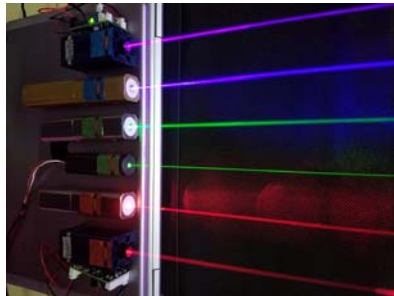


LASER Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

Fényerősítést megvalósító lumineszcens fényforrás.



5 mW diódalézer, néhány mm



Terawattos NOVA lézer - Lawrence Livermore Laboratories. Futballpálya méretű

2019.11.14 Kaposi András, Kellermayer Miklós előadása alapján

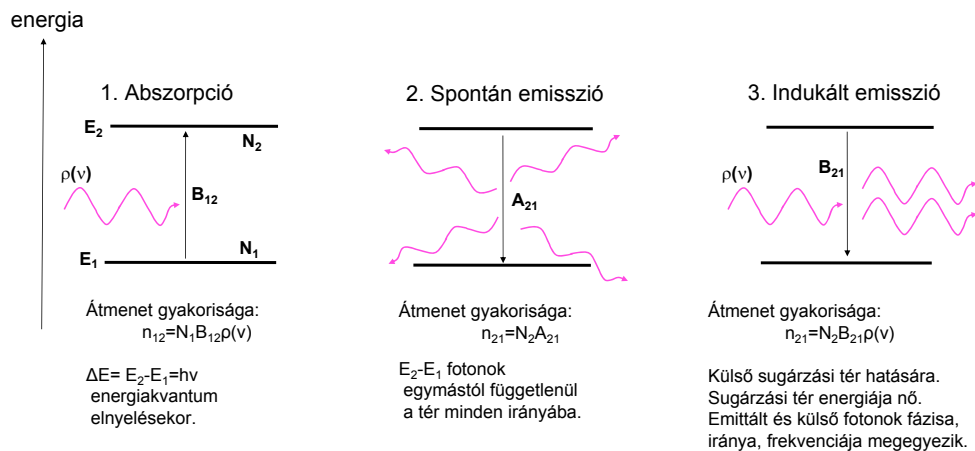
Történet



- **1917** - *Albert Einstein*: indukált emisszió elméleti predikciója.
- **1946** - *G. Meyer-Schwickerath*: első szeműtét fényvel.
- **1950** - *Arthur Schawlow és Charles Townes*: az emittált fotonok a látható tartományba eshetnek.
- **1954** - *N.G. Basow, A.M. Prochorov, és C. Townes*: ammónia mézer
- **1960** - *Theodore Maiman*: első lézer (rubin lézer)
- **1964** - *Basow, Prochorow, Townes (Nobel-díj)*: kvantum elektronika
- **1970** - *Arthur Ashkin*: lézercsipesz
- **1971** - *Gábor Dénes (Nobel-díj)*: holográfia (1947)
- **1997** - *S. Chu, W.D. Phillips és C. Cohen-Tanoudji (Nobel-díj)*: lézeres atomhűtés.
- **2013. október 8** - *NIF (National Ignition Facility, USA)*: magfúzió beindítása 192 lézernyalábbal, pozitív energiamérleg.
- **2017** - *ELI (Extreme Light Infrastructure) indulása, Szeged*. Attoszekundumos (10^{-18} s) fényimpulzusok előállítás.
- **2018** - Fizikai Nobel-díj: *Arthur Ashkin* (lézercsipesz), *Gérard Mourou* és *Donna Strickland* (ultrarövid lézerimpulzusok)

