

A lézerek működési elve, típusai, orvosi alkalmazási területei

Haluszka Dóra

2024.10.30.

Laser/lézer

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

Fényerősítés a sugárzás indukált emissziója által



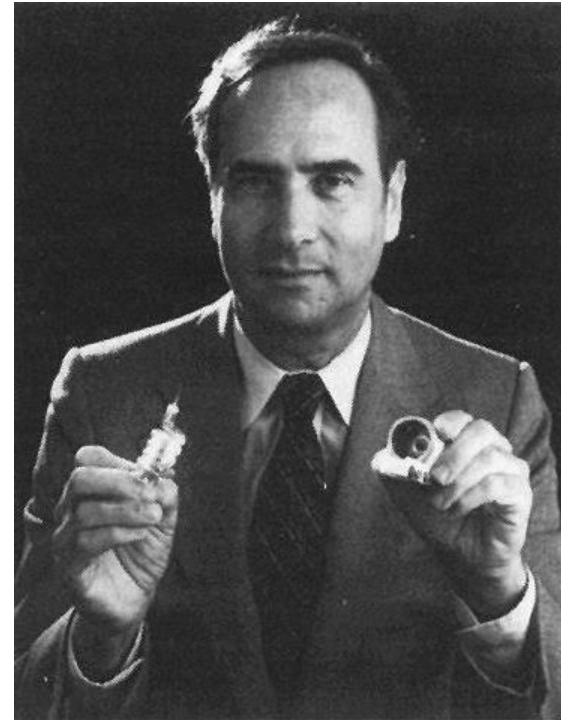
Egy kis történelem...

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

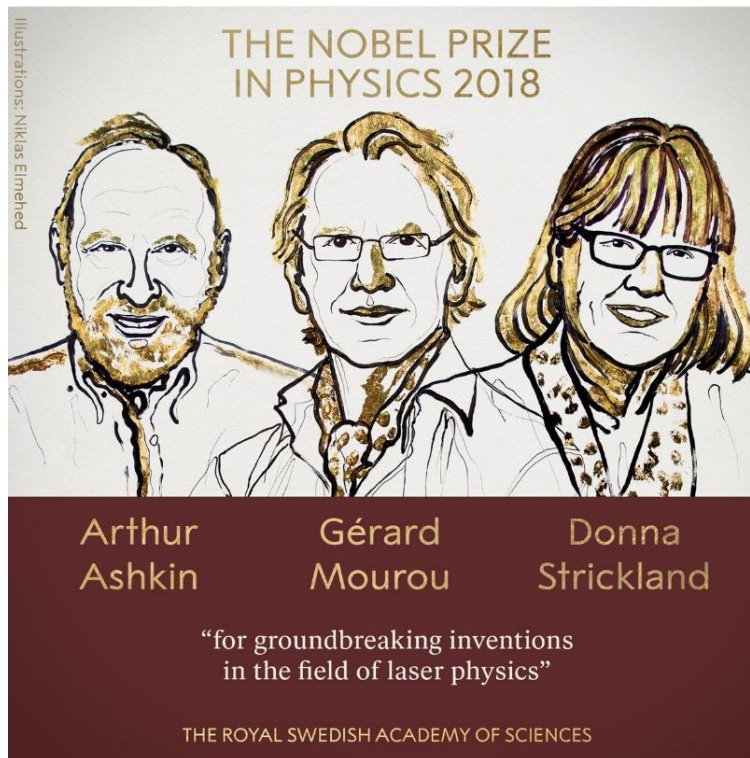
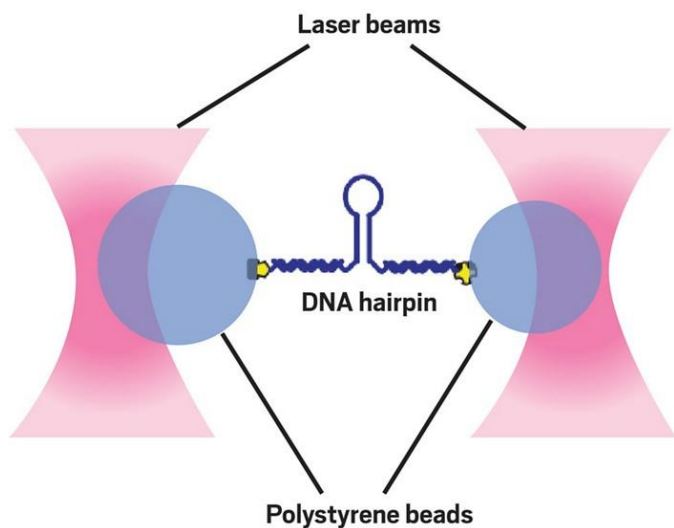
Fizikai Nobel-díj 2000
A félvezető lézergyártásért

Fizikai Nobel-díj 2018

A díjat a mai lézertechnika kifejlesztését megalapozó fizikai alap kutatásokért adományozták

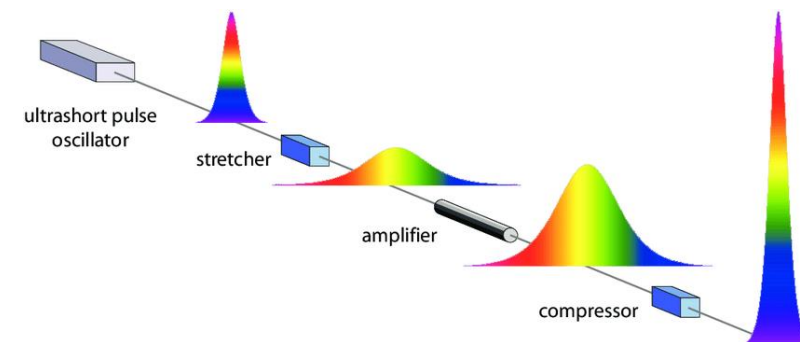
Ashkin,

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.



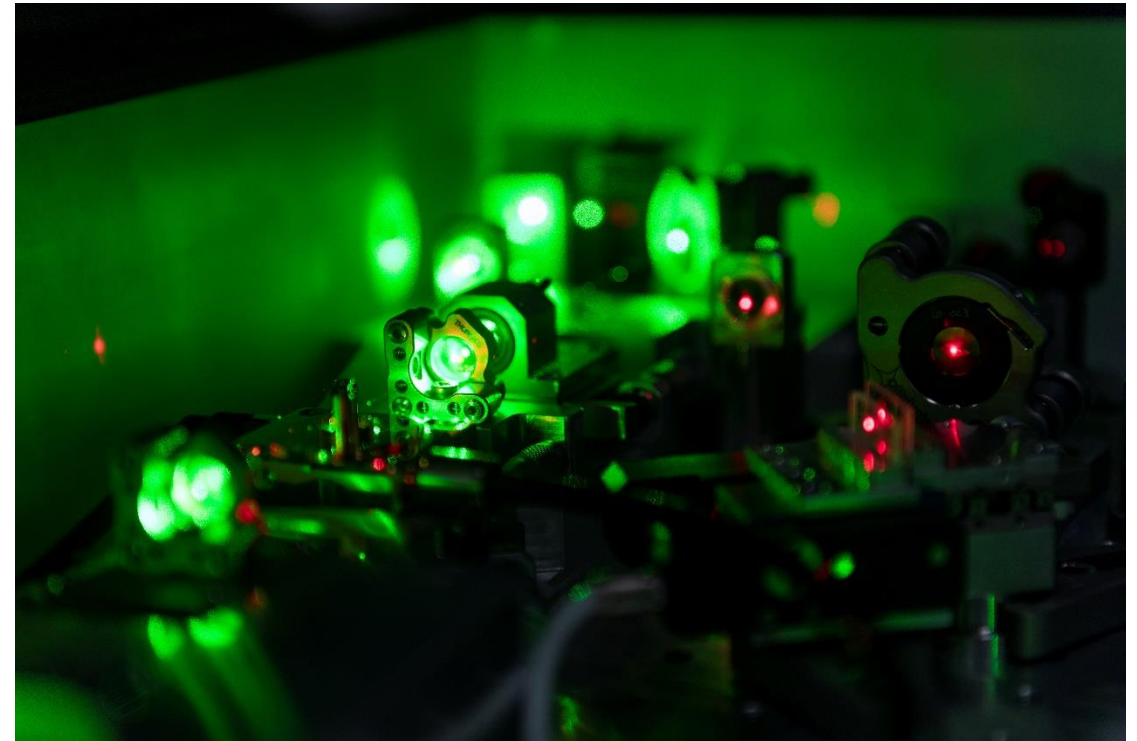
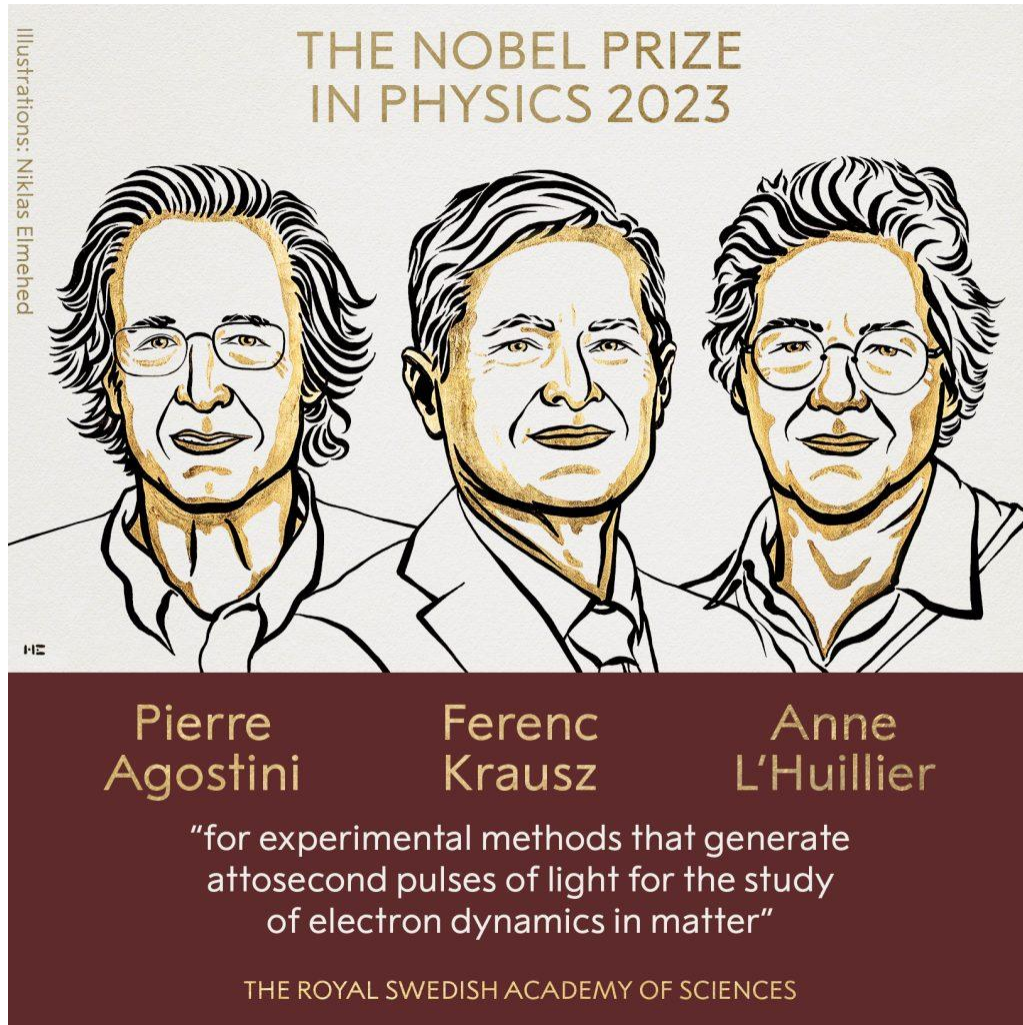
Mourou és Strickland

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.



