

A lézerek működési elve, típusai, orvosi alkalmazási területei

Haluszka Dóra

2020.10.28.

Laser/lézer

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

Fényerősítés a sugárzás indukált emissziója által



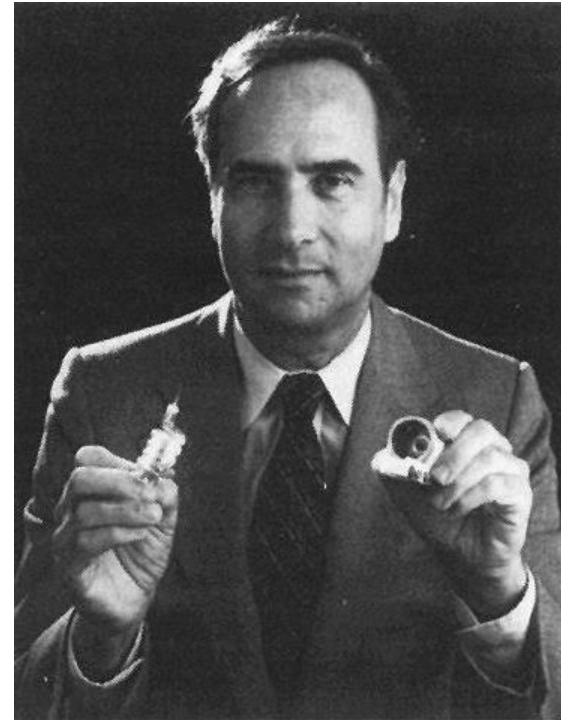
Egy kis történelem...

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

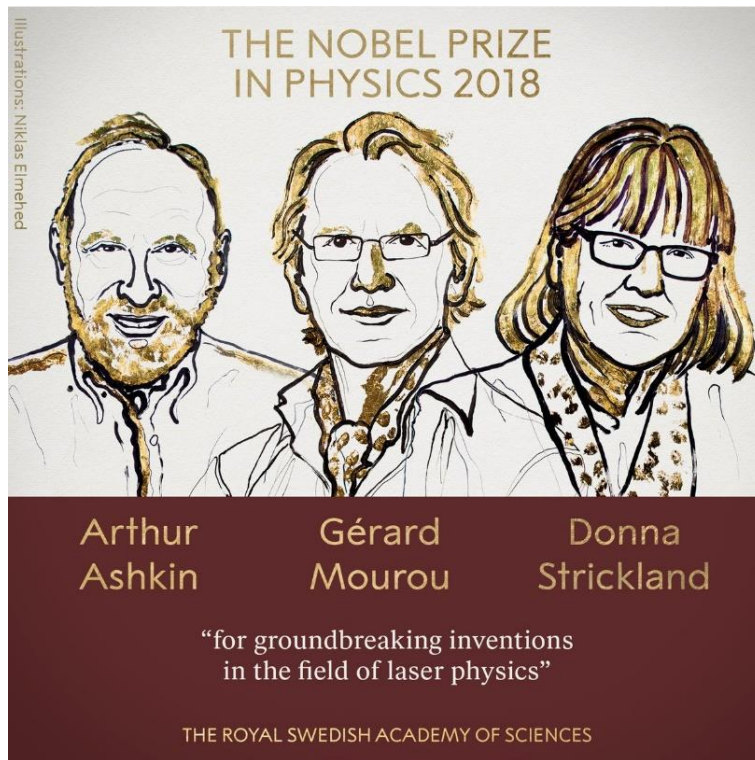
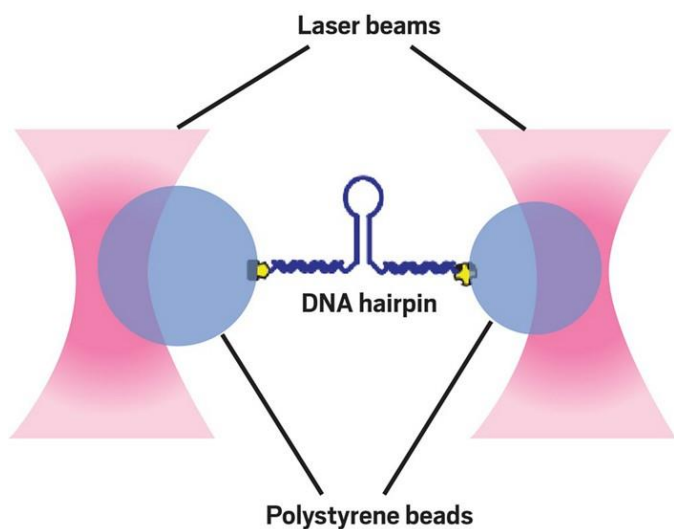
Fizikai Nobel-díj 2000
A félvezető lézerdiodákért

Fizikai Nobel-díj 2018

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

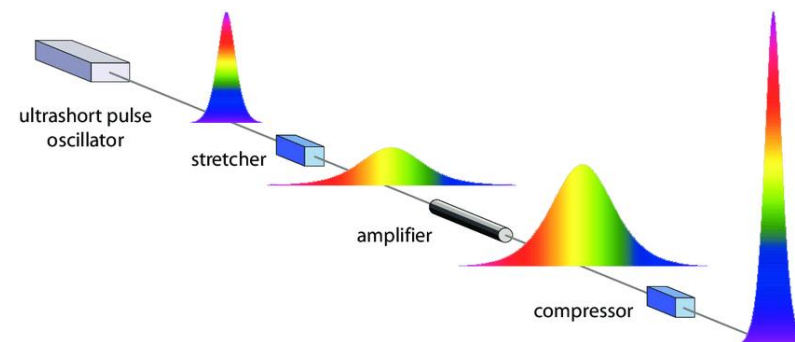
Ashkin,

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

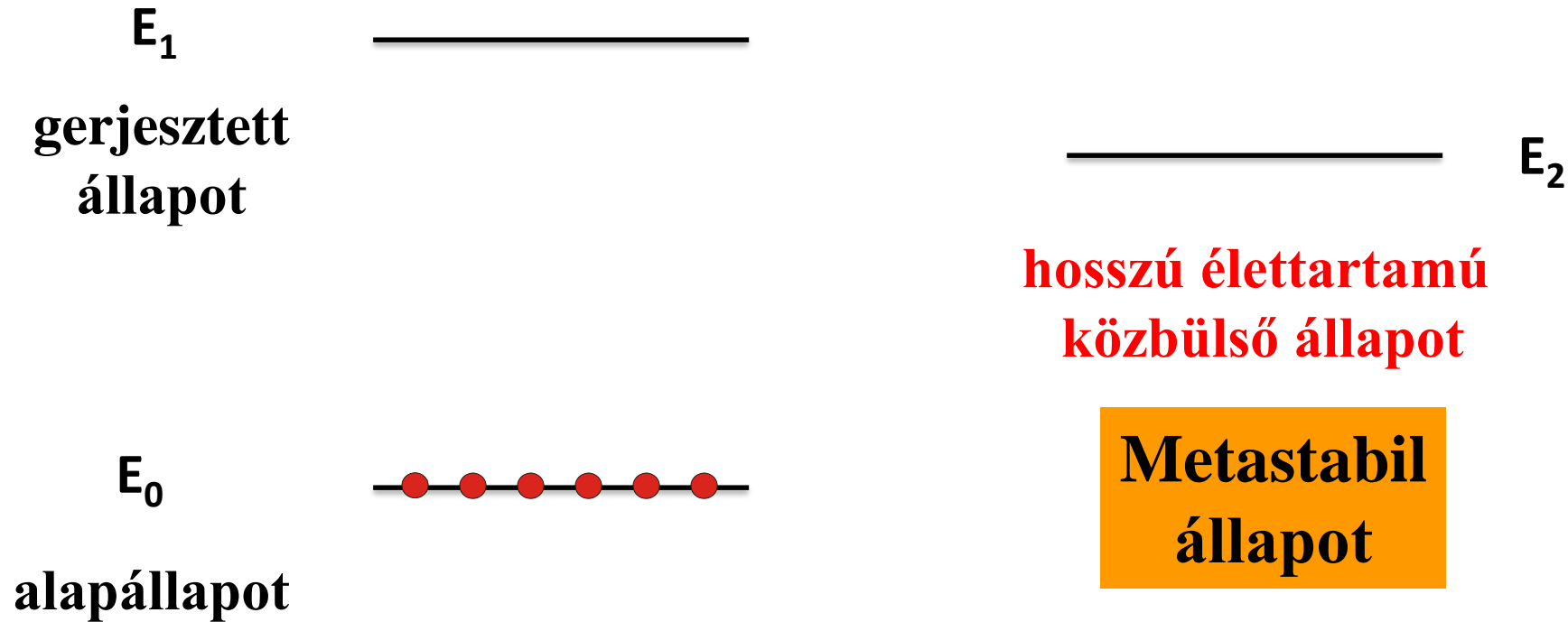
ezzel szemben a nagy intenzitású, ultra-rövid optikai impulzusok előállításáért ítelték oda a díjat. Az efféle lézereket nemcsak az iparban, de a gyógyászatban is fel tudják használni, segítségükkel ugyanis precízen lehet bevágásokat ejteni és lyukakat fúrni a különböző anyagokon.



