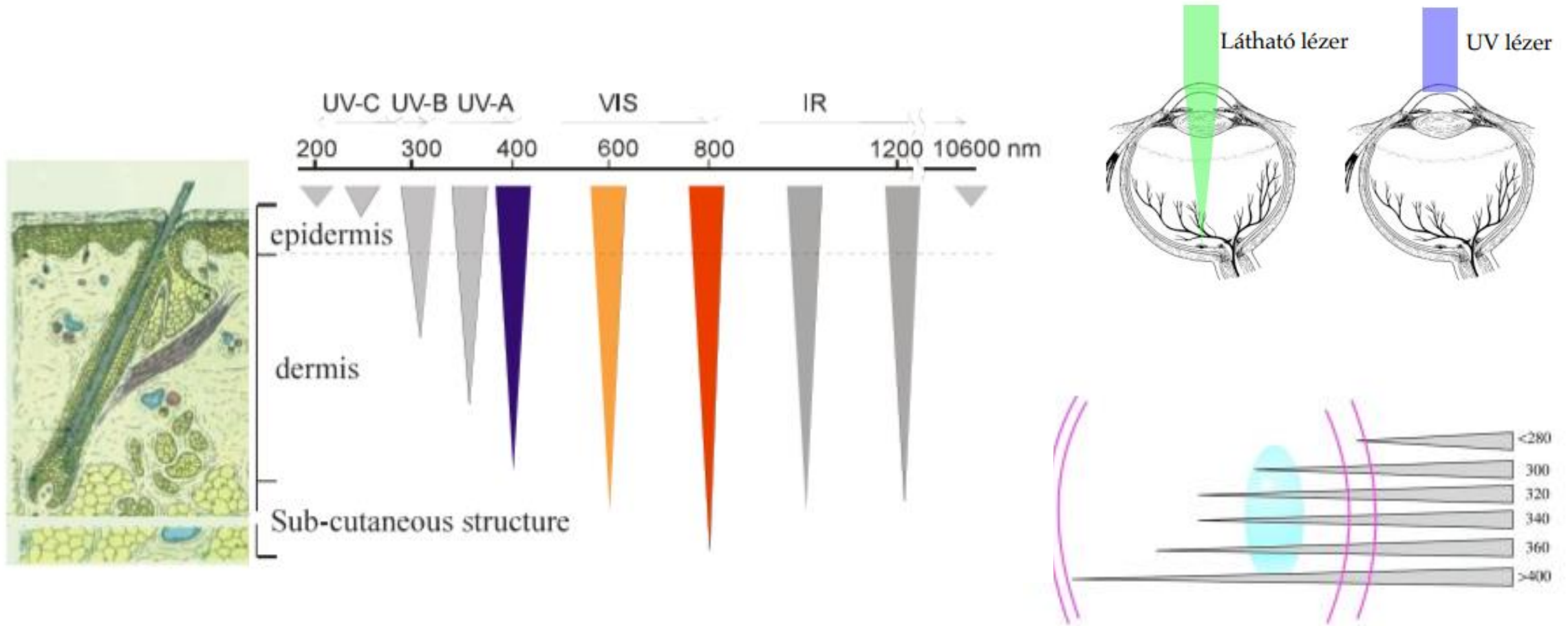


Retina kezelése



Prosztata megnagyobbodás  
lézeres kezelése

# A fény penetrációs képessége a különböző szövetekben **hullámhossz függő**



# Lézerek orvosi alkalmazási lehetőségei – FOGÁSZAT

## Softlézer terápia (SLT)

- Biostimuláció
- Alacsony teljesítmény: 100-150 mW
- Két hullámhossz tartomány:  
650-660 nm – 3 cm hatásmélység,  
780-980 nm – 8-10 cm mélység
- Gyorsabb sebgyógyulás
- Antimikrobiális hatás
- csontpótlás, az implantátumok  
beültetését követő folyamatok
- állkapocs-ízületi kórképek