2

A lézer alapjai. Indukált (stimulált) emisszió

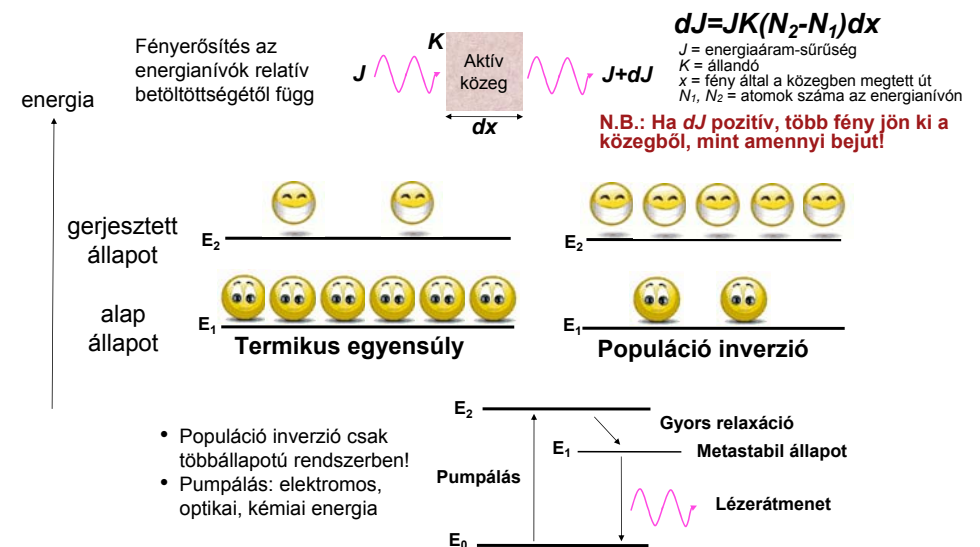


Magyarázat: kétállapotú atomi vagy molekuláris rendszer
 E_1, E_2 : energianívók, $E_2 > E_1$
 $\rho(\nu)$: sugárzási tér spektrális energiasűrűsége
 N_1, N_2 : adott energianívón levő atomok, molekulák száma
 B_{12}, A_{21}, B_{21} : energianívók közötti átmeneti valószínűségek (Einstein-féle együtthatók), $B_{12} = B_{21}$

Vö. tankönyv II.31 ábra

3

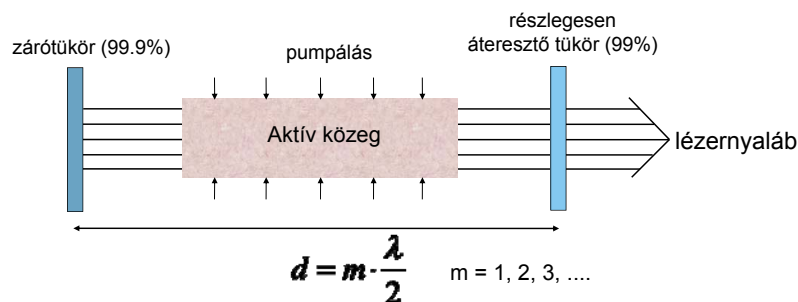
A lézer alapjai. Populáció inverzió



- Populáció inverzió csak többállapotú rendszerben!
- Pumpálás: elektromos, optikai, kémiai energia

4

A lézer alapjai. Optikai rezonancia



Rezonátor:

- két párhuzamos sík (vagy homorú) tükör
- a kimenő fényteljesítmény egy részét visszacsatolja a közegbe
- pozitív visszacsatolás -> öngerjesztés -> rezonancia

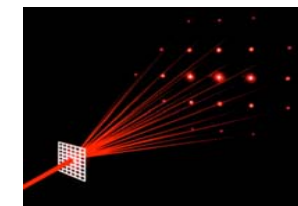
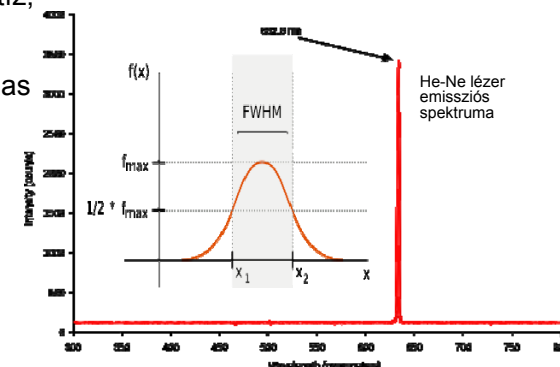
• Optikai zár a rezonátorban: Q-csatolás, impulzus üzemmód

5

A lézerfény tulajdonságai

1. **Kis divergenciájú**
párhuzamos nyaláb
2. **Nagy teljesítmény/**
teljesítmény sűrűség
Folytonos üzemmódban több tíz, akár száz W (pl. CO₂ lézer)
Impulzus üzemmódban a pillanatnyi teljesítmény hatalmas (GW)
3. **Kis spektrális sávszélesség**
Monokromatikus
4. **Polarizált**
5. **Rendkívül rövid impulzusok**
lehetősége (ps, fs)
6. **Koherens**

Fázisazonosság,
interferenciaképesség
Időbeli koherencia (különböző időpontokban emittált fotonok fázisazonossága)
Térbeli koherencia
(nyalábkeresztmetszet menti fázisazonosság)



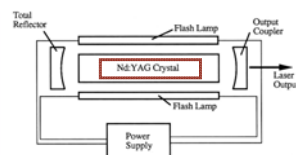
6

Lézertípusok a fényerősítő közeg alapján

Fényerősítő közeg alapján:

1. Szilárdtest lézerek

Kristályokba v. üvegyanyagokba bevitt fémszennyeződés; Rubin, Nd-YAG, Ti-zafir
Vörös-infravörös spektrális tartomány; Folytonos, Q-kapcsolású üzemmód, nagy teljesítmény



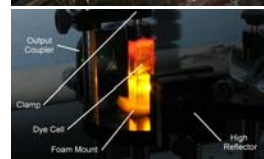
2. Gázlézerek

Legismertebb: He-Ne lézer (10 He/Ne). Kis energia, Széleskörű használat
CO₂ lézer: CO₂-N₂-He keverék; $\lambda \sim 10 \mu\text{m}$; Óriási teljesítmény (100 W)



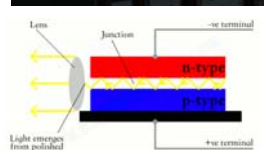
3. Festéklézerek

Szerves festékek (pl. rodamin, kumarin) híg oldata; Pumpálásra más lézer használt
Nagy teljesítmény (Q-kapcsolt módban); Hangolható



4. Félvezető (dióda) lézerek

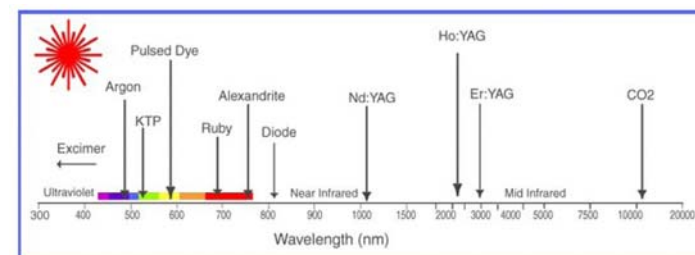
Összefekvő p- és n-típusú, szennyezett félvezetők határán.
Rezonátor tükrökre nincs szükség (belső visszaverődés)
Vörös, IR spektrális tartomány. Nagy kontinuos üzemmódú teljesítmény (akár 100W)
Nyalábkarakterisztika nem túl jó. Kis méret miatt széleskörű alkalmazás.



A röntgentől az infravörösre rendezésre állnak lézervonalak.

7

Lézertípusok a hullámhossz alapján



A röntgentől az infravörösre rendezésre állnak lézervonalak.

A lézeralkalmazás szempontjai

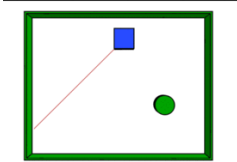
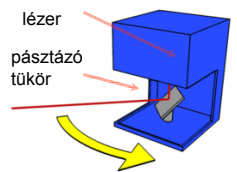
- Irányíthatóság (kis divergencia)
- monokromatikuság
- koherencia
- rövid impulzusok lehetősége
- teljesítmény

- 10 mW DVD lejátszó
- 200 mW DVD író
- 20 W szilárdtest lézer mikromegmunkálásra
- 100 W sebészeti CO₂ lézer
- 3 kW ipari CO₂ lézer (lézervágó)
- 1 kW 1 cm diódalézer-rúd

8

Távolság/sebességmérés lézerrel. LIDAR: "Light Detection and Ranging"

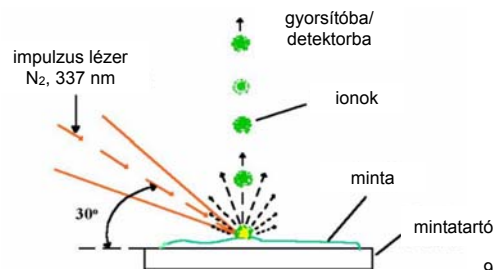
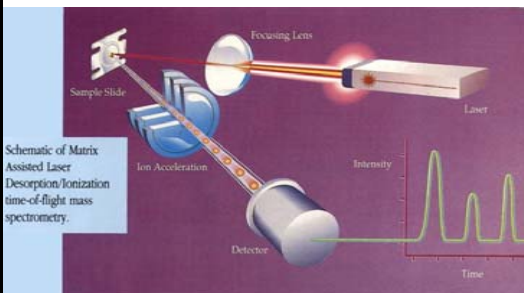
irányíthatóság, rövid impulzusok



Felvétel:
rekonstruált térbeli
elhelyezkedés.
Közlekedési
sebességmérőben:
100 impulzus 0.3 s
alatt