A lézerfény előállításának feltételei és lépései

Speciális elektron energia állapotok

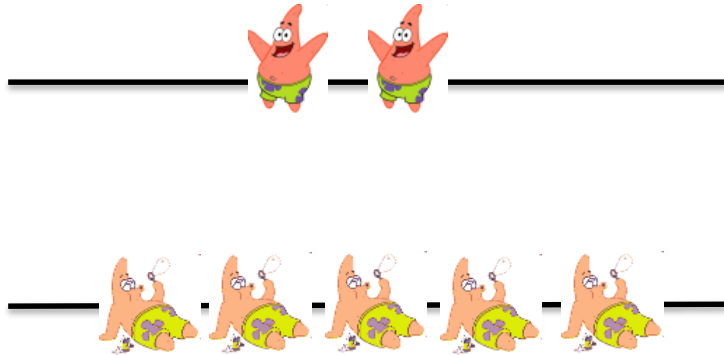
I. három energianívós rendszer



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

Elektronállapotok betöltöttsége

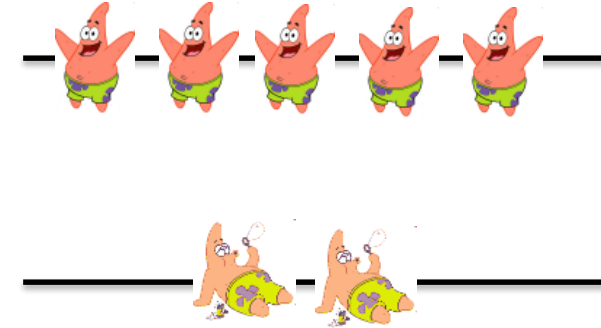
II: Populáció inverzió



Termikus egyensúly

Boltzmann eloszlás szerint:

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

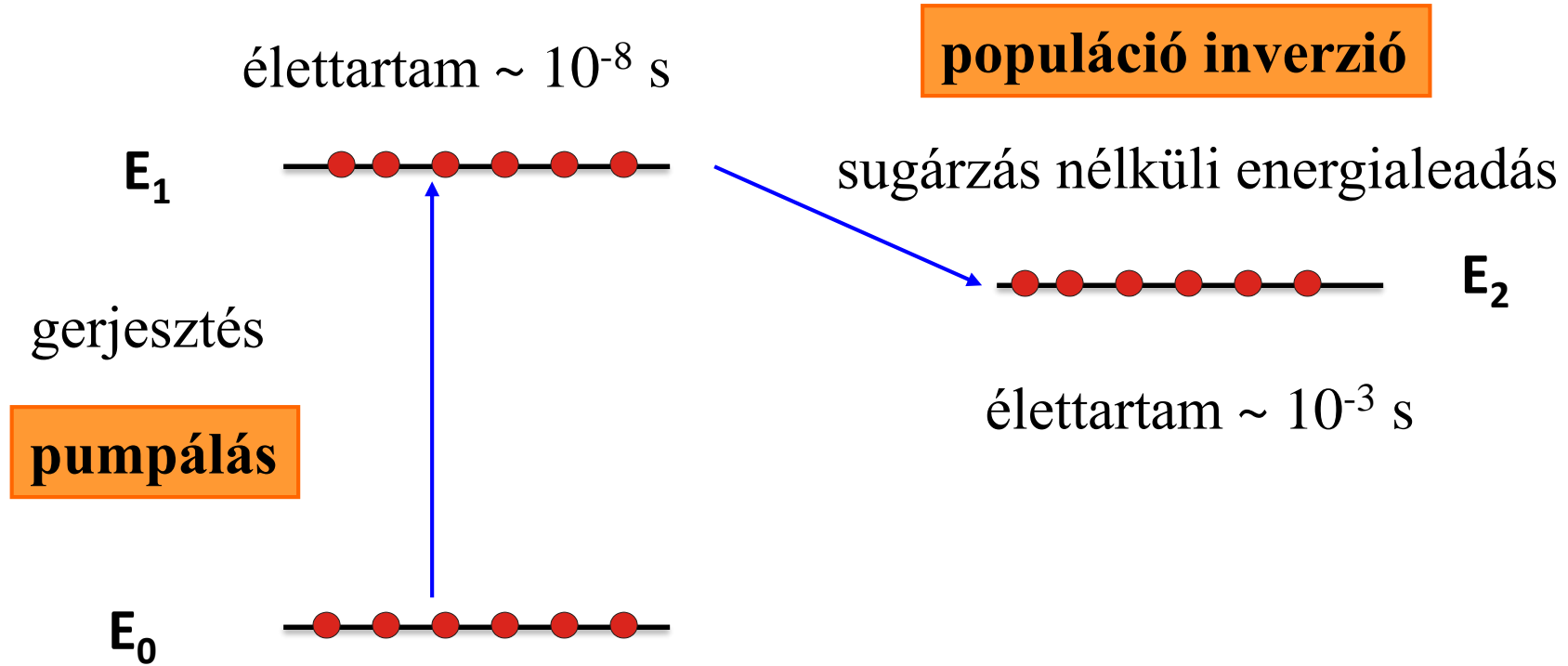


Populáció inverzió

“fordított” betöltöttség

Gerjesztés

III: Optikai pumpálás



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

Spontán emisszió

E_1 _____

_____ E_2

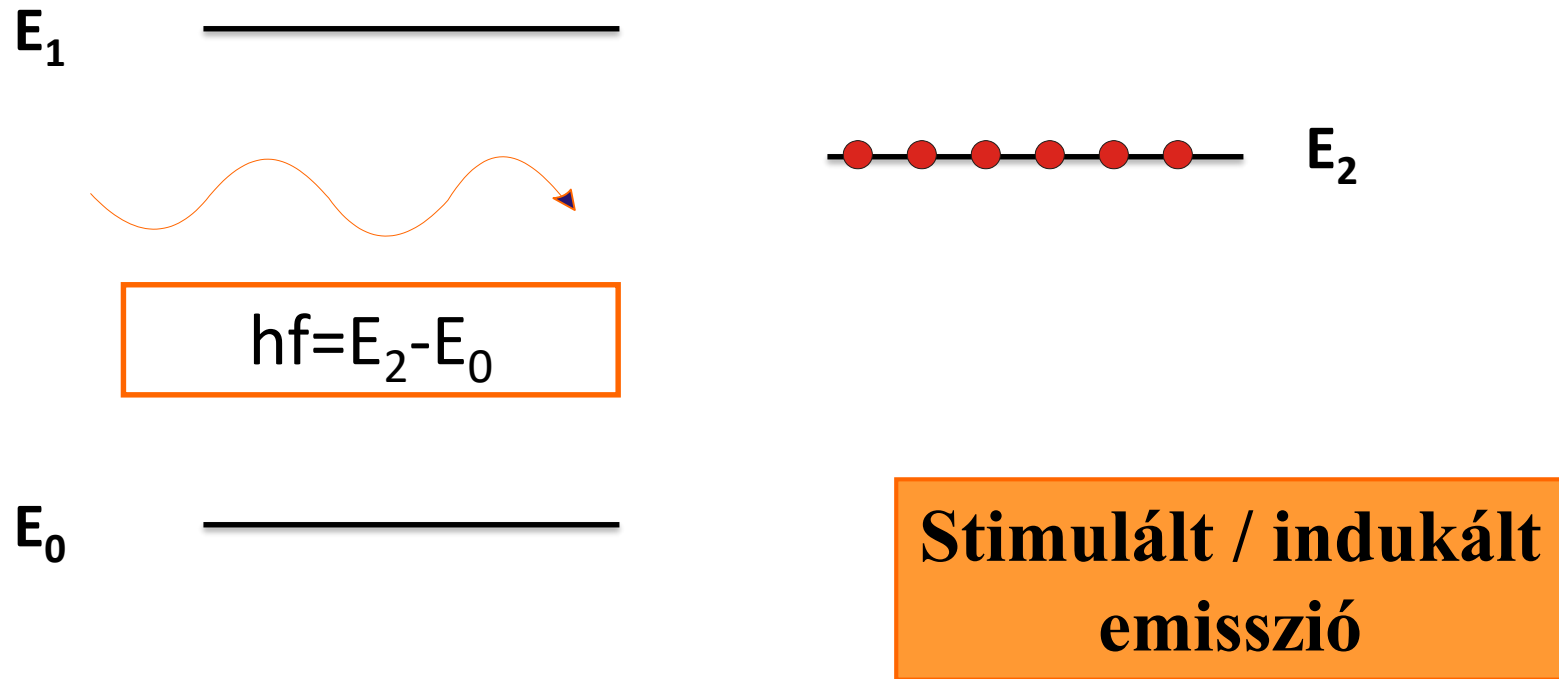
E_0 _____ ●



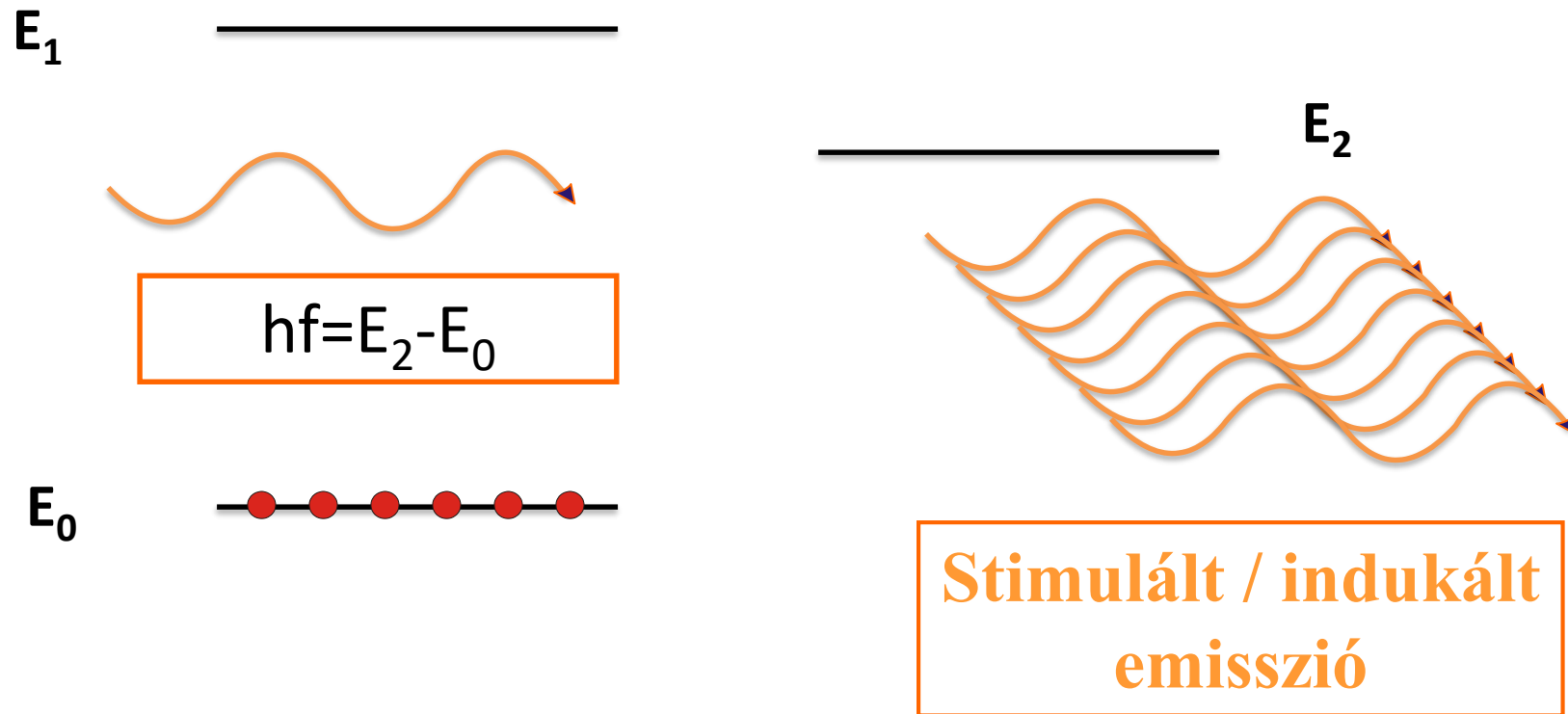
spontán
fényemisszió

kis valószínűséggel

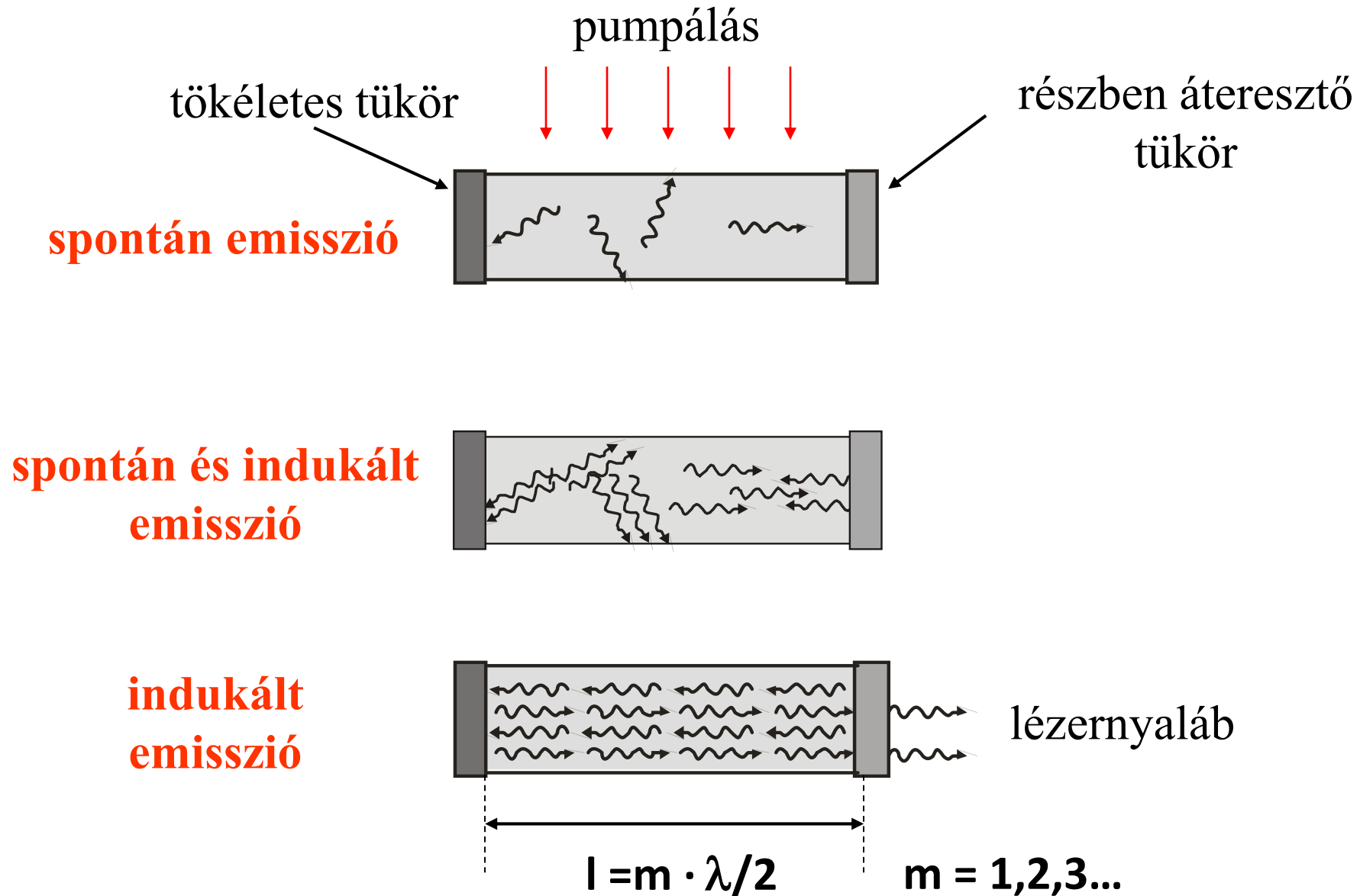
A metastabil nívón lévő elektronok relaxációjának stimulálása



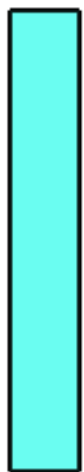
A metastabil nívón lévő elektronok relaxációjának stimulálása



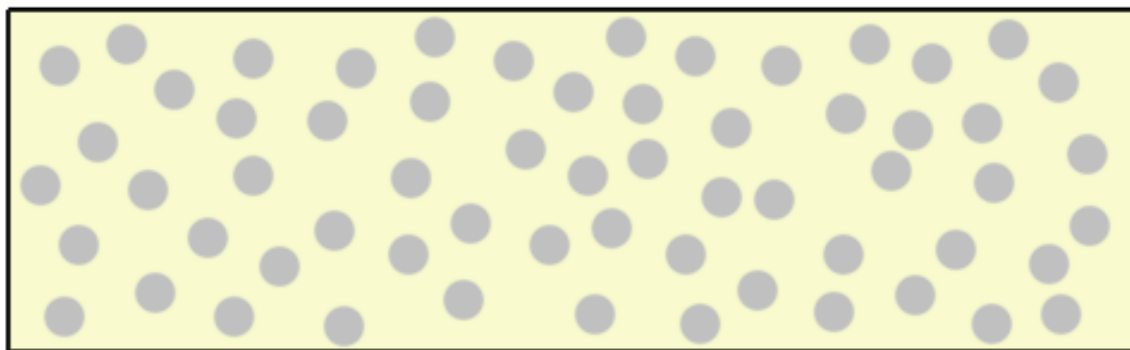
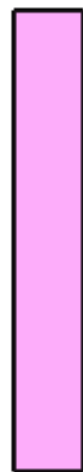
Lézercső – optikai rezonátor



záró tükör

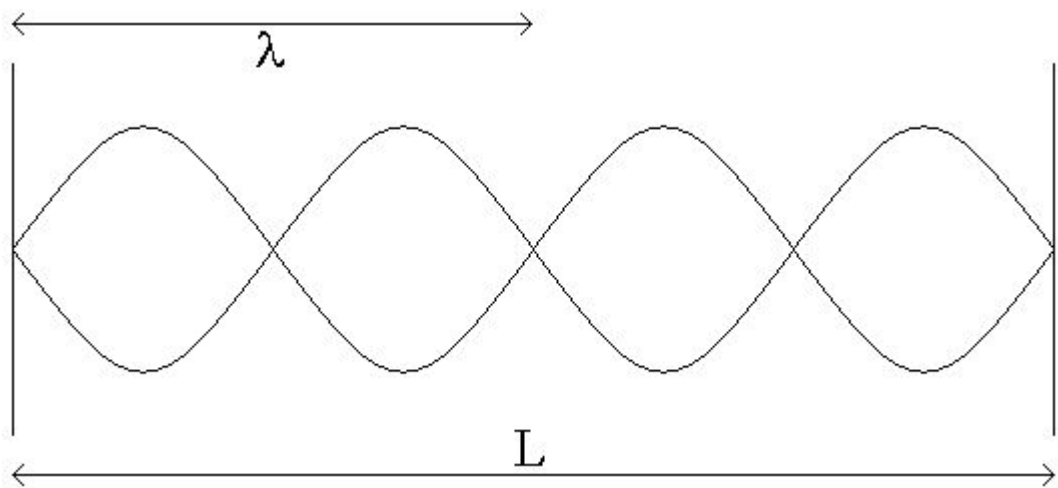


nyitó tükör



Alapállapotú lézerközeg

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

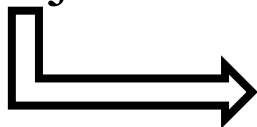


Állóhullám kialakulása a rezonátorban

Lézerfény általános tulajdonságai

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

- energiája
- fázisa
- rezgési síkja
- terjedési iránya.