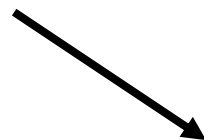
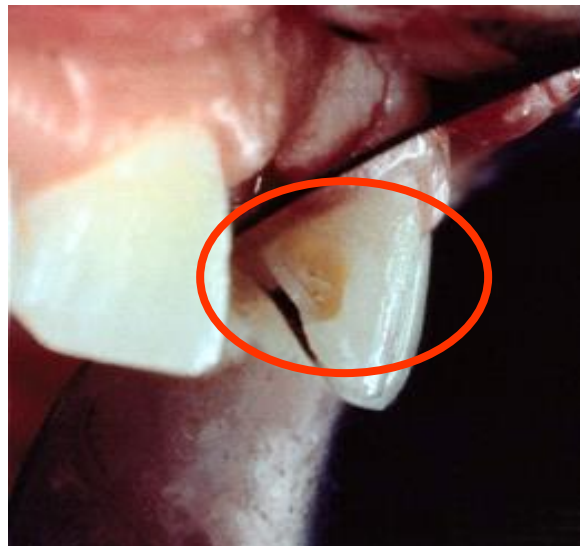




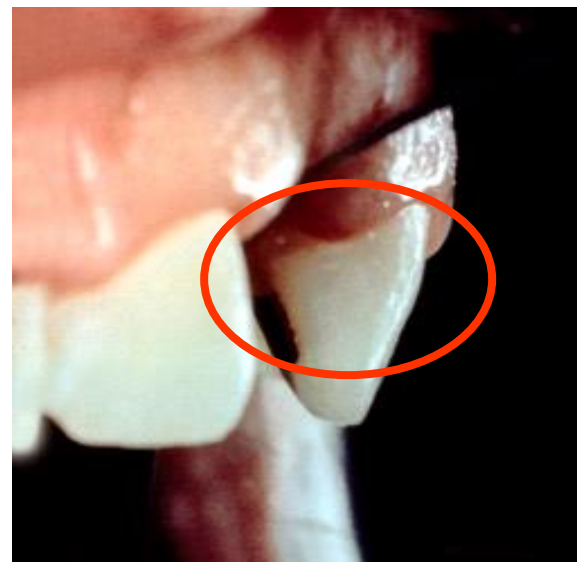
# Caries lézeres eltávolítása

- Vaporizáció és mechanikai hullám
- ErYAG
- 2940 nm
- hatása felszínes, a lézersugár nem halad keresztül a besugárzott zománc és dentinszöveten
- apatitkristályok kitörése a környező víz elpárolgásával, de elszenesedés nélkül játszódik le
- nincs szöveti felmelegedés





caries eltávolítása

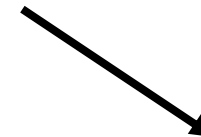
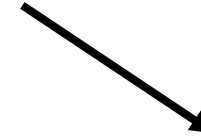


# Lézeres fogfehérítés

- Argon lézer
- 488 nm



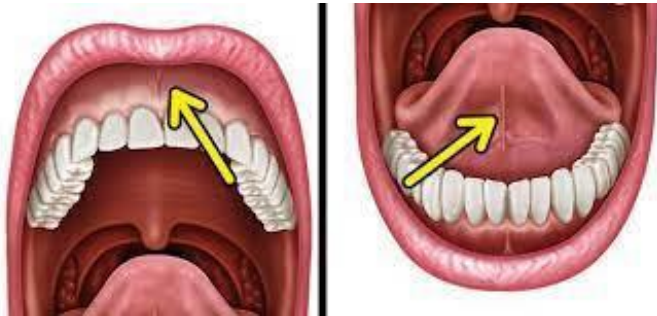
Fogfehérítő toll reklám...