Fizikai Nobel-díj 2023

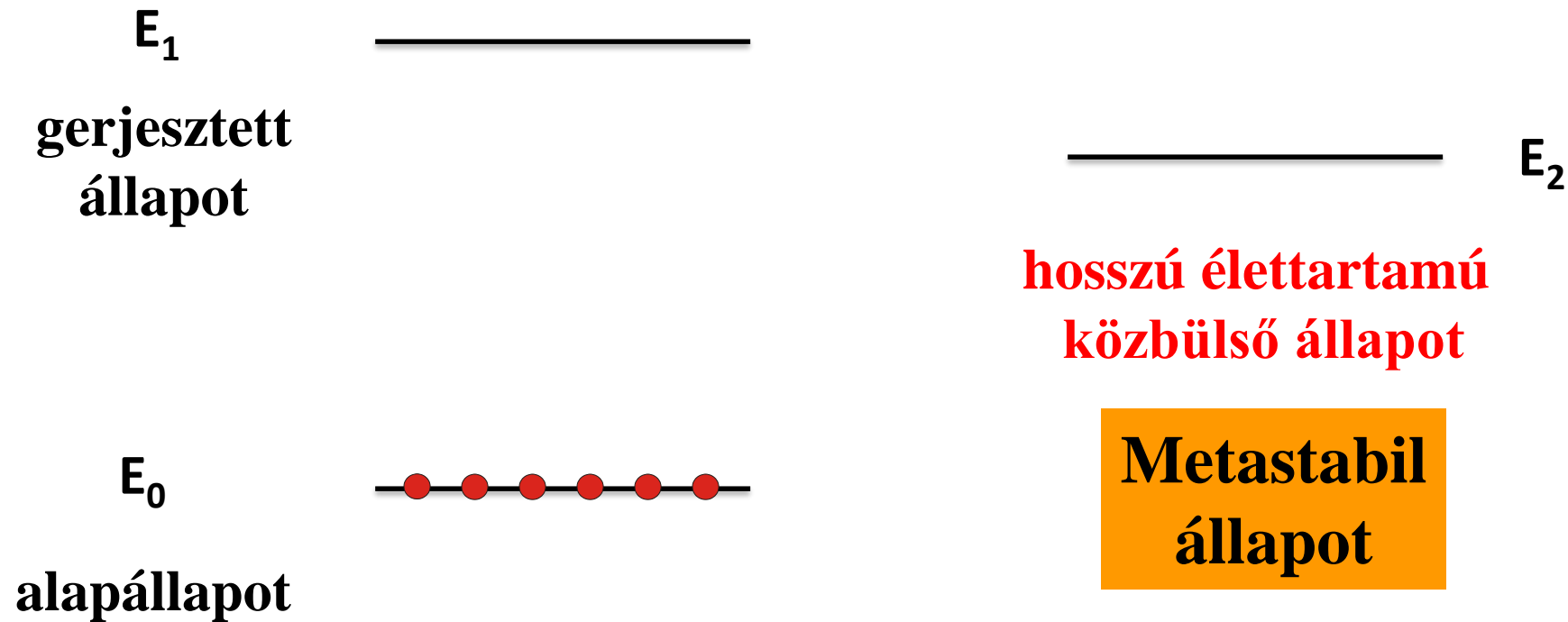
elektronok atomon belüli mozgásának vizsgálatát szolgáló attoszekundumos fényimpulzusokat előállító kísérleti módszereikért



A lézerfény előállításának feltételei és lépései

Speciális elektron energia állapotok

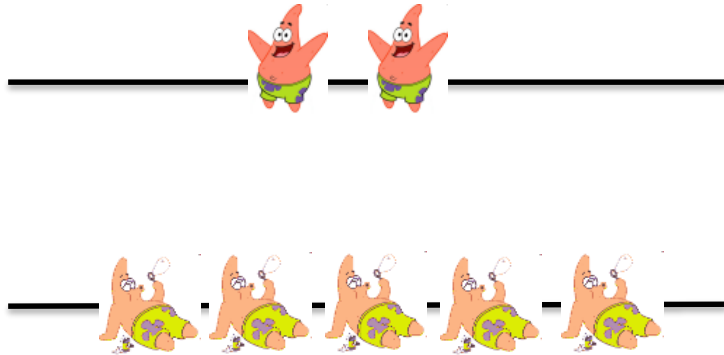
I. három energianívós rendszer



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

Elektronállapotok betöltöttsége

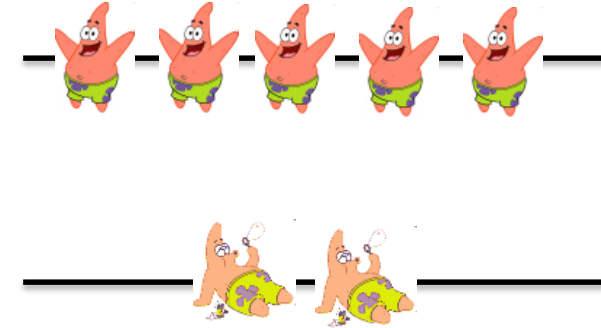
II: Populáció inverzió



Termikus egyensúly

Boltzmann eloszlás szerint:

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

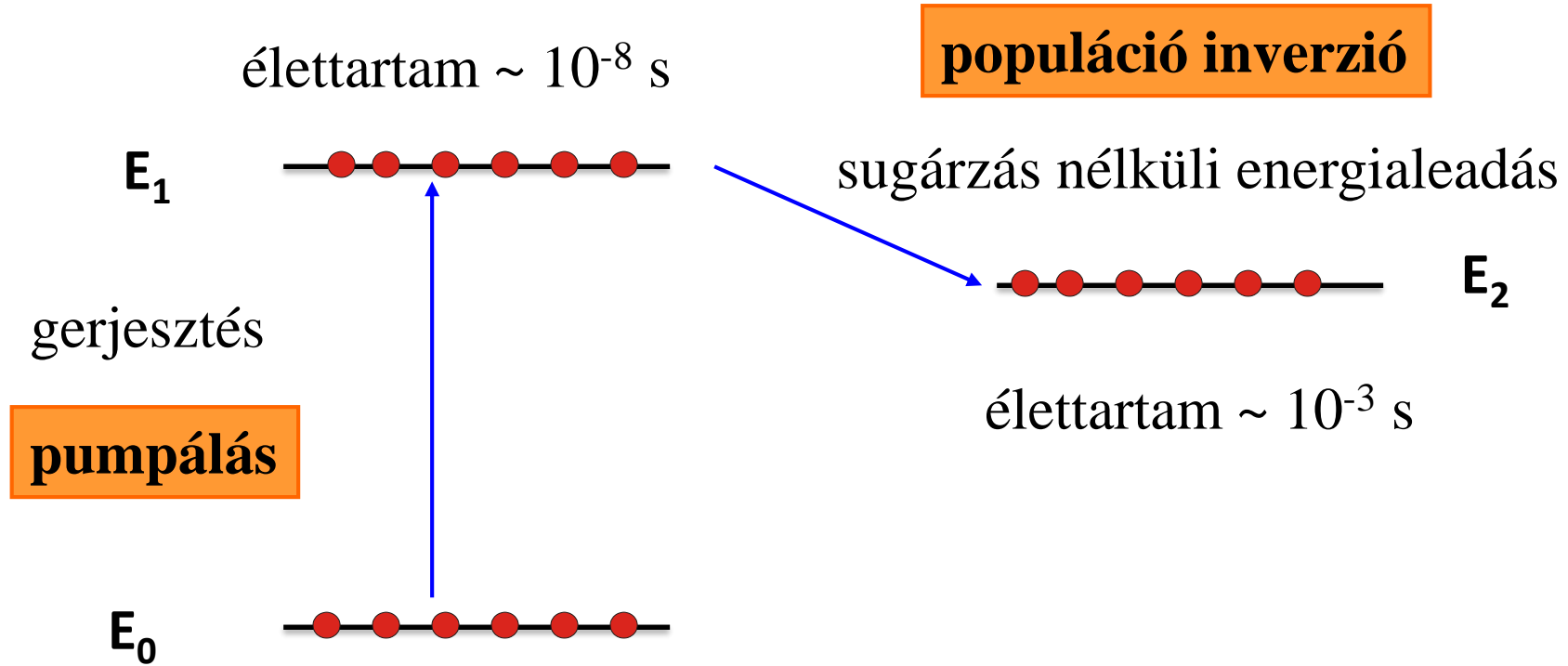


Populáció inverzió

“fordított” betöltöttség

Gerjesztés

III: Optikai pumpálás



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

Spontán emisszió

E_1 _____

E_0 _____●

●●●●●● _____

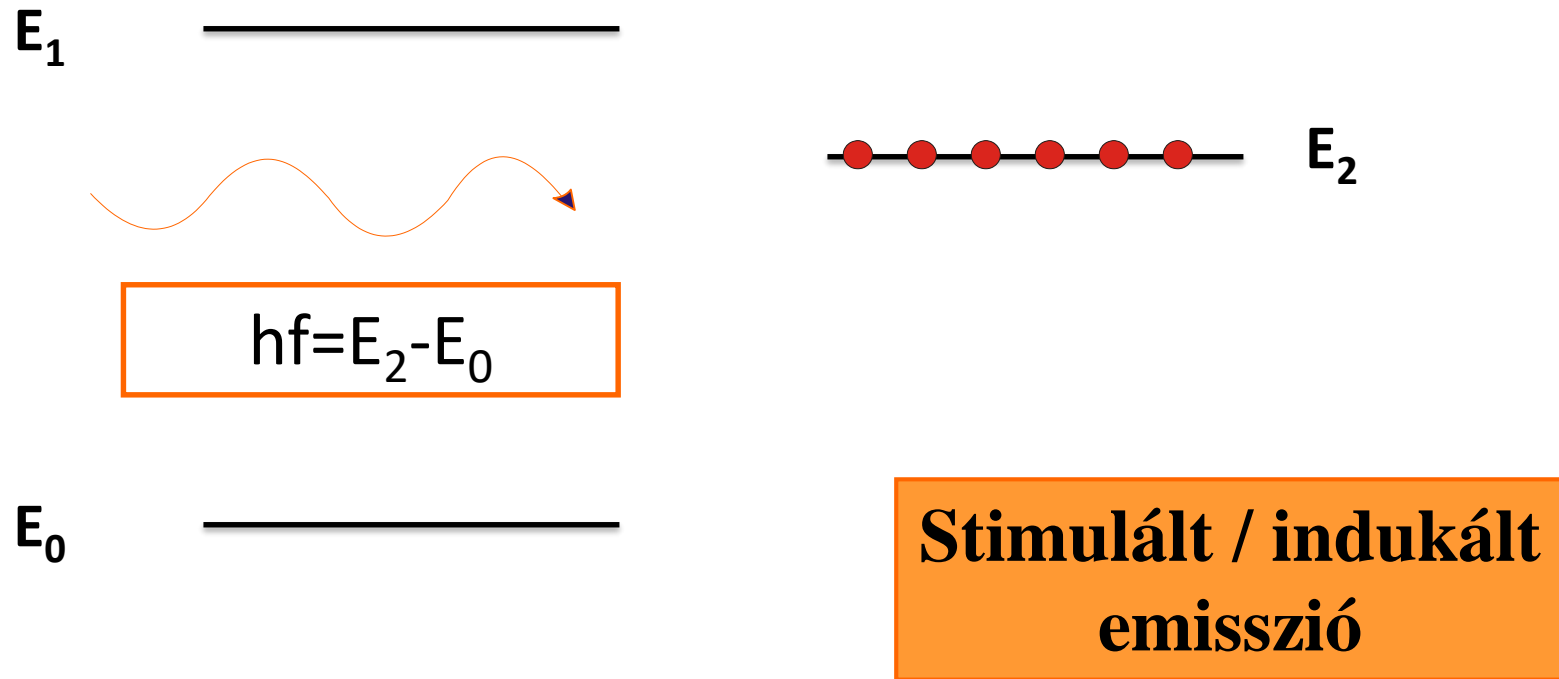
E_2



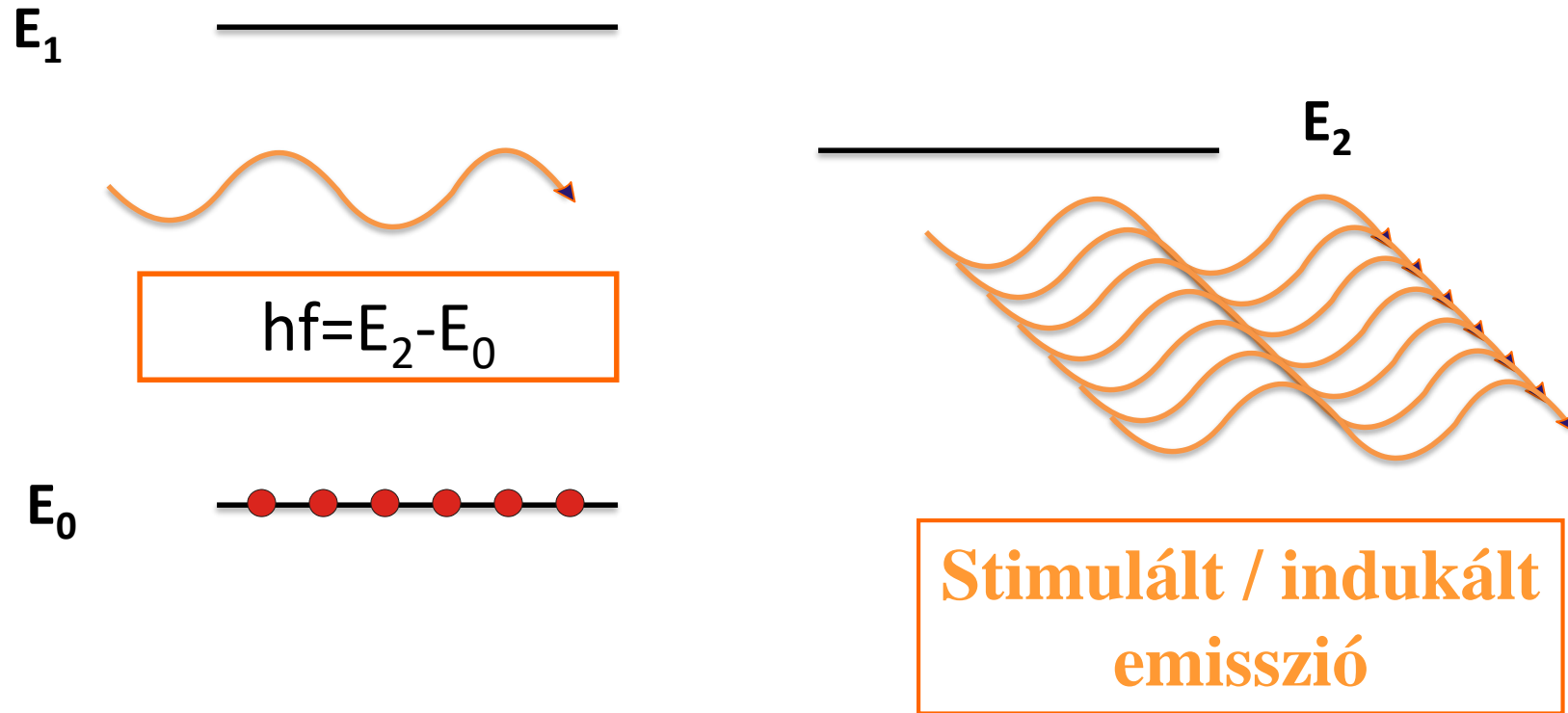
spontán
fényemisszió

kis valószínűséggel

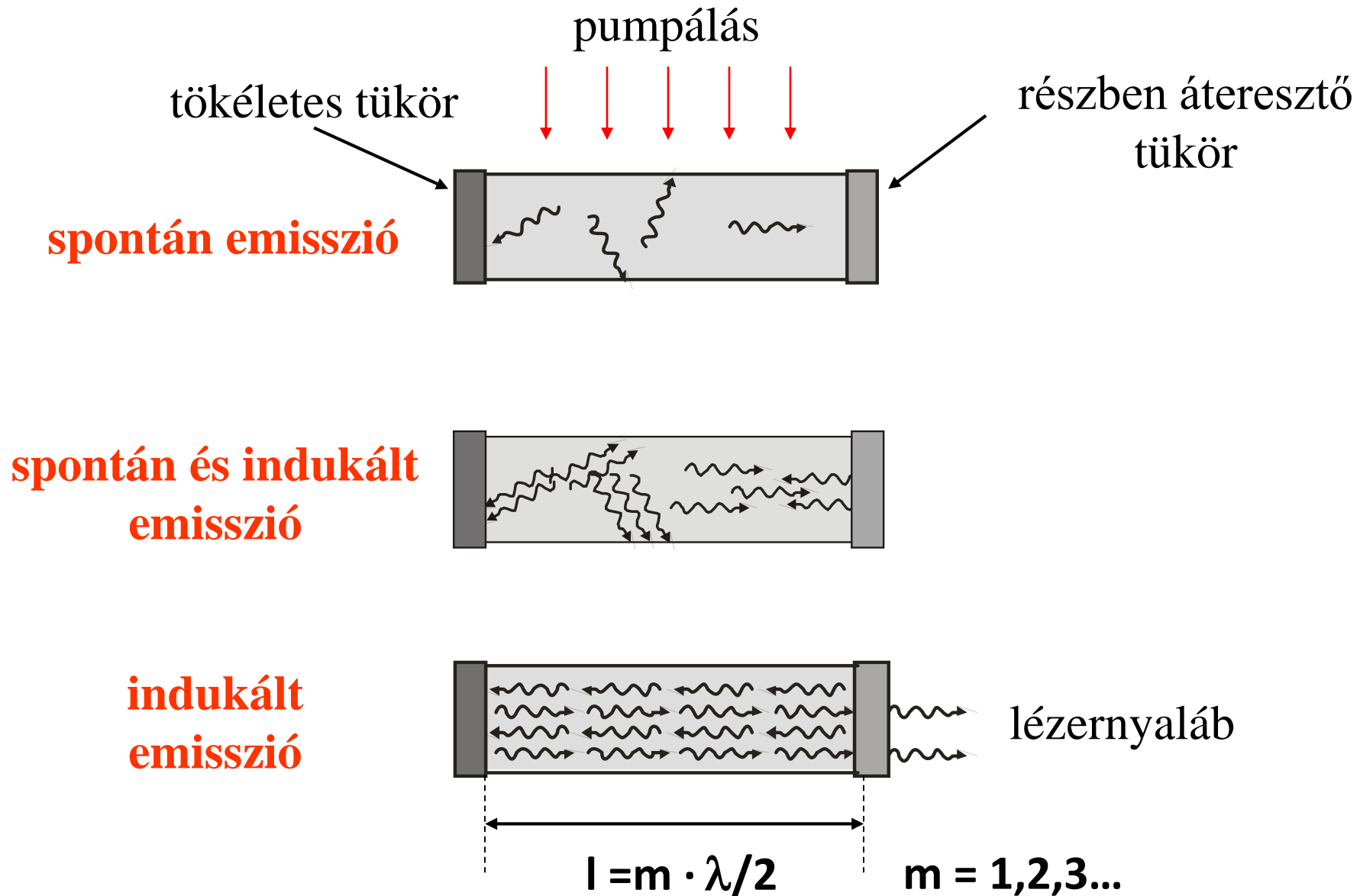
A metastabil nívón lévő elektronok relaxációjának stimulálása



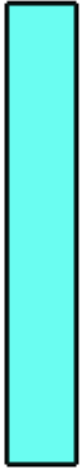
A metastabil nívón lévő elektronok relaxációjának stimulálása