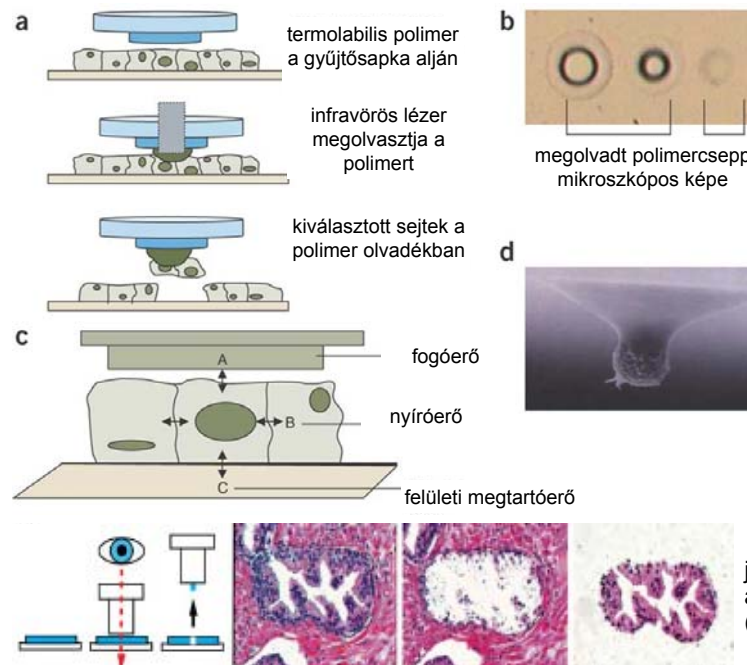
MALDI-TOF: matrix-assisted laser desorption/ionization time of flight mass spectrometry

teljesítménysűrűség



9

"Laser capture microdissection"

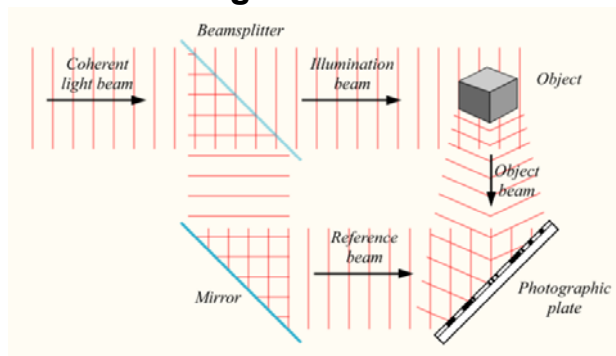


teljesítménysűrűség,
irányíthatóság

jelentőség: lokális
analitika lehetősége
(kémia, genetika)

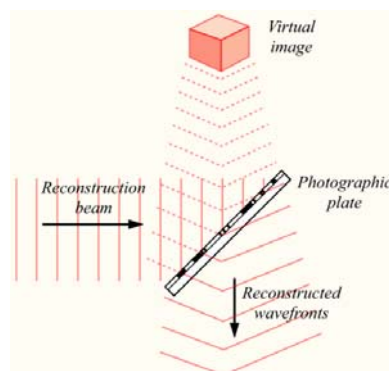
10

Holográfia



hologram felvétele

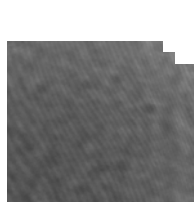
koherencia



hologram megtekintése



Gábor Dénes
(1900-1979)



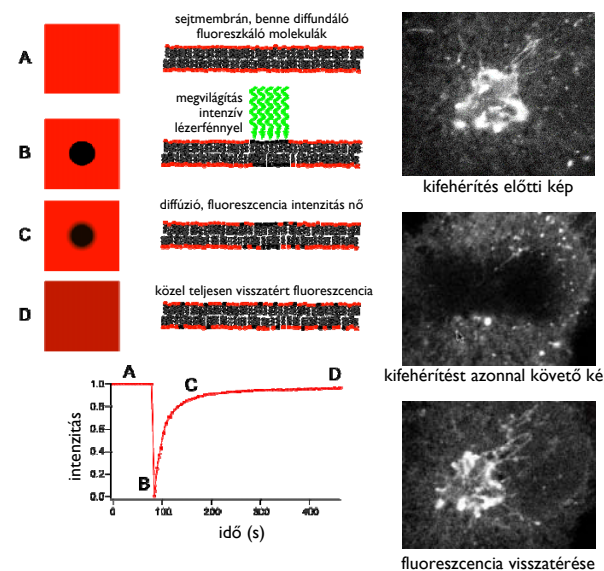
hologram fotolemez
felülete



hologramok

11

Fluorescence Recovery After Photobleaching (FRAP)