# Szájsebészeti alkalmazások

Nd: YAP\* lézer  
1340 nm



Frenulectomia (ajakfék, nyelvfék)



gingivectomy



\*YAlO<sub>3</sub>:Nd Neodymium doped yttrium aluminium perovskite

# Lézerek orvosi alkalmazási lehetőségei – BŐRGYÓGYÁSZAT

Diagnózis	Kromofóra	Elhelyezkedés	Kezelés célja	Készülék
Telangiectasia	Hemoglobin	Dermis felső része	Az ér elzárása	IPL, BBL, MaxG, 585 & 595nm PDL, 532nm KTP, 1064nm Nd:YAG
Seprűvéna	Hemoglobin	Dermis, Subcutis	Az ér elzárása	1064nm Nd:YAG, 585nm/1064nm MultiPlex
Solaris lentigo	Melanin	Epidermis	A pigment roncsolása	IPL, BBL, MaxG, 532nm KTP, rövid pulzusú 755nm Alexandrit lézer
Melasma	Melanin	Dermis	A pigment roncsolása	Q-kapcsolt lézerek (Nd:YAG, rubin, Alexandrit) Picosecundumos lézerek (Alexandrit, Nd:YAG)
Bőrszerkezet gyengülése	Víz	Dermis	Kollagénindukció	Hosszú pulzusú 1064nm és 1320nm Nd:YAG, Hosszú pulzusú 2940nm Er:YAG, Pulzáló IR (infravörös fény) Frakcionált non-ablatív és ablatív lézerek
Tág pórusok Ráncok Hegek	Víz	Epidermis & Dermis	Teljes felszín vaporizációja	Rövid pulzusú és hangolható 2940nm Er:YAG
			Sejtek oszlopszerű roncsolása	Frakcionált non-ablatív lézerek (1470nm dióda, 1540nm Er:Glass) Frakcionált ablatív lézerek (2940nm Er:YAG, 10.600nm CO2) Frakcionált mixed vagy hybrid lézerek (1470nm GaAlAs dióda + 2940nm Er:YAG; 1540nm GaAs dióda + 10.600nm CO2)

Er:YAG lézer

2940 nm

vagy

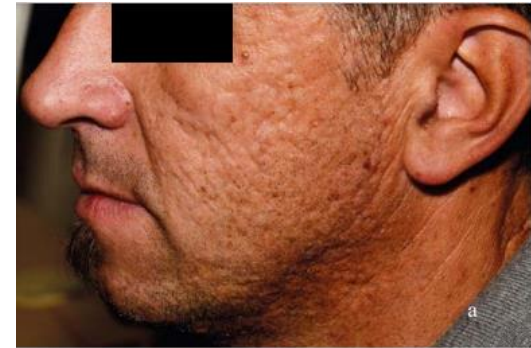
CO<sub>2</sub> lézer

10600 nm

„*resurfacing*” – ablációs technika, az epidermisz megújítására



Ráncok, sérülések, aknék stb. kezelésére





# Felszíni erek fotokoaguláción alapuló korrekciója

Változó impulzusú KTP  
(potassium titanyl phosphate) lézer

532 nm



Célkromofór az oxihemoglobin 418, 542 és 577 nm-es abszorpciós csúccsal  
DE! vérerek mélysége, vastagsága, bőr fototípusa, kerülendő: melnocyták, szőrtüszők