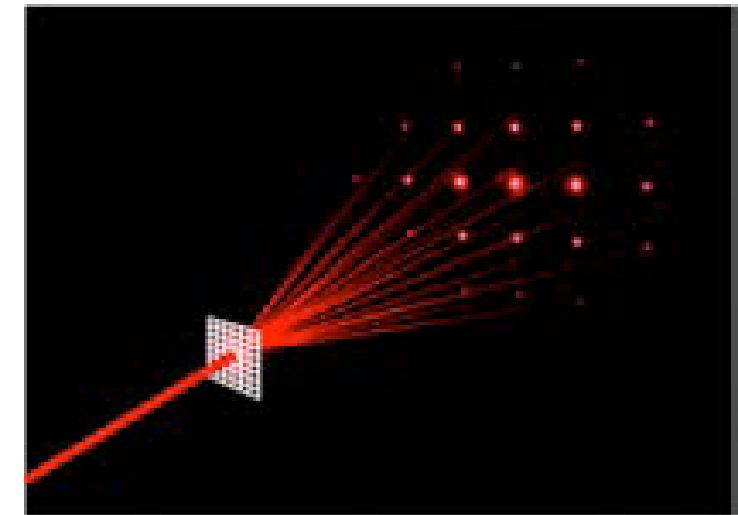
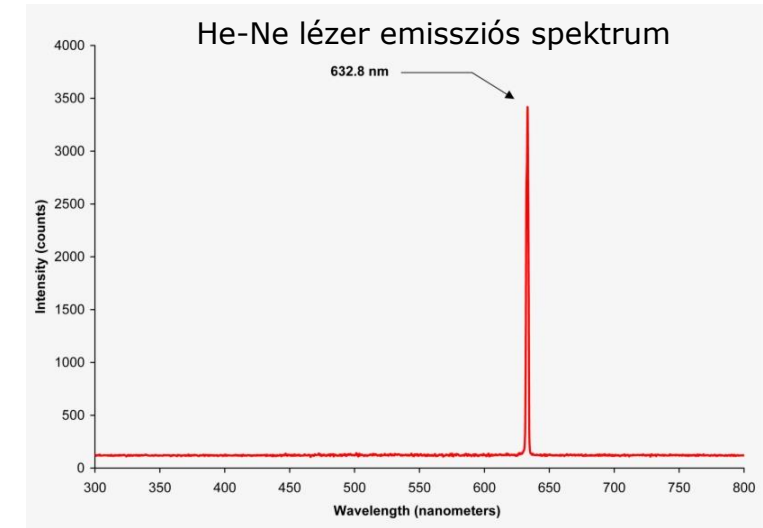
Ezért az indukált emisszióval keletkezett fény:



- Monokromatikus
- koherens
- poláros
- jól fókuszálható

Az indukált emisszióval keletkezett fény

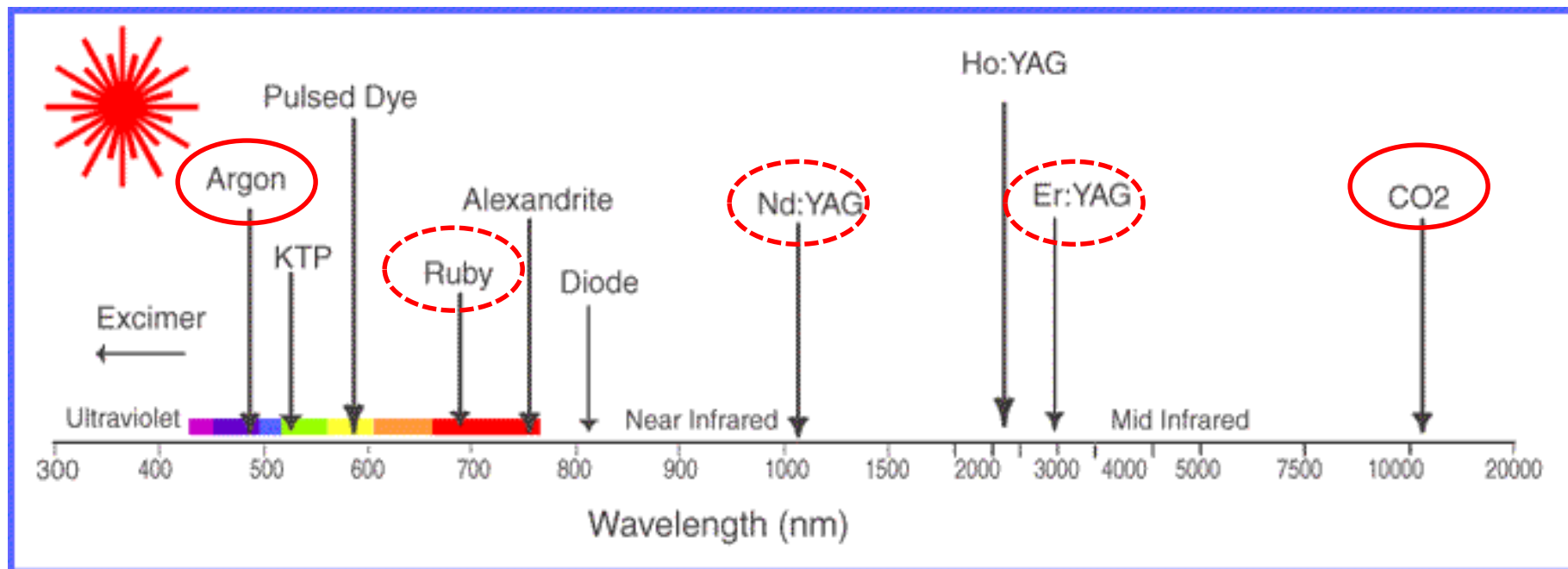
1. monokromatikus – keskeny spektrális sáv szélesség
2. koherens – interferenciaképesség
időbeli koherencia: (különböző időpontokban emittált fotonok fázisazonossága)
térbeli koherencia: (nyalábkeresztmetszet menti fázisazonosság)
3. Kis divergenciájú: kevésbé széttartó (közel párhuzamos)
4. Poláros
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-zafír)
2. Gázlézerek: He-Ne, CO₂, Ar, Kr
3. Festéklézerek: szerves festékek híg oldata (rodamin, kumarin)
4. Félvezető (dióda) lézerek: p és n-típusú félvezetők kombinációja

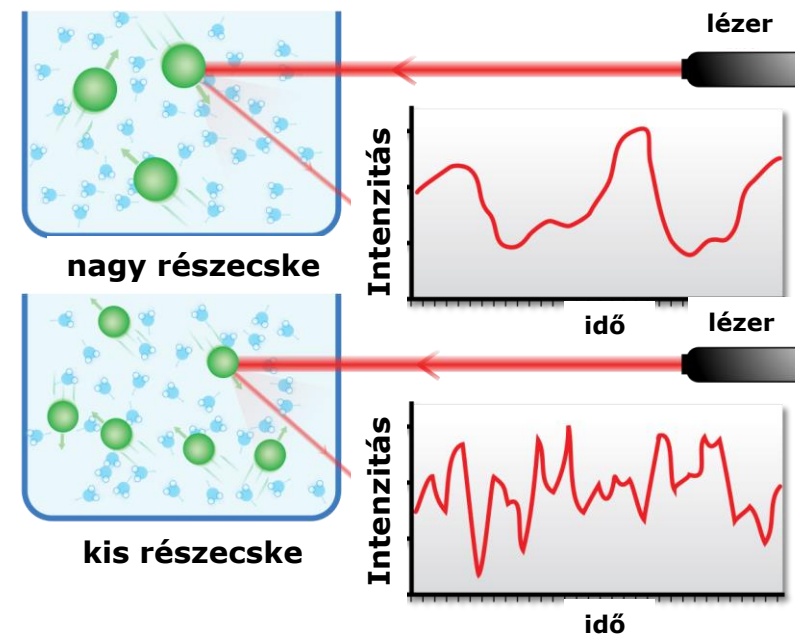
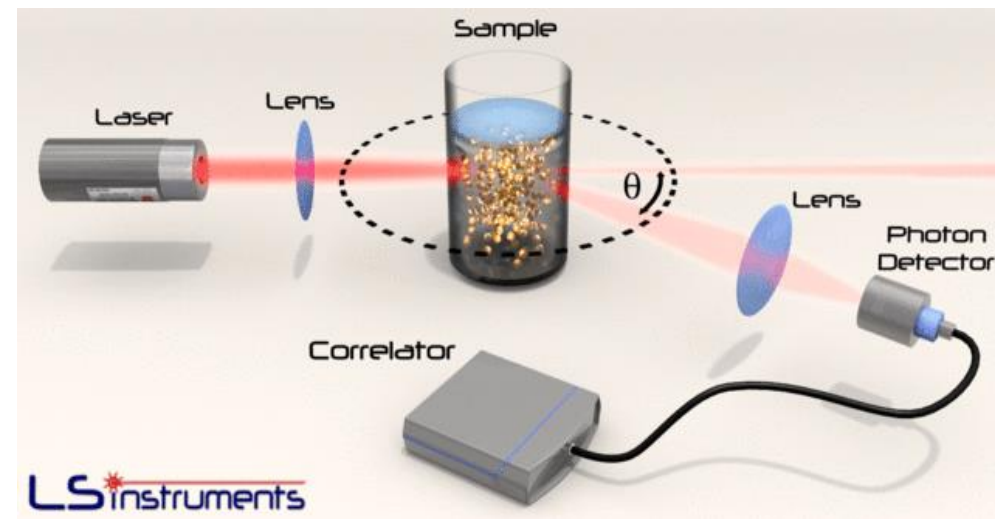


Lézerek alkalmazási lehetőségei – laboratóriumi technikák

Dinamikus fényszórás (DLS)