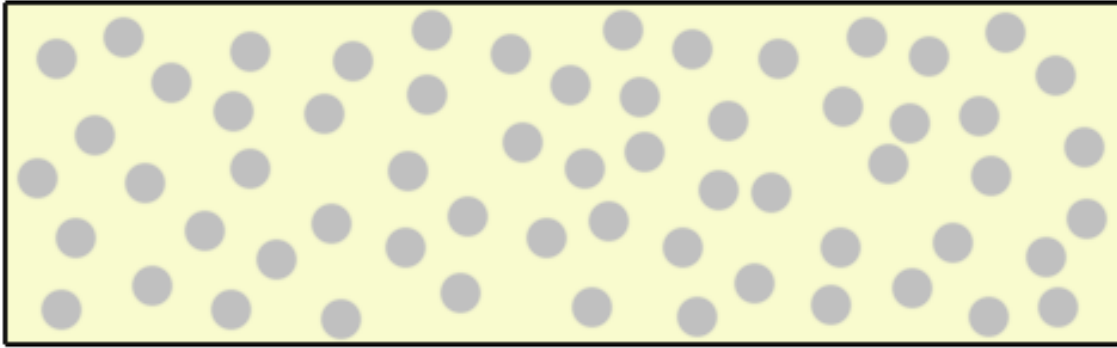
Lézercső – optikai rezonátor



záró tükör

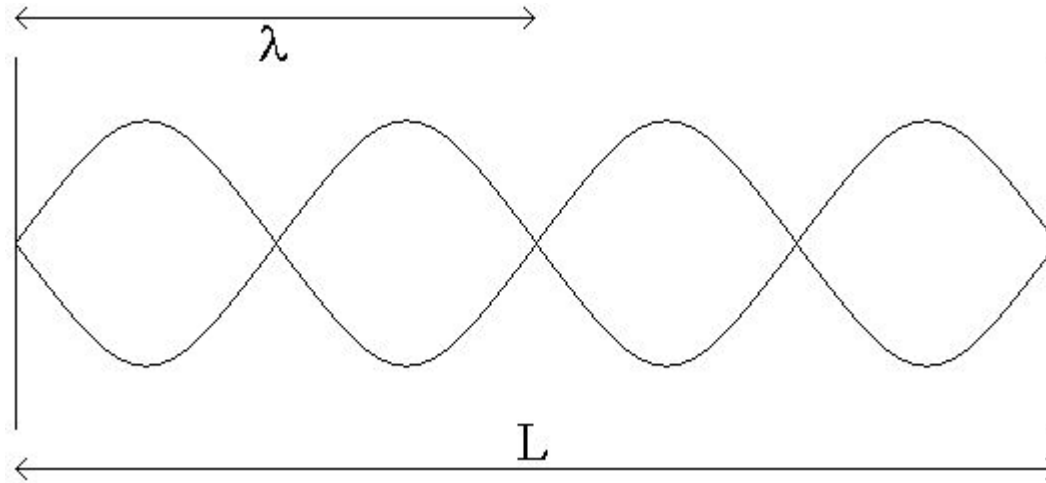


nyitó tükör



Alapállapotú lézereközeg

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

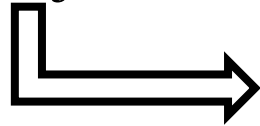


Állóhullám kialakulása a rezonátorban

Lézerfény általános tulajdonságai

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

- energiája
- fázisa
- rezgési síkja
- terjedési iránya



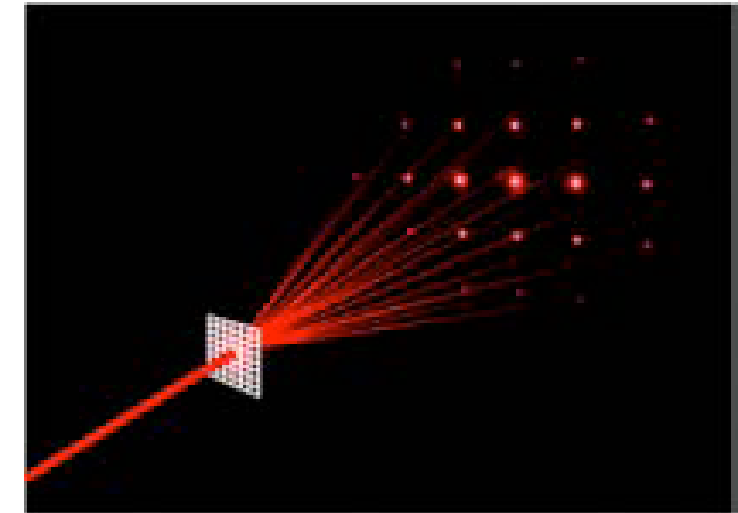
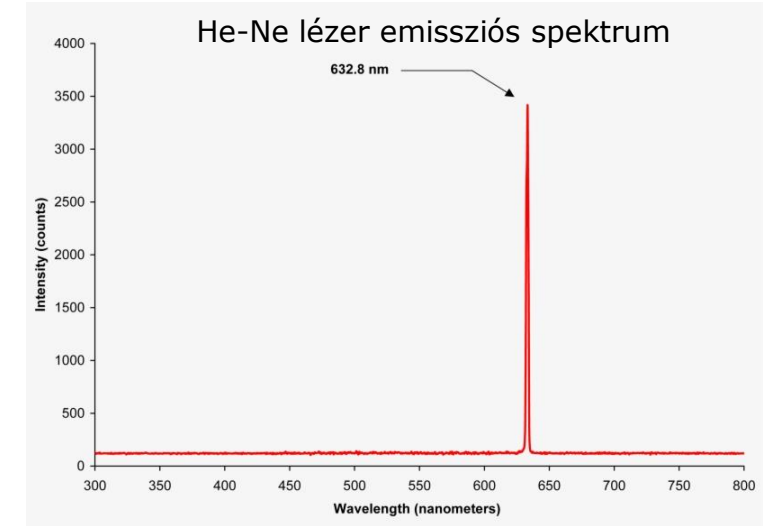
Ezért az indukált emisszióval keletkezett fény:



- Monokromatikus
- koherens
- poláros
- jól fókuszálható

Az indukált emisszióval keletkezett fény

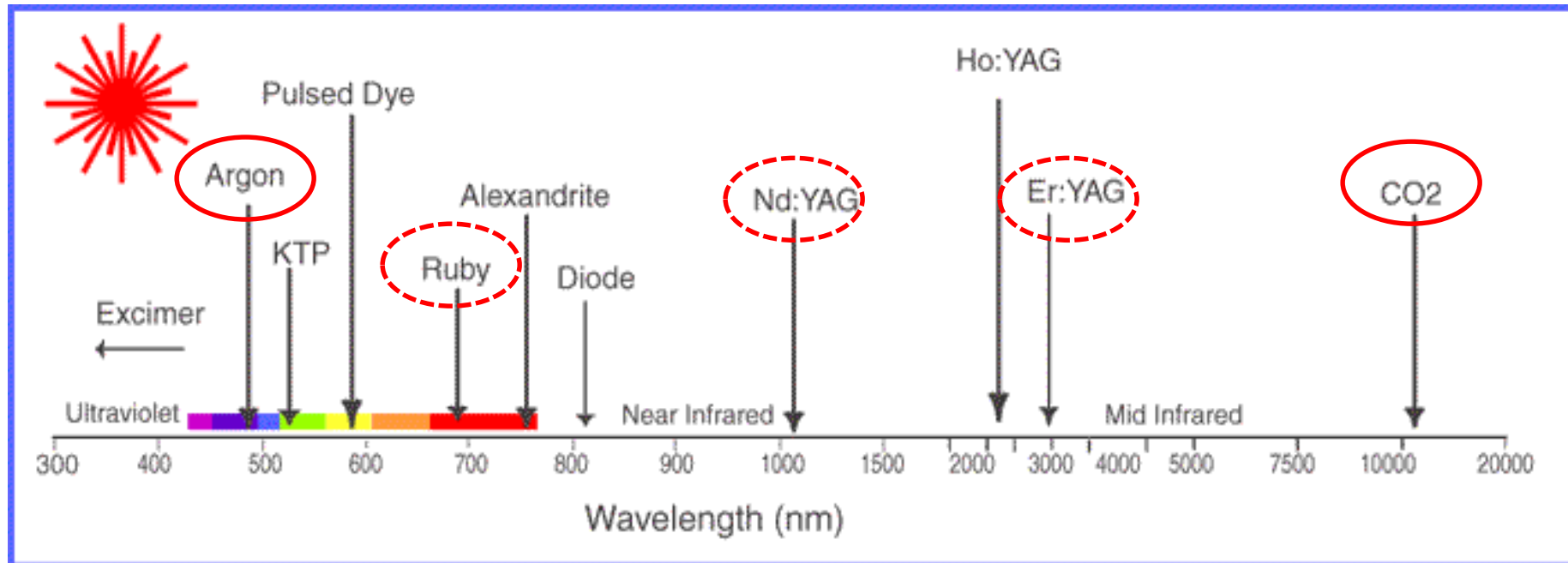
1. monokromatikus – keskeny spektrális sáv szélesség
2. koherens – interferenciaképesség
időbeli koherencia: (különböző időpontokban emittált fotonok fázisazonossága)
térbeli koherencia: (nyalábkeresztmetszet menti fázisazonosság)
3. Kis divergenciájú: kevésbé széttartó (közel párhuzamos)
4. Poláros
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