# Vénák fotokoaguláció alapuló korrekciója

Nd:YAG lézer  
1064 nm



# Esztétikai alkalmazások



előtte

utána

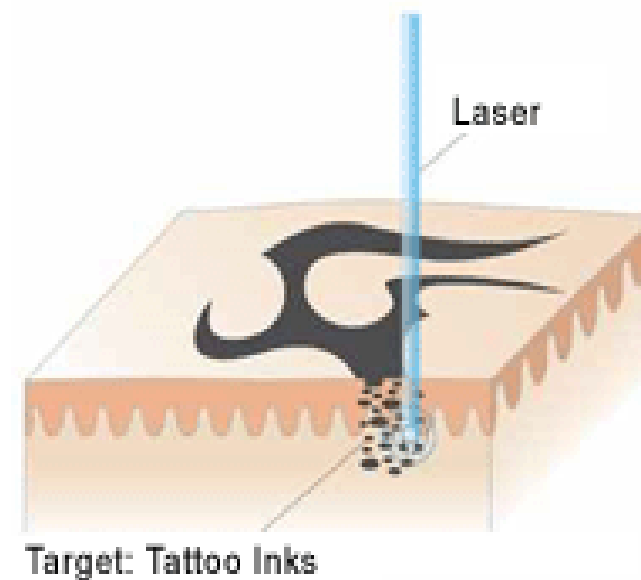


melanin abszorpciós spektruma 400–1200 nm

Rubin: 694 nm

Alexandrite: 755 nm

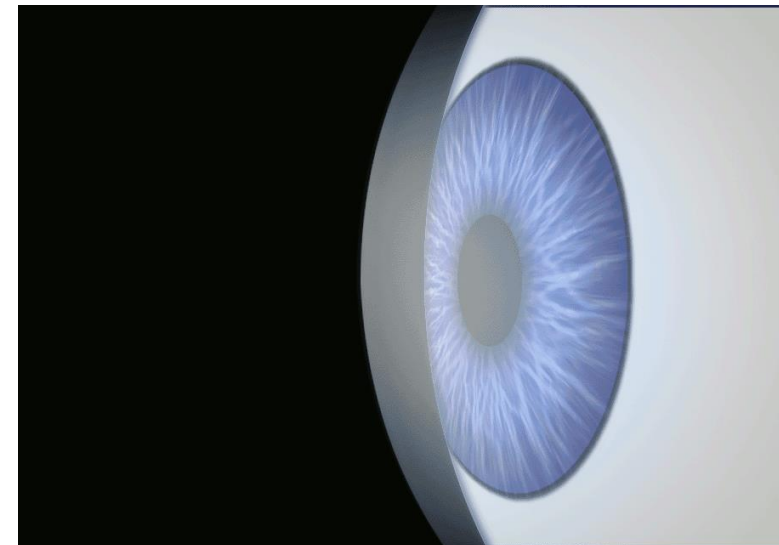
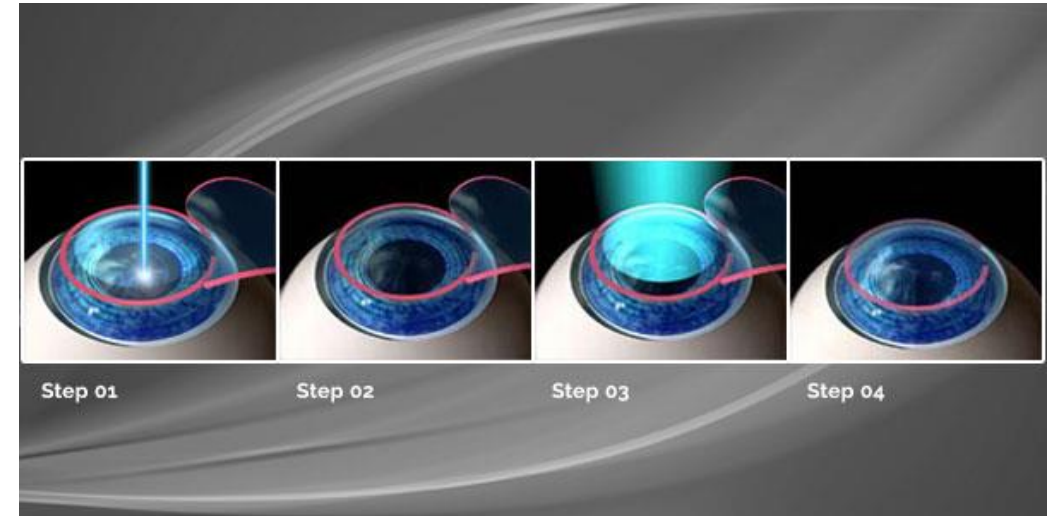
NdYAG: 1064 nm



# Lézerek orvosi alkalmazási lehetőségei – SZEMÉSZET

## FEMTO-LASIK – Femtosecond-assisted Laser In Situ Keratomileusis

- Lézeres látáskorrekció
- Cornea felületéről egy lemez felhajtása (fs lézerrel)
- Stroma anyagából eltávolítás (néhány 10 mikrométer vastagságban). Excimer lézer (193 nm)
- Előnyei: fájdalommentes, gyorsabb gyógyulás, biztonságos