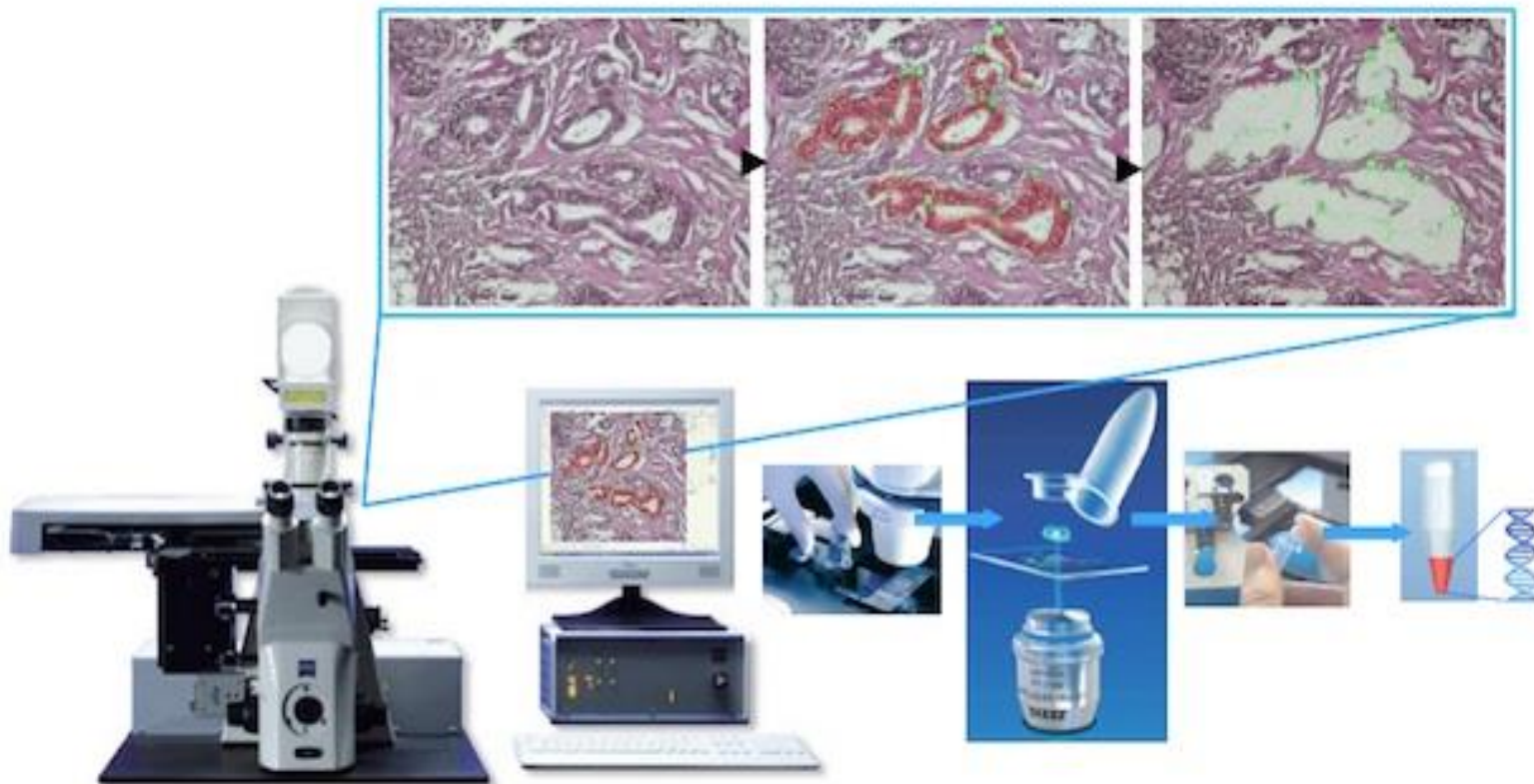
- nm-es nagyságú diffundáló részecskék
- a szuszpenzióban lévő részecskék a megvilágító fényt szórják
- emiatt annak minden időpillanatban véletlenszerűen változik az intenzitása
- ez összefüggésben van a részecskék méretével
- diffúziós állandó meghatározható
- részecske hidrodinamikai sugara kiszámolható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

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

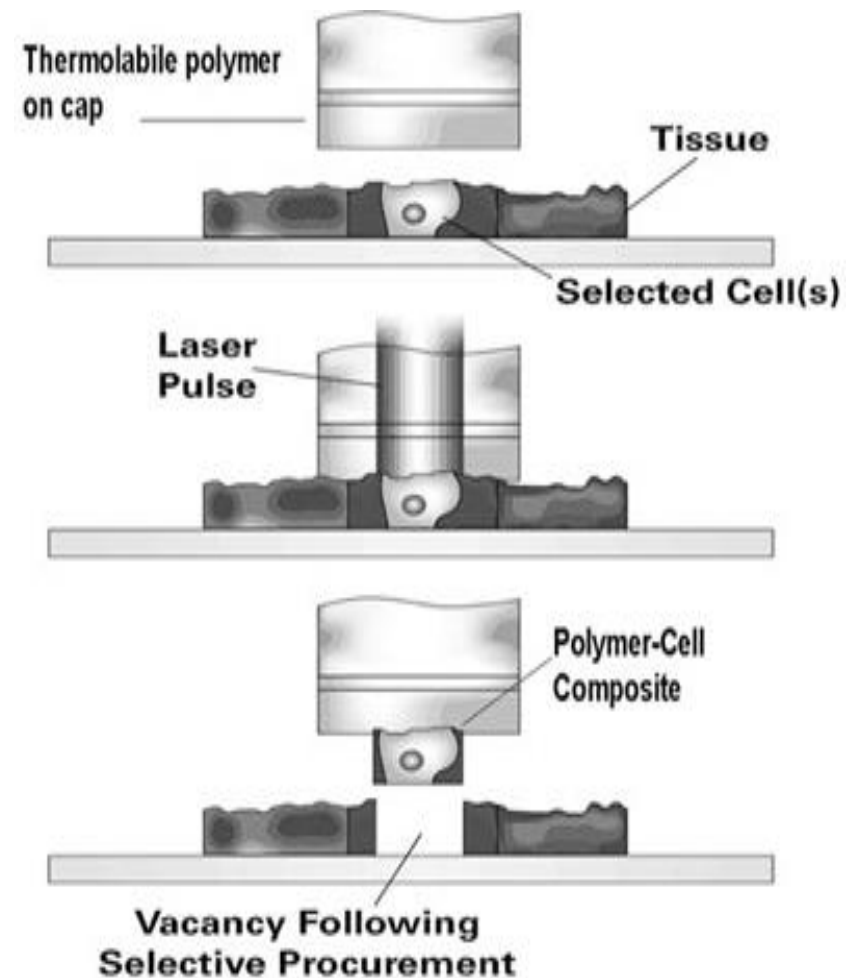


Laser capture microdissection (LCM)