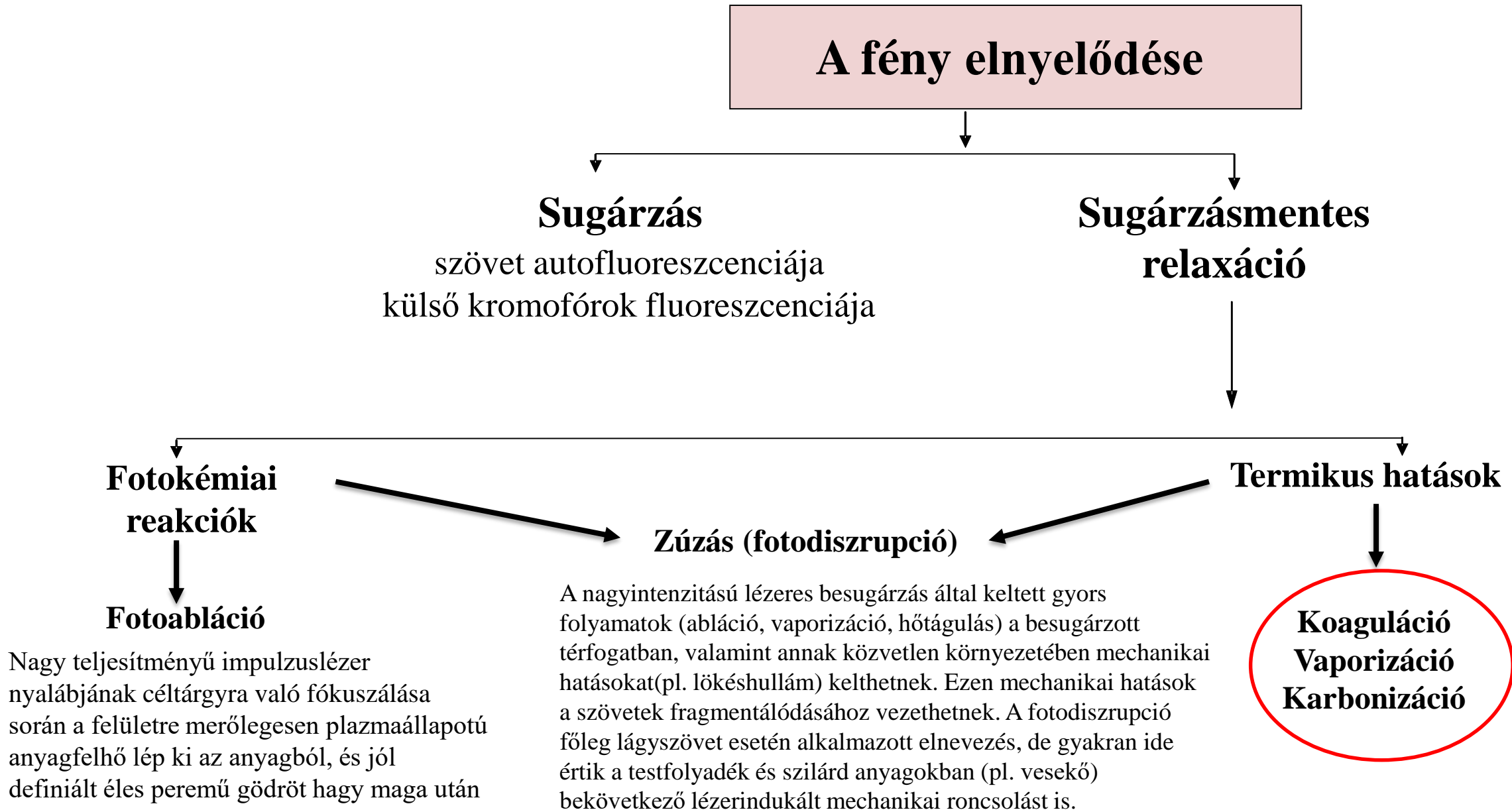
Lézer fény interferencia mintázat

Lézerek típusai – *anyaguk szerint*

1. Szilárdtest lézerek: fémionnal szennyezett kristályok (Rubin, Nd-YAG ittrium-aluminium-gránát, Ti-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 orvosi alkalmazási lehetőségei – egy kis elmélet...



Termikus hatások

*lézertermia,
biostimuláció*

koaguláció

karbonizáció

vaporizáció

40 °C

60 °C

100 °C

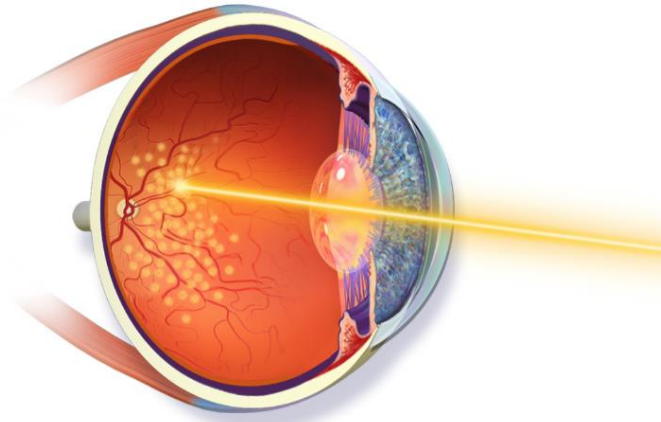
300 °C



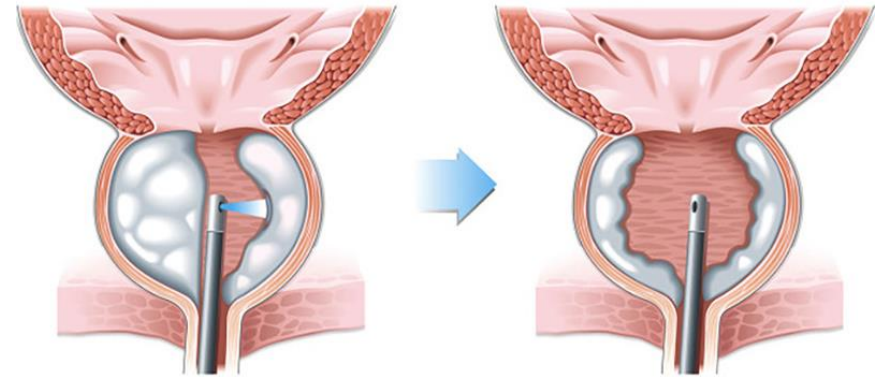
Ortopédiai alkalmazás



Szájüregi herpesz

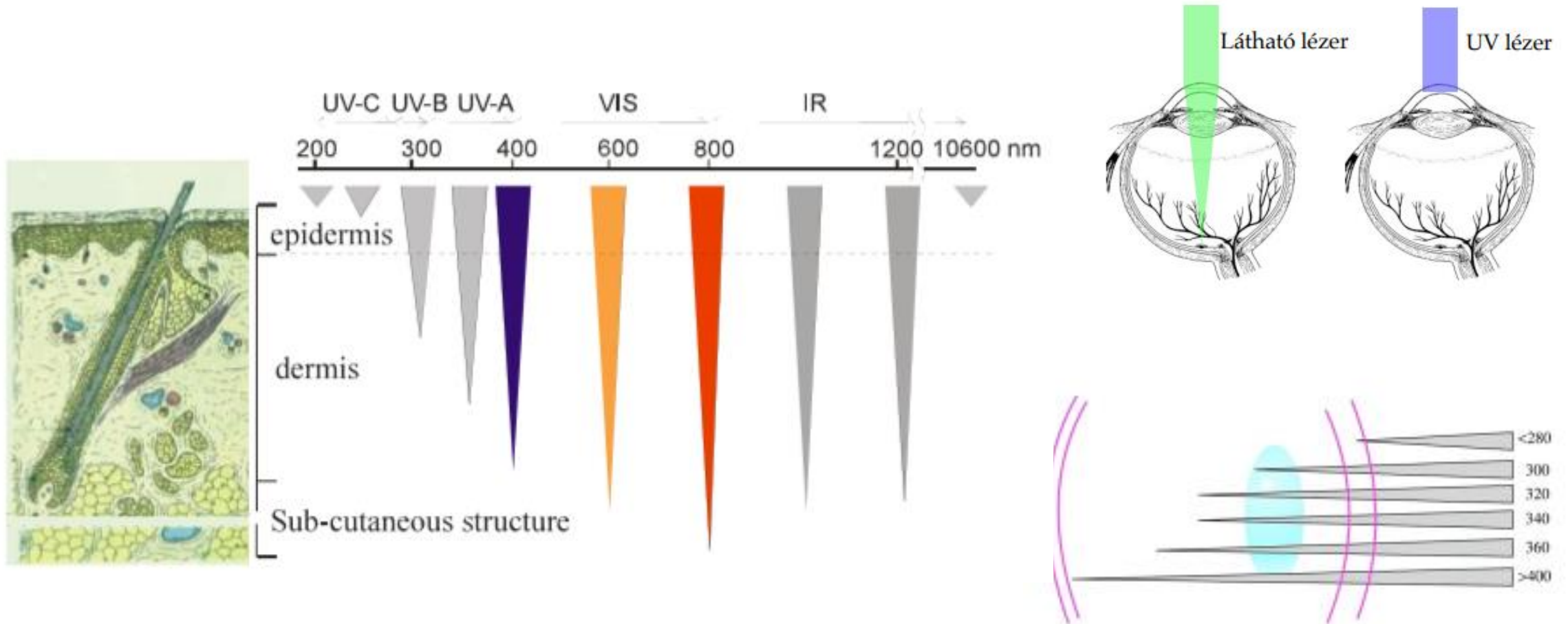


Retina kezelése



Prosztata megnagyobbodás
lézeres kezelése

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



Lézerek orvosi alkalmazási lehetőségei – FOGÁSZAT

Softlézer terápia (SLT)

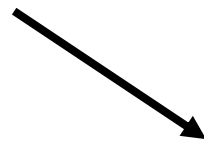
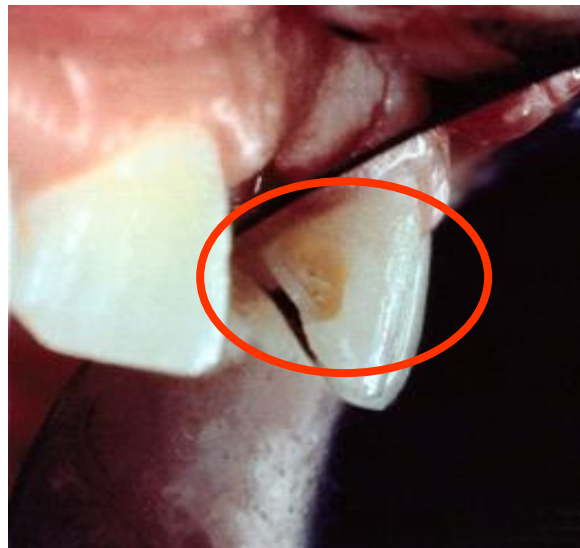
- Biostimuláció
- Alacsony teljesítmény: 100-150 mW
- Két hullámhossz tartomány:
650-660 nm – 3 cm hatásmélység,
780-980 nm – 8-10 cm mélység
- Gyorsabb sebgyógyulás
- Antimikrobiális hatás
- csontpótlás, az implantátumok
beültetését követő folyamatok
- állkapocs-ízületi kórképek



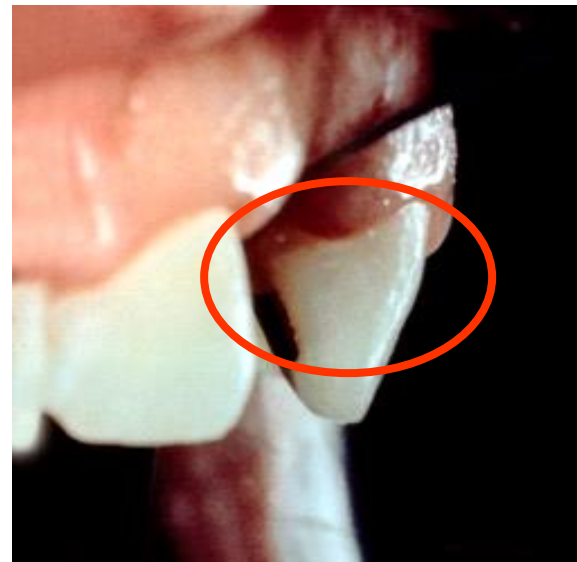
Caries lézeres eltávolítása

- 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

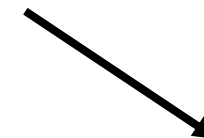
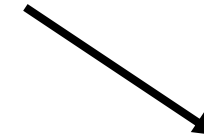