teljesítménysűrűség,
irányíthatóság

N.B.:
"Bleaching": fehérités
"Photobleaching": fotokiféhités

diffúziós állandó meghatározható
a fluoreszcencia intenzitás
visszatérésének időbeli
lefutásából:

$$D = \frac{w^2}{4t_D}$$

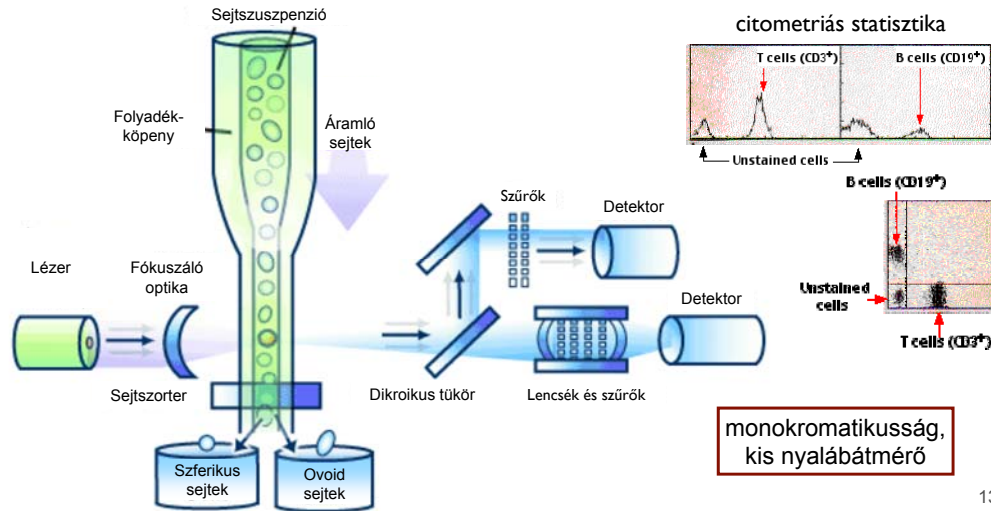
D = diffúziós állandó
w = kiféhitett terület átmérője
t_D = időállandó

12

Fluorescence activated cell sorter (FACS)

Fluoreszcencia aktivált sejtválogatás; Áramlási citometria (flow cytometry)

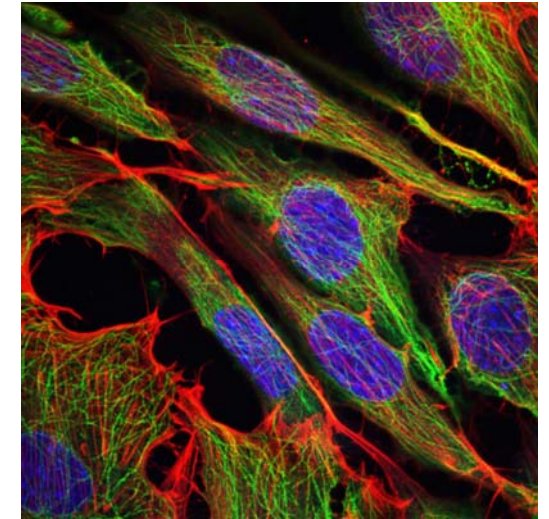
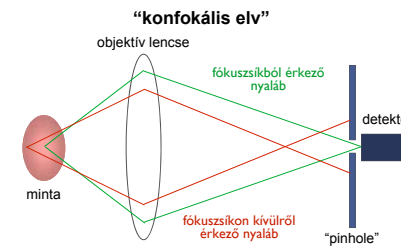
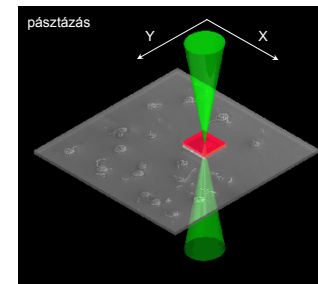
- Fluoreszcensen fajlagosan megjelölt sejtuszpenziót sejtenként analizálunk
- Sok paramétert mérünk (fluoreszcencia intenzitás különböző hullámhosszokon, szórás)
- Statisztikai analízist végzünk
- Szükség esetén a sejteket szétválogathatjuk a paraméterek alapján