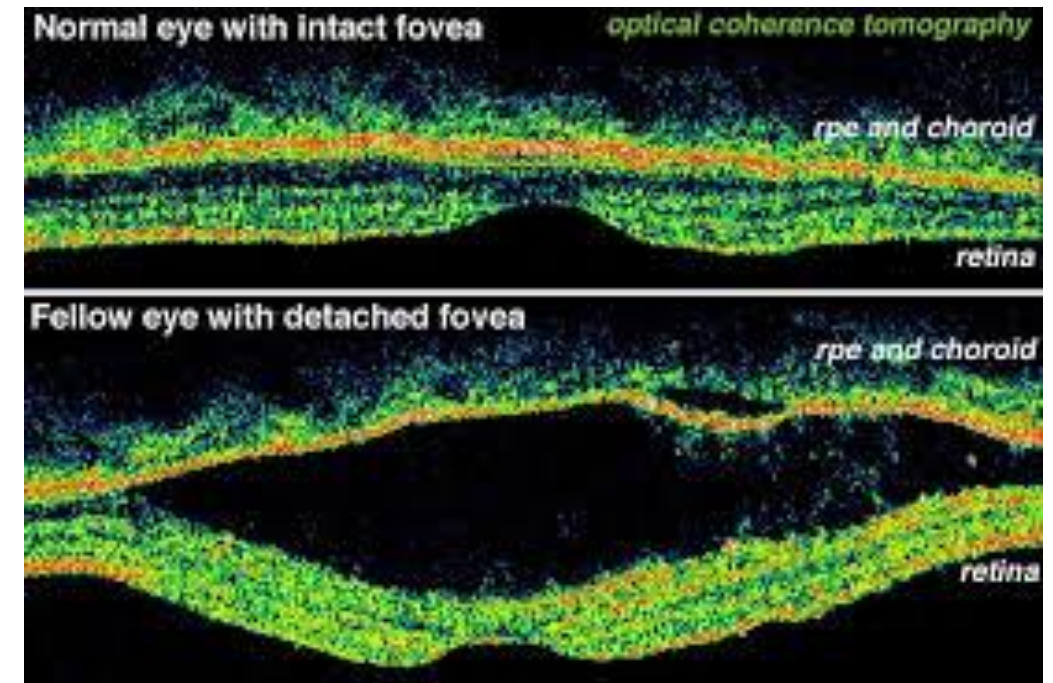
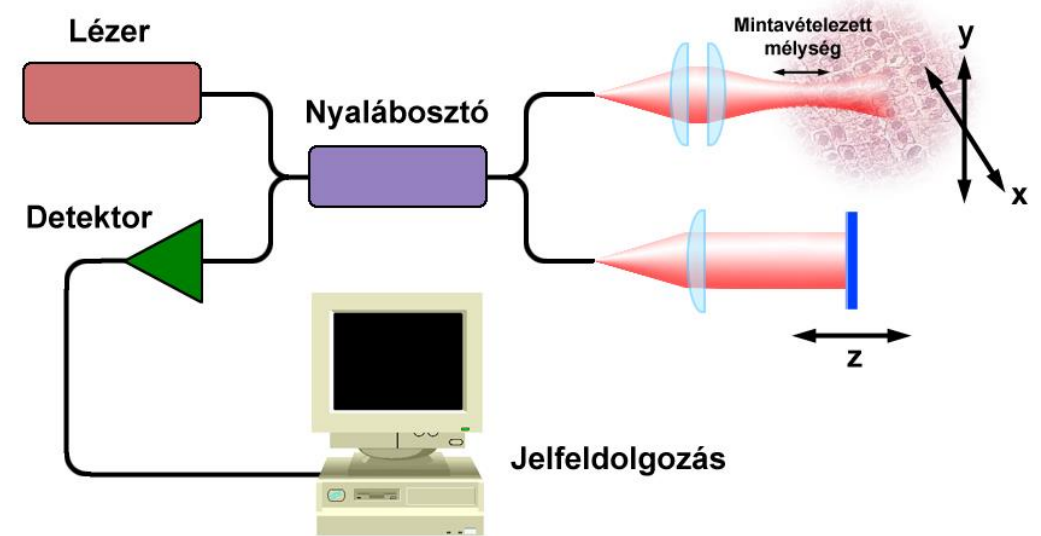