Lézeres fogfehérítés

- Argon lézer
- 488 nm

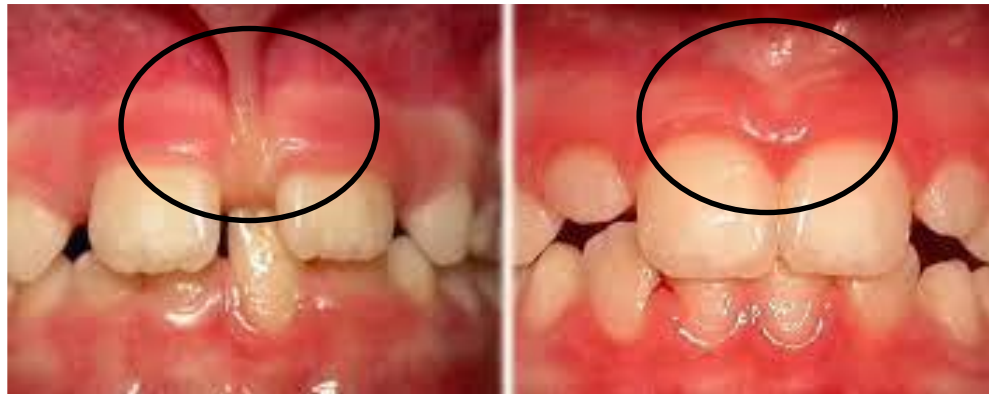
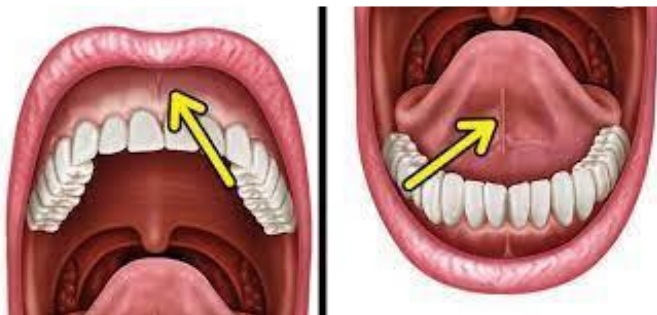


Fogfehérítő toll reklám...



Szájsebészeti alkalmazások

Nd: YAP* lézer
1340 nm



Frenulectomia (ajakfék, nyelvfék)



gingivectomy



*YAlO₃: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

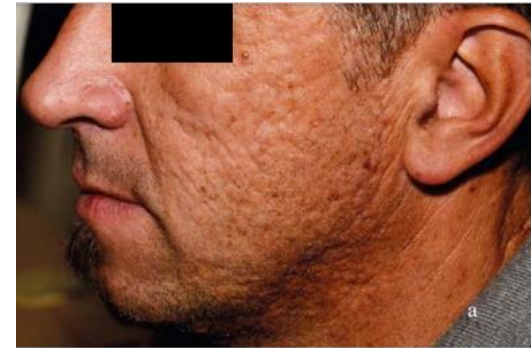
CO₂ lézer

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

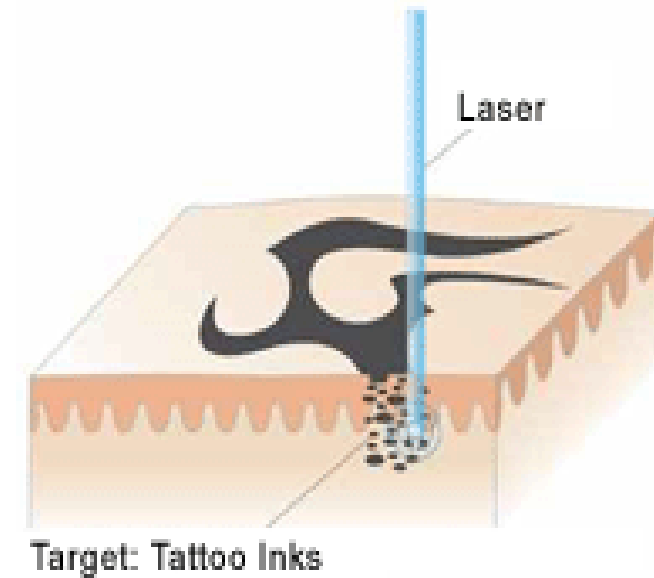


melanin abszorpciós spektruma 400–1200 nm

Rubin: 694 nm

Alexandrite: 755 nm

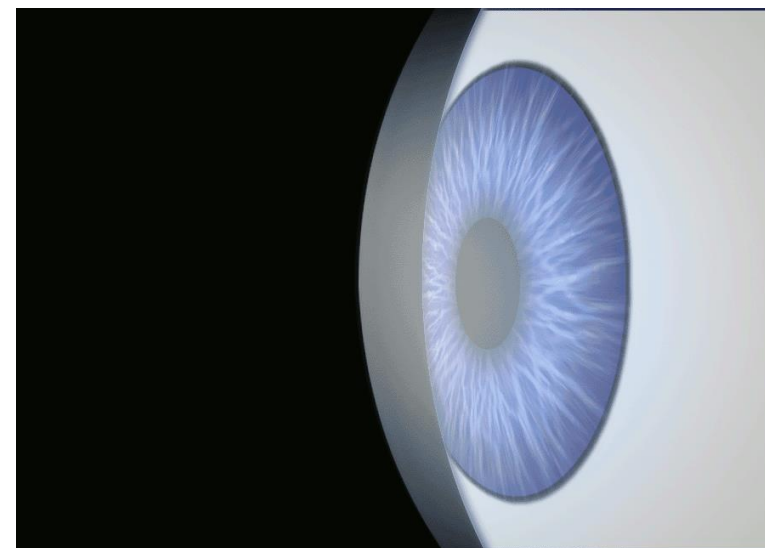
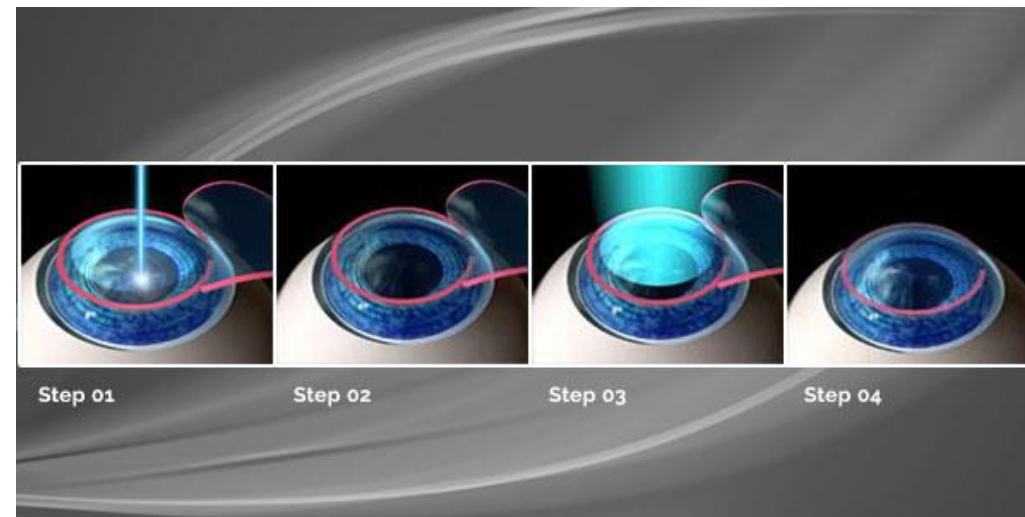
NdYAG: 1064 nm