13

Lézer pásztázó konfokális mikroszkópia

monokromatikusság, irányíthatóság



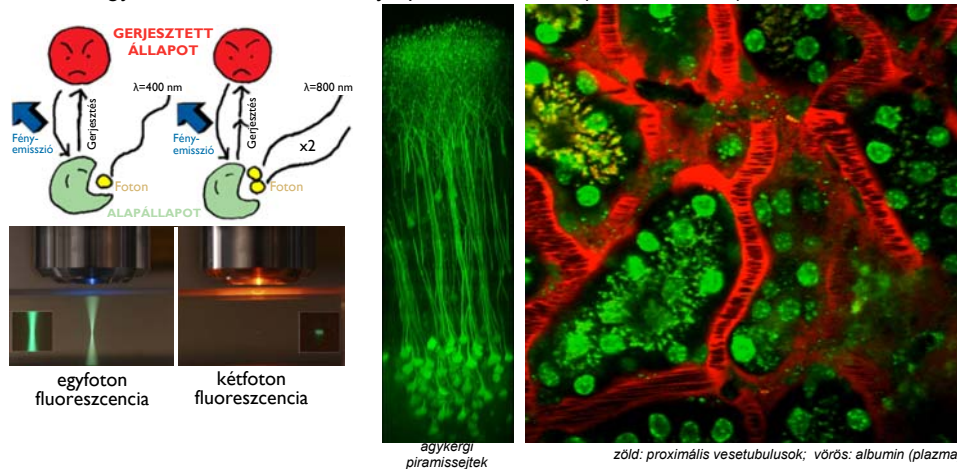
zöld: mikrotubulusok; vörös: aktin; kék: sejtmag

14

Multifoton fluoreszcencia mikroszkópia

monokromatikusság, irányíthatóság, rövid impulzusok

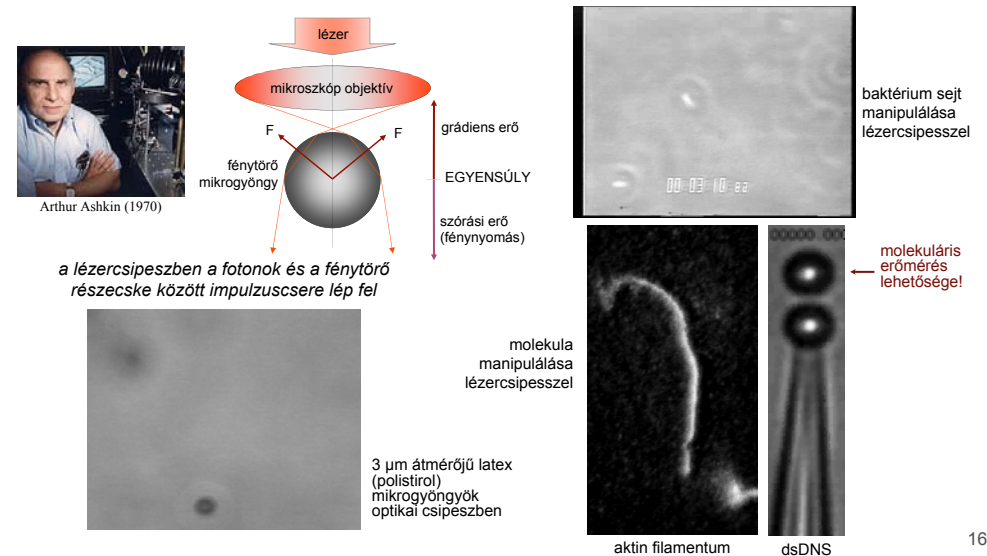
- két (vagy több) foton energiája összeadódik a gerjesztéskor
- gerjesztés (következésképp emisszió) csak a fókuszpontban (limitált fotokárosítás)
- gerjesztés nagy (közeli IR) hullámhosszú, rövid (fs) fényimpulzusokkal
- nagy hullámhossz miatt mély optikai behatolás (akár több mm)



15

Lézer csipesz

teljesítménysűrűség, irányíthatóság

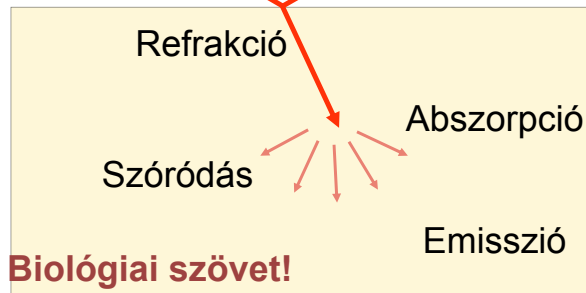


16

A lézer orvosi alkalmazásai

Beeső lézernyaláb

Reflexió



Megfontolandó
lézertulajdonságok:

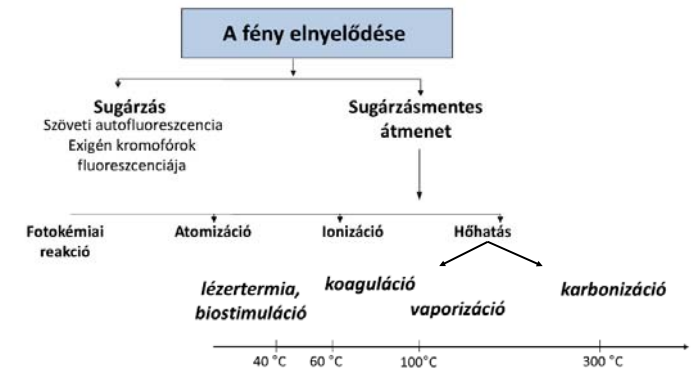
- Irányíthatóság (kis divergencia, sebészi alkalmazások)
- Teljesítménysűrűség (sebészi alkalmazások)
- Monokromaticitás (szöveti abszorbanca)
- Koherencia (interferencia, képalkotás)

A biológiai szövet tulajdonságai alapvetőek a hatás kialakításában:
abszorbanca, transzmittivitás, fényindukált reakciók

17

A lézer orvosi alkalmazásai

Fény által indukált folyamatok a szövetekben



Sebészeti szakmák: "lézerszike", koaguláció, vérzés nélküli operáció. Daganateltávolítás. CO₂ és Nd:YAG lézer. Holmium lézer lithotripsia (urológia).

Bőrgyógyászat: rendkívül kiterjedt alkalmazás - anyajegyek, tetoválások, felületi érzettség, szőrzet, daganat eltávolítása, stb.

Fogászat: szuvas részek preferáltan abszorbeálódnak.

Fotodinamikus tumorterápia: fotoszenzitív, tumor által preferáltan felvett kémiai anyagok aktiválása lézerrel.

Szemészet: Retinaleválás, szemfenék fotokoagulációja, glaukóma, fotorefraktív keratektómia (PRK).

18

Bőrgyógyászati... Szőr/ tetoválás/ anyajegy eltávolítása

phototricholysis, photoepiláció

alapja: szelektív fototermolízis kromofórok általi szelektív abszorpció

alkalmazott kromofórok :

1. szén (exogén, széntartalmú kenőcsök)
2. hemoglobin (endogén)
3. melanin (endogén)

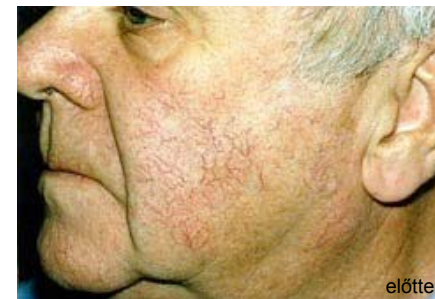


19

Bőrgyógyászati alkalmazások

Felületes erek, vénák eltávolítása

Ráncatlanítás



Rhinophyma (faggyúmirigy hipertófia, fibrózis)

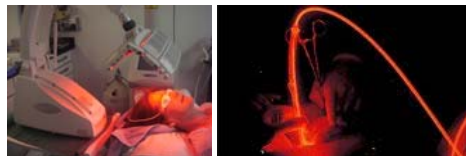
20

Onkológiai alkalmazások. Fotodinamikus terápia

Photodynamikus terápia (PDT):
Roswell Park Cancer Institute 1970-es évek.

Háromkomponensű tumorterápiás módszer:

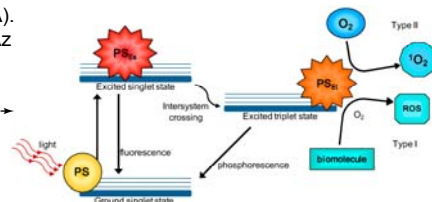
1. Fotoszenzitizáló ágens, 2. Fény, 3. Oxigén.



Fény szervezetbe juttatása: felületi megvilágítás, optikai kábel

Lépések:

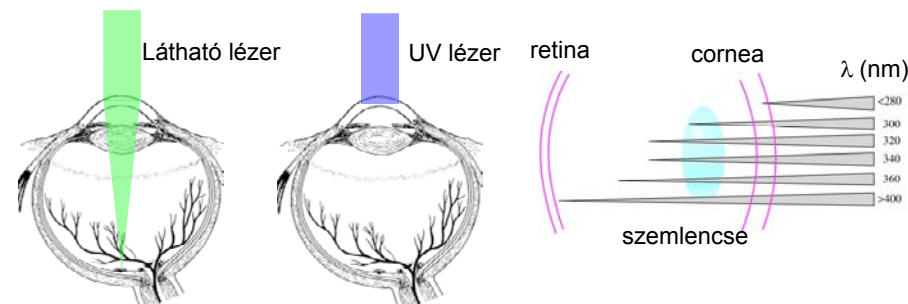
1. Fotoszenzitizáló prekursor beadása (aminolevulinsav, ALA).
2. Néhány órás inkubációs idő koncentrációja a tumorban. Az ALA protoporphyrin IX-é alakul.
3. A célterület megvilágítása diódlézerrel (néhány perc).
4. Protoporphyrin abszorbeál → gerjesztett szingulett állapot → triplett állapot → energiatranszfer triplett oxigénnel → gerjesztett, reaktív oxigén → szöveti reakció. Néhány napon belül a terület elhal, leválik.



21

Szemészeti alkalmazások: Alapelvek

Az optikai közegek transzmissziója hullámhossz-függő



22

Szemészeti alkalmazások: LASIK

“Laser-assisted In Situ Keratomileusis”
A refraktív lézer-szemsebészet egy fajtája

Történet:

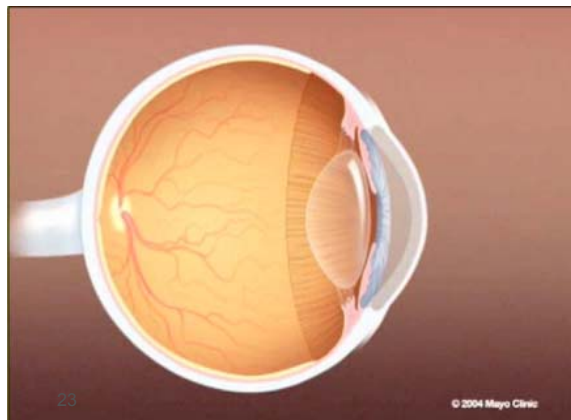
Jose Barraquer, 1970: microkeratome építése, mellyel a corneába lézerrel hasadékokat vágott és lemezeket alakított ki (keratomileusis).

Lucio Buratto (Olasz) és Ioannis Pallikaris (Görög), 1990: keratomileusis és photorefractív keratectomia kombinálása.

Thomas and Tobias Neuhann (Németo), 1991: automatizált microkeratome.

Lépések:

1. Kontaktlencse eltávolítása (7-10 nappal a beavatkozás előtt)
2. Lézeres letapogatás (kis teljesítmény): a cornea topográfiájának megmérésére
3. Cornea felületéről egy lemez felhajtása (fs lézerrel)
4. Stroma anyagából eltávolítás (néhány 10 mikrométer vastagságban). Excimer lézer (193 nm).



23

© 2004 Mayo Clinic

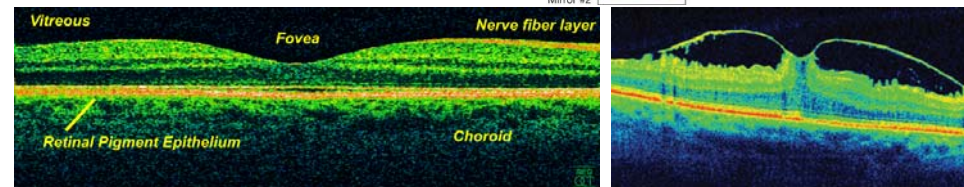
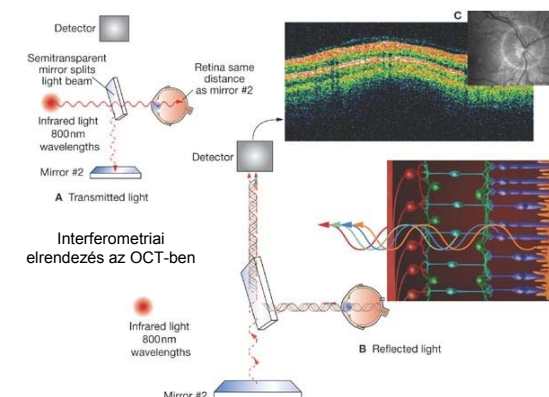
Optikai koherencia tomográfia (Optical Coherence Tomography):

- noninvazív
- kontrasztanyagmentes
- majdnem mikroszkópikus felbontás

Működési elv:

- A minta mélyebb részeiben visszaverődő, illetve szóródó sugarak interferometria segítségével szétválaszthatók.
- A reflektáló rétegek helyzete meghatározható.
- A minta szerkezete (1-2 mm mélységben) feltárható.

Szemészeti alkalmazások: OCT



normál retina

macula degeneráció

24