# OCT – Optikai koherencia tomográfia

- Reflektáló rétegek képalkotása
- Az UH optikai analógiájának tekinthető
- 1-1,5  $\mu\text{m}$  térbeli feloldóképesség
- noninvazív

Működése:

- A minta mélyebb részeiben visszaverődő, illetve szóródó sugarak interferometria segítségével szétválaszthatók
- A reflektáló rétegek helyzete meghatározható

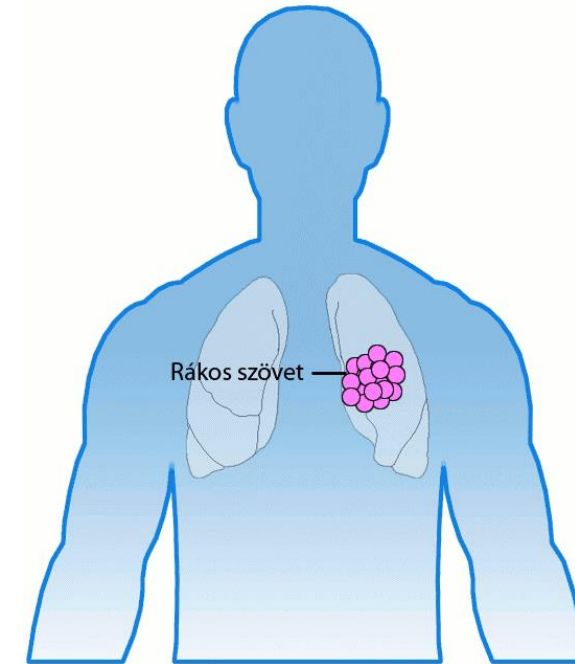


# Lézerek orvosi alkalmazási lehetőségei – ONKOLÓGIA

## PDT – Fotodinámiás terápia

1. A beteg szervezetébe a tumor elhelyezkedésétől függően **intravénásan**, vagy **krém** segítségével fényérzékenyítő anyagot juttatnak be (hematoporfirin származékok), mely szelektíven dúsul a tumorszövetben
2. A célterület megvilágítása a megfelelő hullámhosszal
3. fényérzékenyítő anyag molekuláiban beinduló reakció nascens oxigén ( $1/2 \text{O}_2$ ) vagy hidroxidion ( $-\text{OH}$ ) keletkezéséhez vezet, amely az adalékanyagot tartalmazó (daganatos) sejtekben szöveti bomlást eredményez.

bőr hámeredetű tumorai, ill. üreges szervek tumorai - nyelőcső, bronchus, húgyhólyag



Lézer típusok:  
Ar, NdYAG, TiS  
310-1285 nm-hangolható



# Ellenőrző kérdések a felkészüléshez

- Lézerfény előállításának feltételei
  - Speciális energia állapot (3 energia szint)
  - Populáció inverzió (pumpálás)
  - Indukált emisszió
- Optikai rezonátor
- Lézer fény tulajdonságai (koherens, polarizált, monokromatikus, nagy energia, jól fókuszált)
- Lézerek típusai (anyag, energia, teljesítmény)
- Alkalmazási lehetőségek (laboratórium, klinikum)
- Orvosi alkalmazás elméleti háttere
  - Lézerfény elnyelése szövetekben
  - Hőhatás
  - Behatolási mélység bőrben

## **Kapcsolódó fejezetek:**

*Damjanovich, Fidy, Szöllősi: Orvosi Biofizika*

II. 2.2

2.2.5

2.2.7

2.2.8

IX. 1.1

IX. 1.2