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

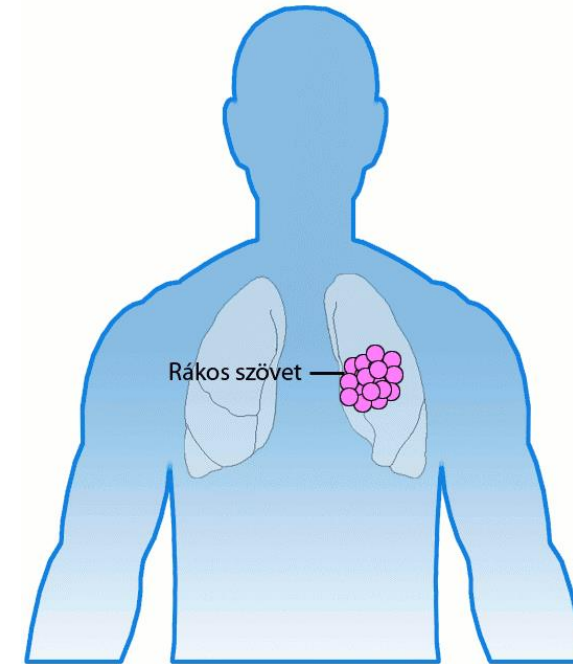


Lézerek orvosi alkalmazási lehetőségei – ONKOLÓGIA

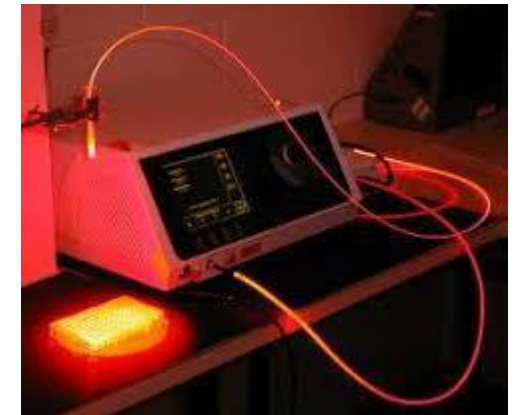
PDT – Fotodinámiás terápia

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

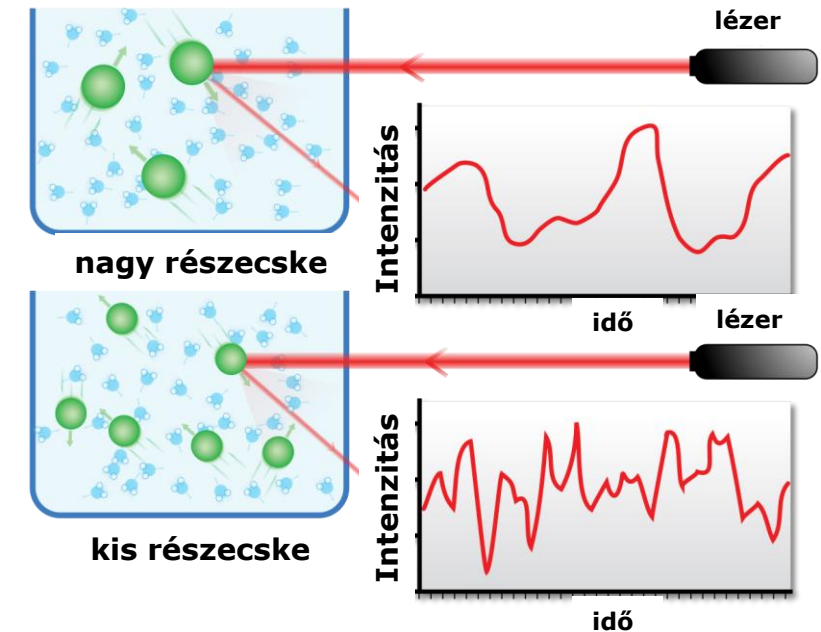
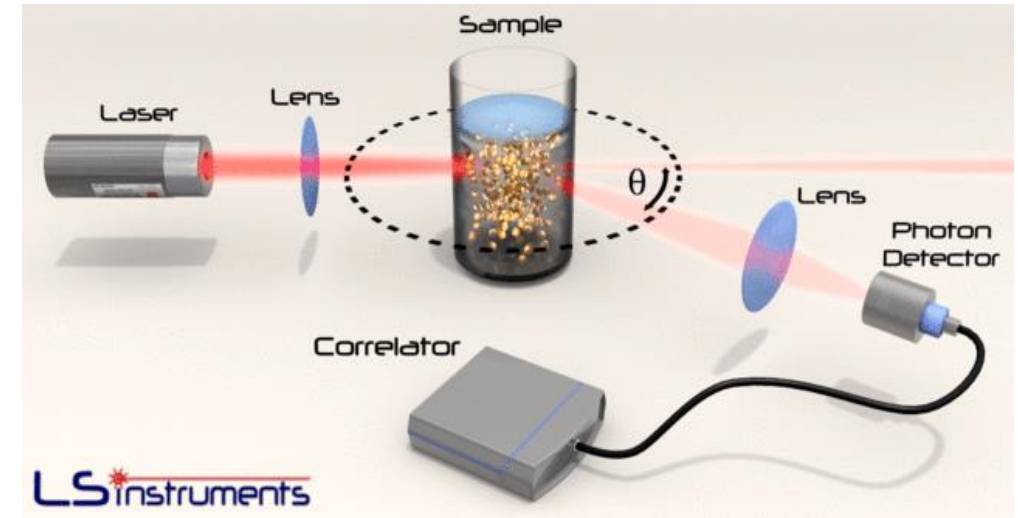
IX. 1.2

Lézerek alkalmazási lehetőségei – laboratóriumi technikák

Dinamikus fényszórás (DLS)

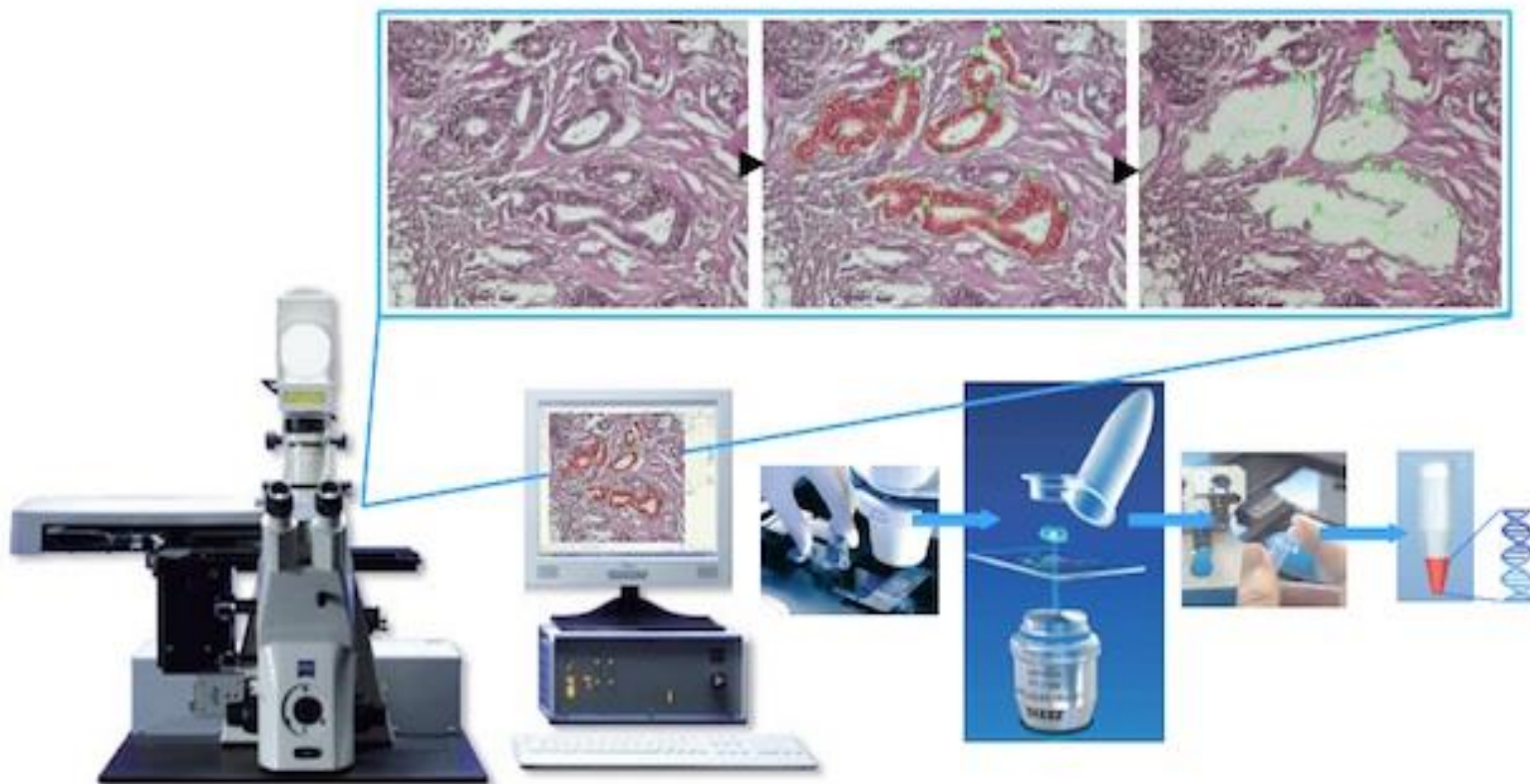
- nm-es nagyságú diffundáló részecskék
- a szuszpenzióban lévő részecskék a megvilágító fényt szórják
- emiatt annak minden időpillanatban véletlenszerűen változik az intenzitása
- ez összefüggésben van a részecskék méretével
- diffúziós állandó meghatározható
- részecske hidrodinamikai sugara kiszámolható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

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

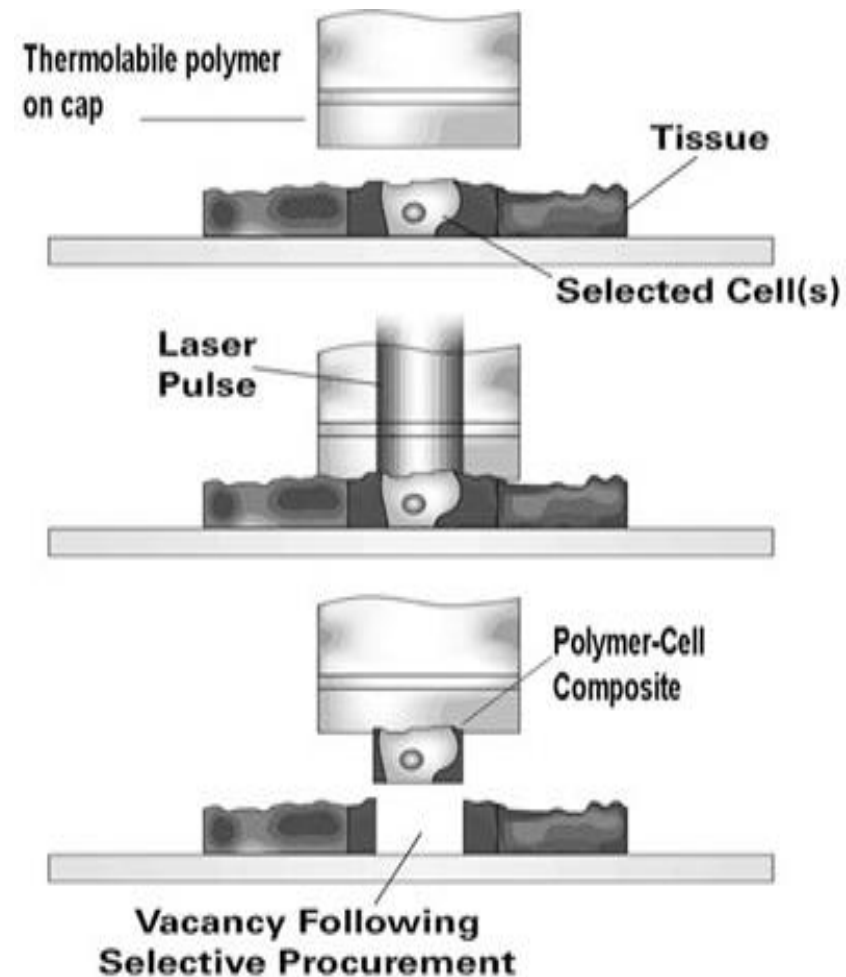


Laser capture microdissection (LCM)