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

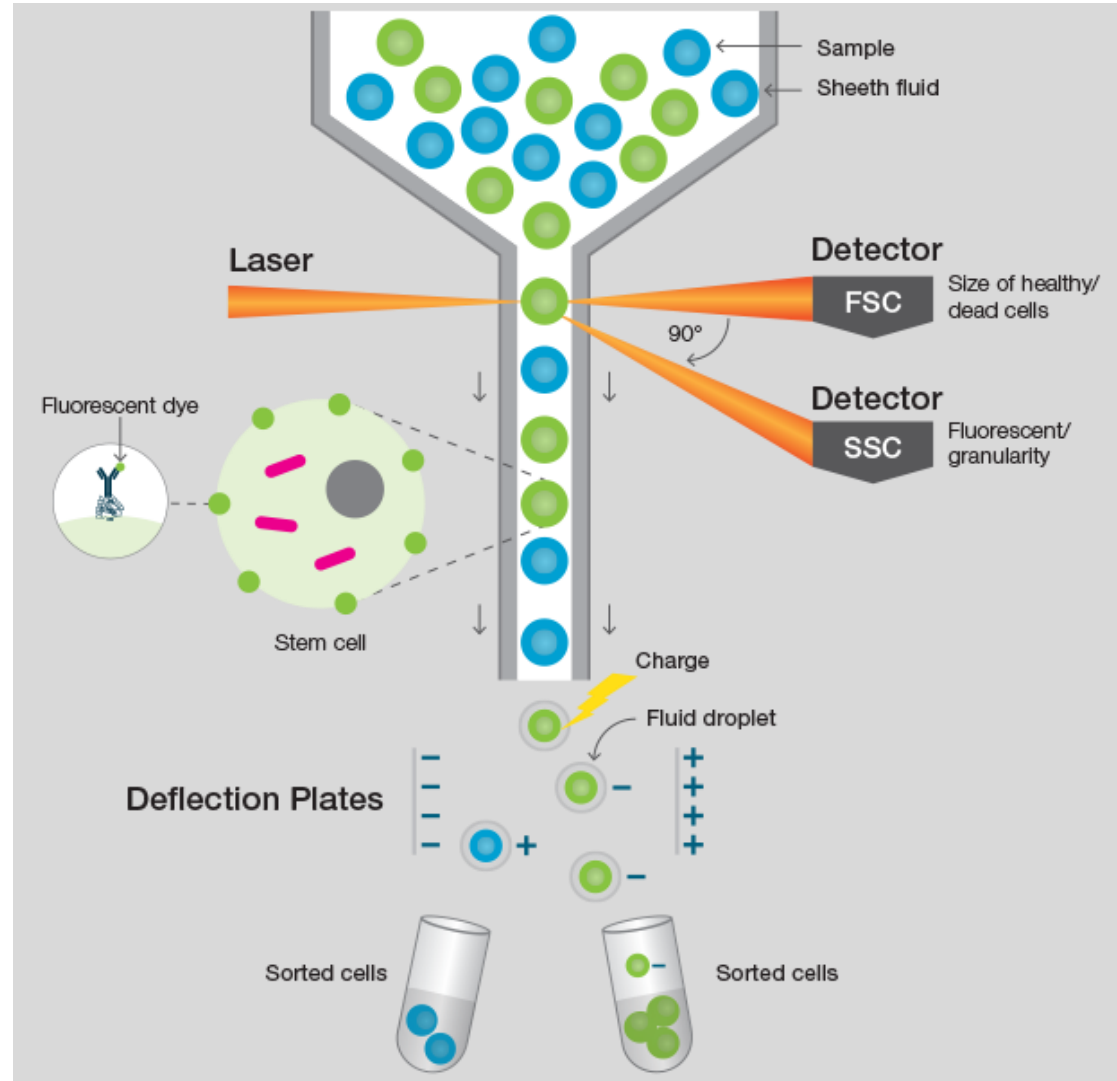


UV lézer – vágás
IR lézer – melegítés

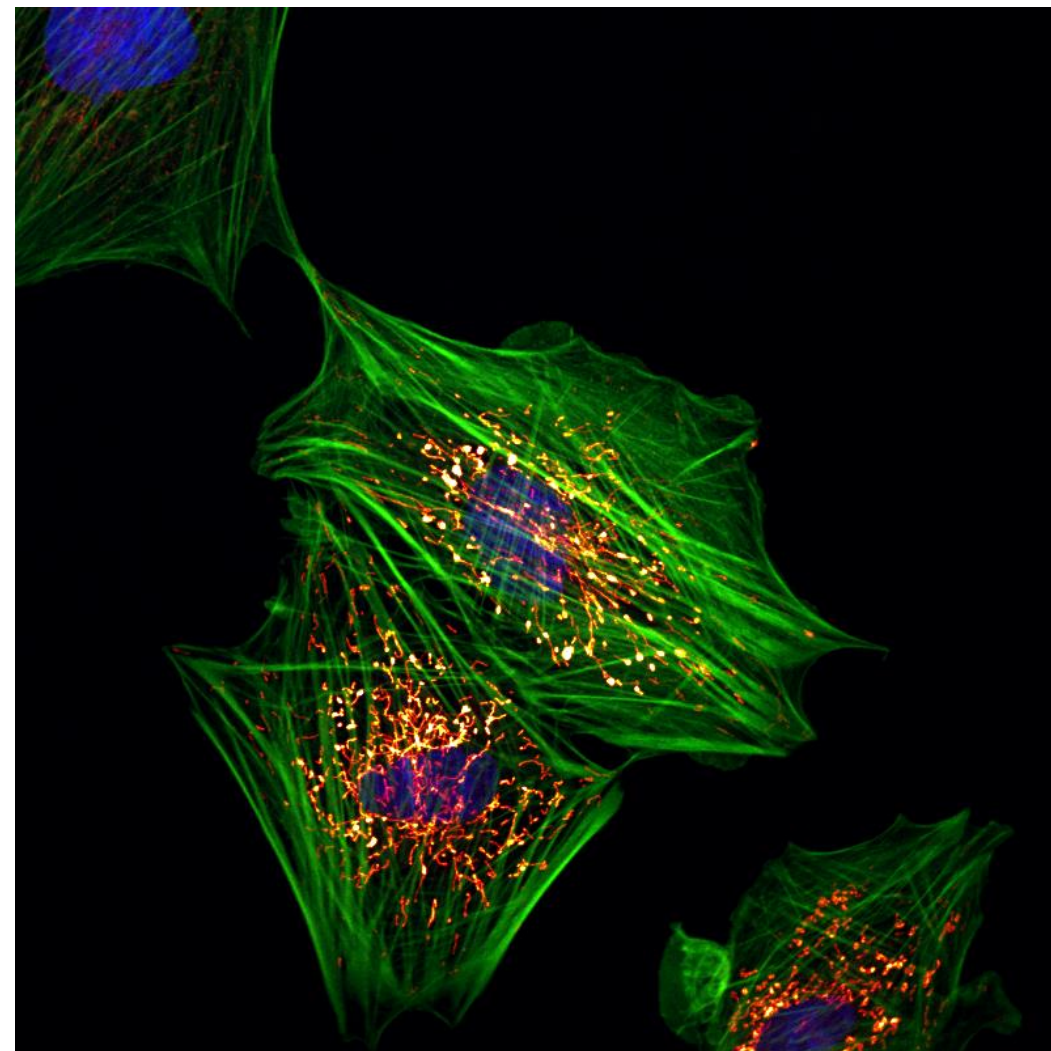
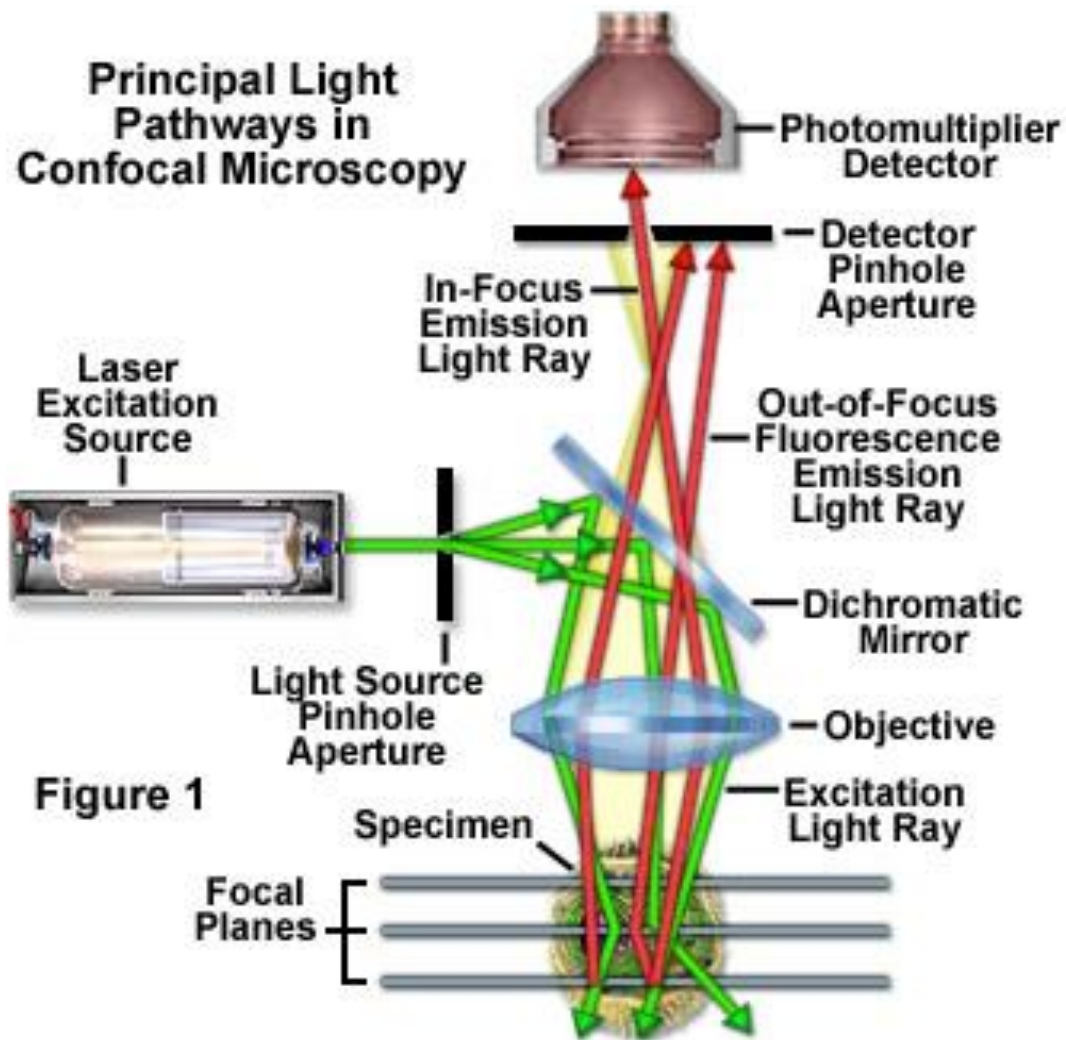
FACS (Fluorescence activated cell sorter)

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 (spoiler alert!)



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

Lézerek orvosi alkalmazási lehetőségei – egy kis elmélet...

A fény elnyelődése

Sugárzás

szövet autofluoreszcenciája
külső kromofórok fluoreszcenciája

Sugárzásmentes relaxáció

Fotokémiai reakciók

Fotoabláció

A szövetből rövid
impulzusidejű
ultraibolya sugárzás
plazmaállapotú
anyagfelhő lép ki.

Ionizáció

Zúzás (fotodiszrupció)

A szövet molekulái a lézernyaláb
hatására ionizálódnak, melynek
következtében akusztikus
lökőhullám keletkezik, ami
szétzúzza a szövetet.