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

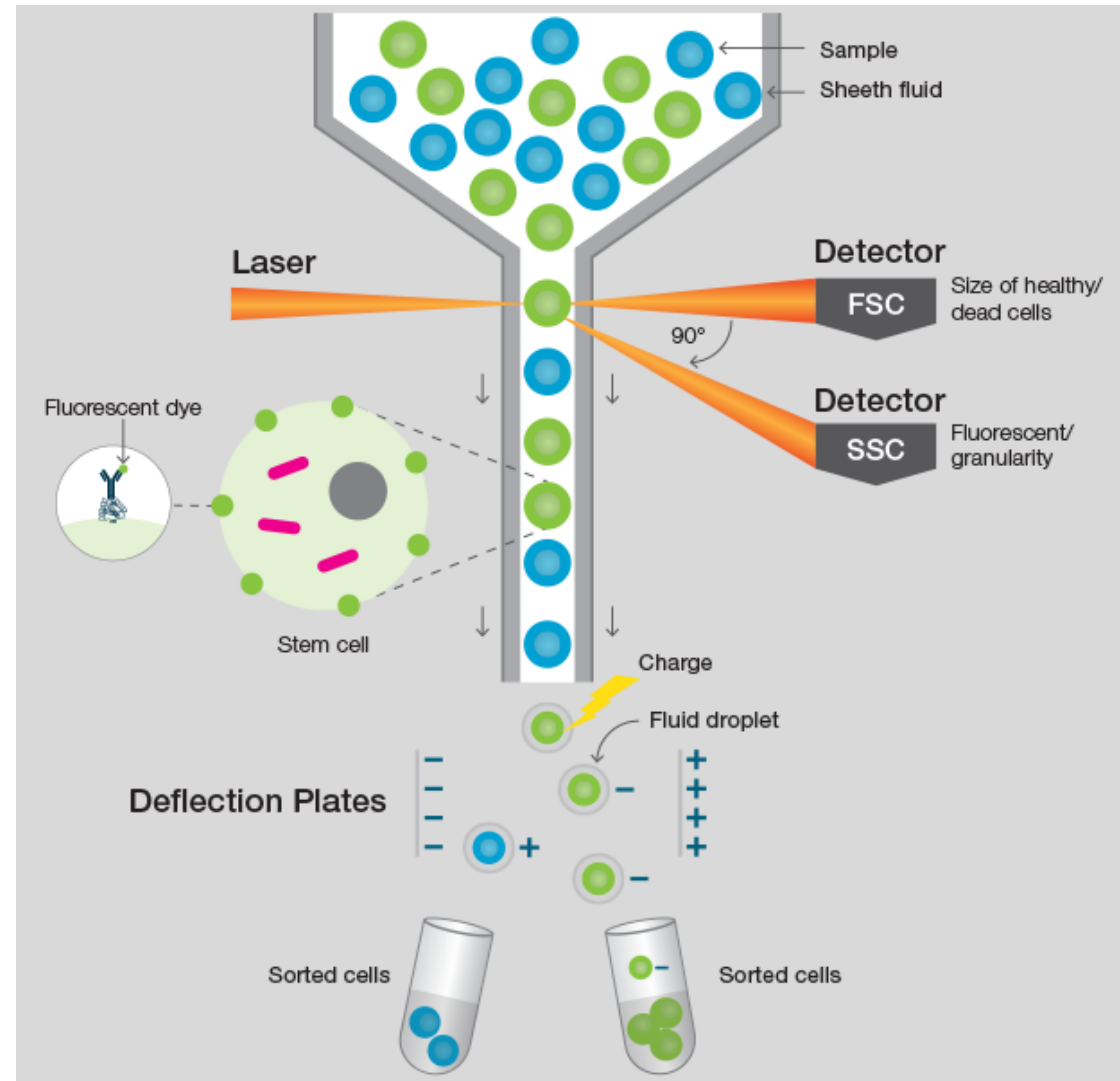


UV lézer – vágás
IR lézer – melegítés

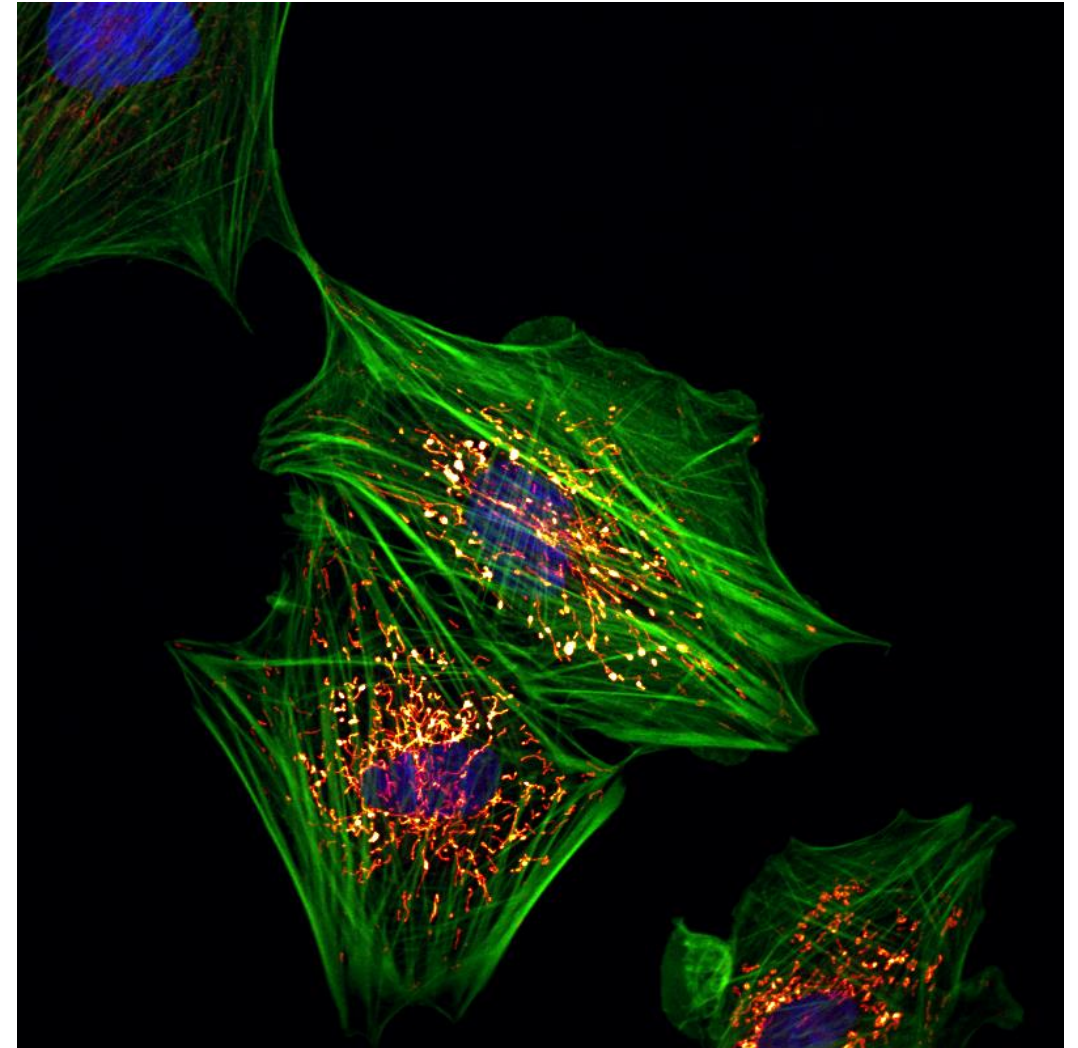
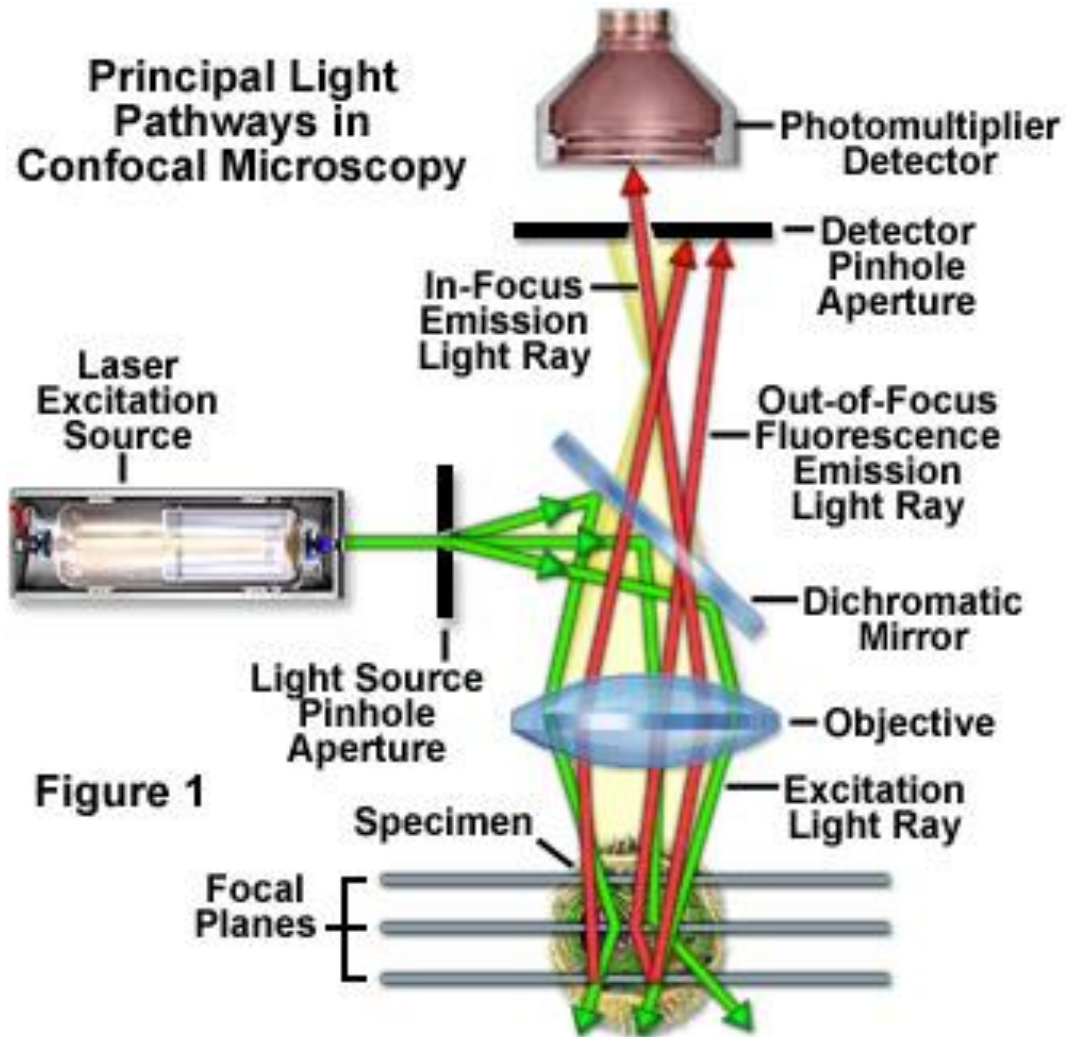
FACS (Fluorescence activated cell sorter)

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 – SZEMÉSZET

OCT – Optikai koherencia tomográfia

- Reflektáló rétegek képképzése
- 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