Termikus hatások

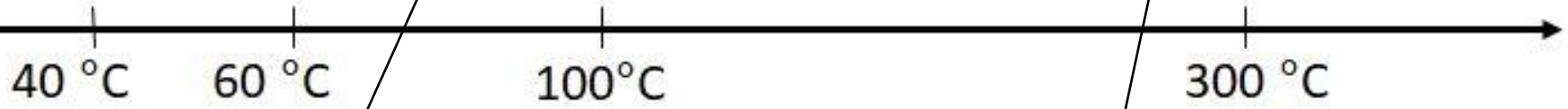
Koaguláció
Vaporizáció
Karbonizáció

Termikus hatások

*lézertermia,
biostimuláció*

koaguláció

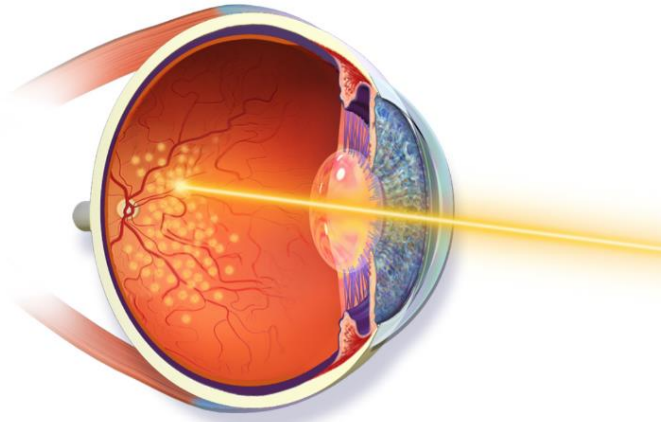
*vaporizáció
karbonizáció*



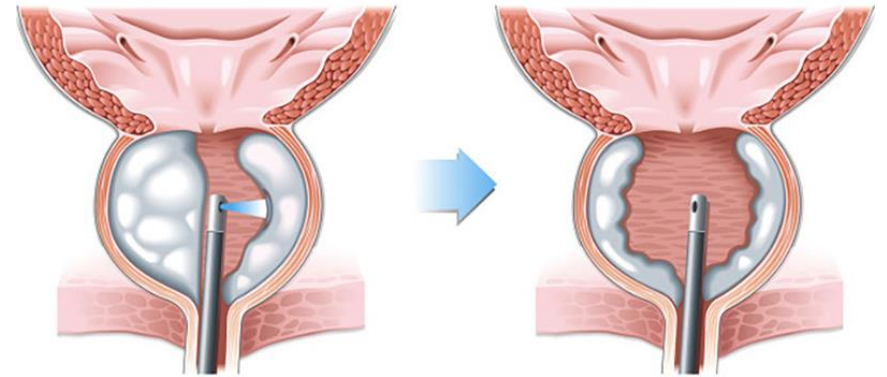
Ortopédiai alkalmazás



Szájüregi herpesz

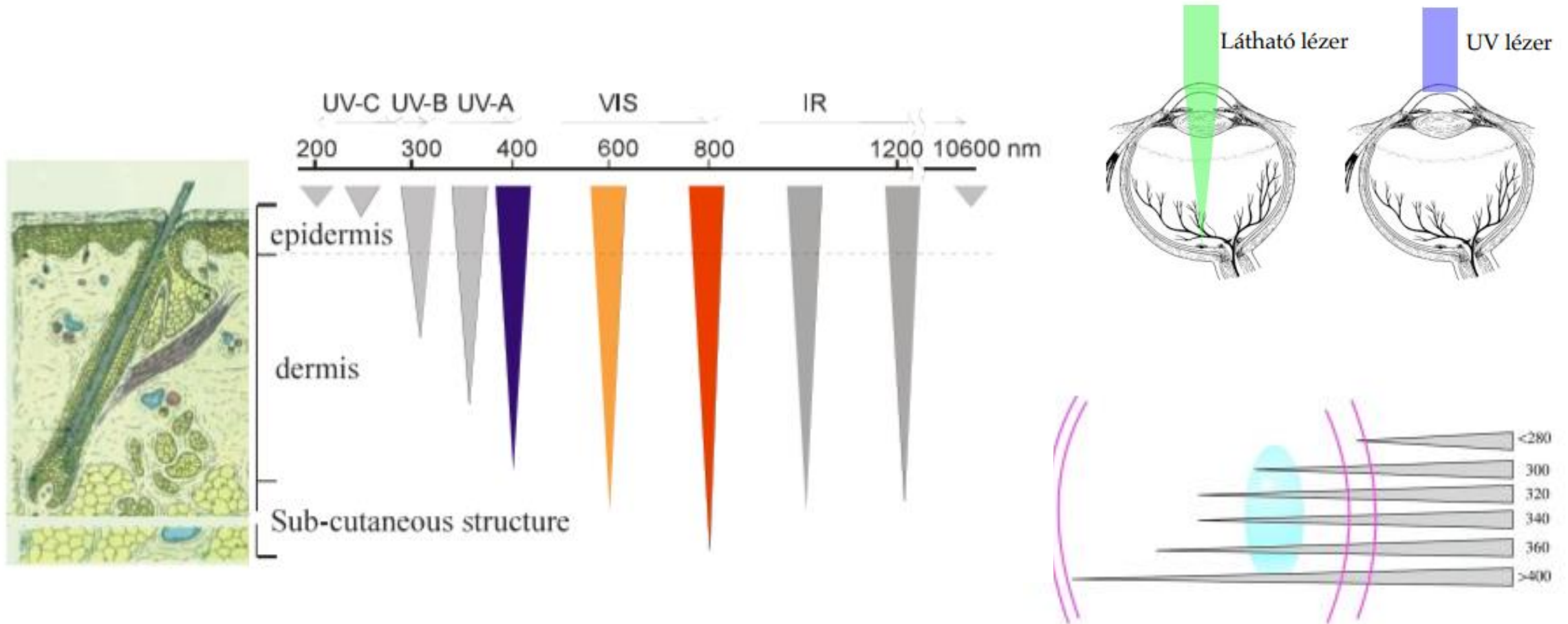


Retina kezelése



Prosztata megnagyobbodás
lézeres kezelése

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



Lézerek orvosi alkalmazási lehetőségei – FOGÁSZAT

Softlézer terápia (SLT)

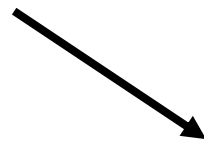
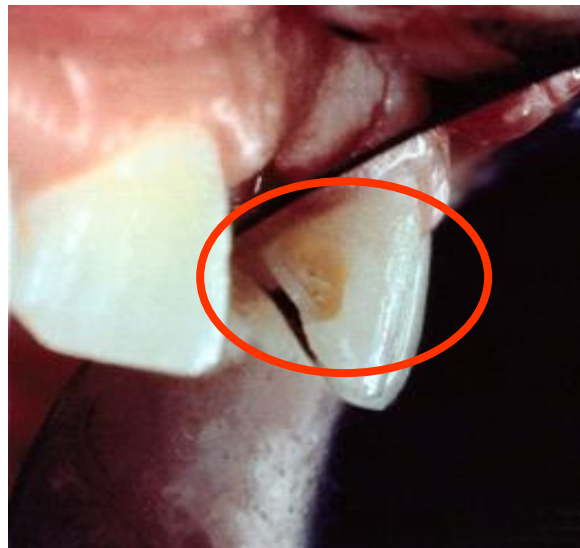
- Biostimuláció
- Alacsony teljesítmény: 100-150 mW
- Két hullámhossz tartomány:
650-660 nm – 3 cm hatásmélység,
780-980 nm – 8-10 cm mélység
- Gyorsabb sebgyógyulás
- Antimikrobiális hatás
- csontpótlás, az implantátumok
beültetését követő folyamatok
- állkapocs-ízületi kórképek



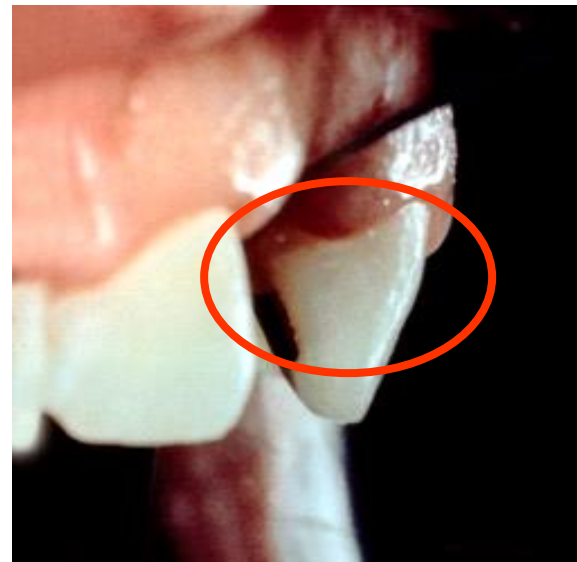
Caries lézeres eltávolítása

- Vaporizáció és mechanikai hullám
- ErYAG
- 2940 nm
- apatitkristályok kitörése a környező víz elpárolgásával, de elszenesedés nélkül játszódik le





caries eltávolítása

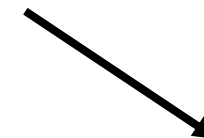
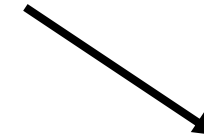


Lézeres fogfehérítés

- Argon lézer
- 488 nm

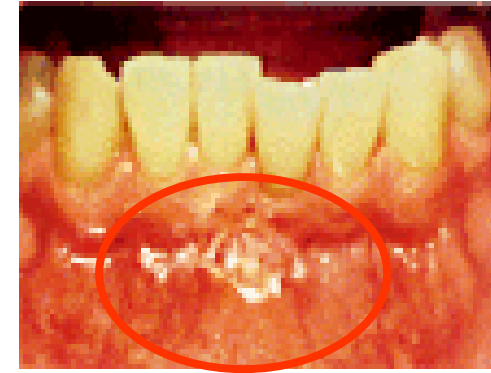


Fogfehérítő toll reklám...

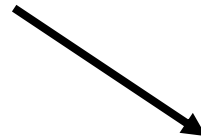


Szájsebészeti alkalmazások

Nd: YAP* lézer



frenectomy



gingivectomy

*YAlO₃:Nd

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

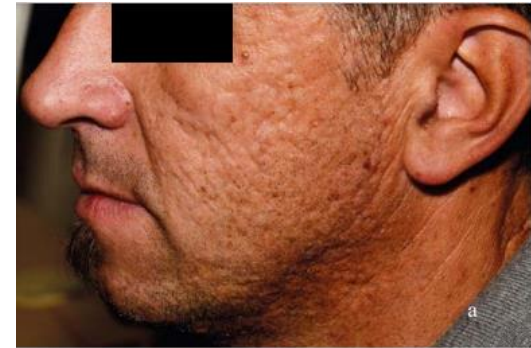
CO₂ lézer

10600 nm

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



Ráncok, sérülések, aknék stb. kezelésére



Felszíni erek fotokoaguláción alapuló korrekciója

Nd:YAG lézer
1064 nm



Vénák fotokoaguláció alapuló korrekciója

Nd:YAG lézer
1064 nm



Esztétikai alkalmazások

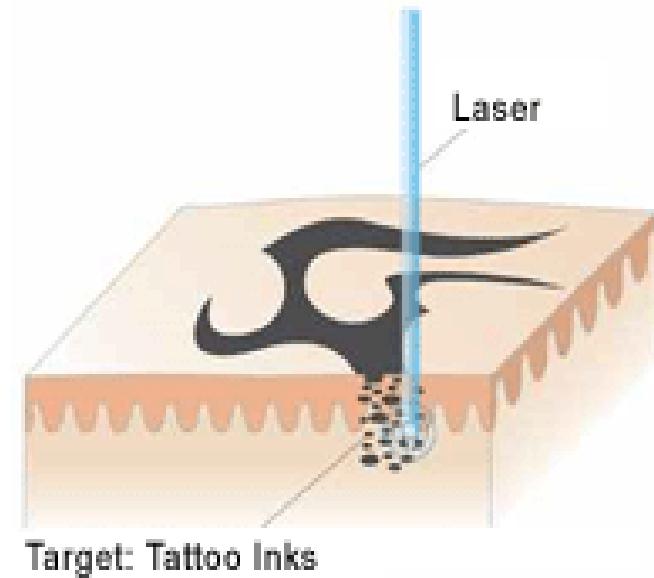


előtte

utána



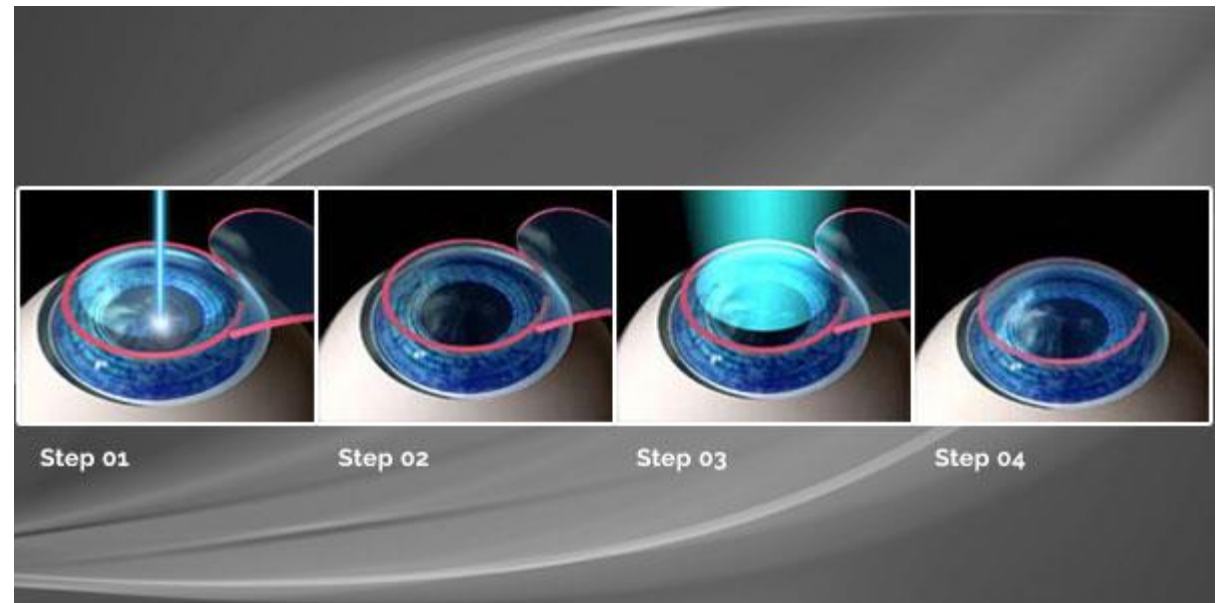
Rubint: 694 nm
Alexandrite: 755 nm
NdYAG: 1064 nm



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

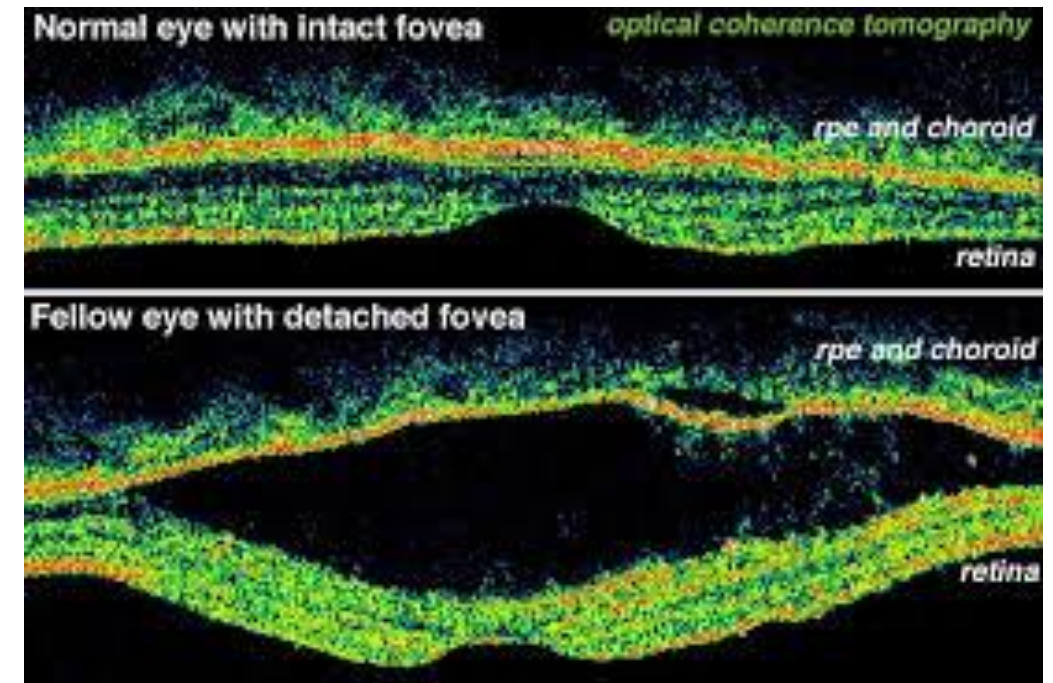
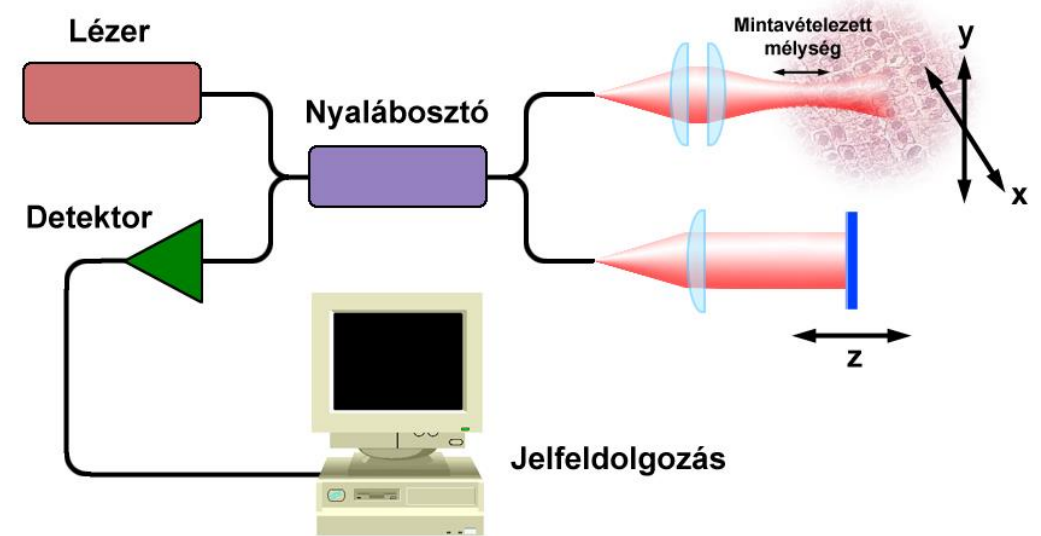


OCT – Optikai koherencia tomográfia

- Reflektáló rétegek képalkotása
- Az UH optikai analógiájának tekinthető
- 1-1,5 μm térbeli feloldóképesség
- noninvazív

Működése:

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

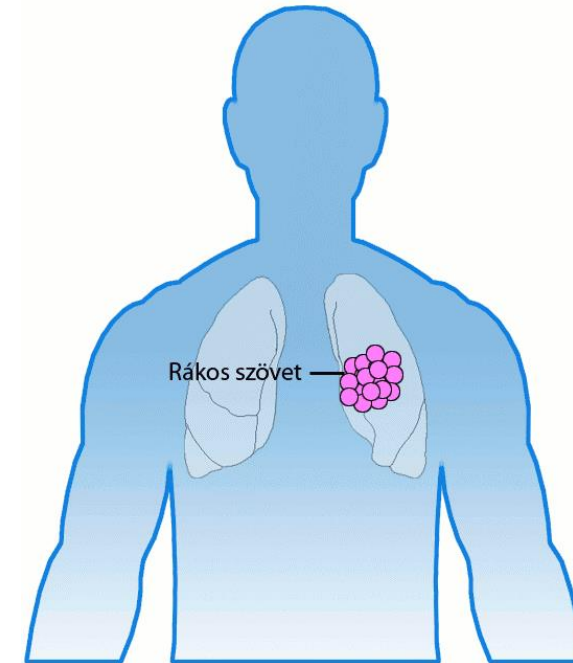


Lézerek orvosi alkalmazási lehetőségei – ONKOLÓGIA

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

