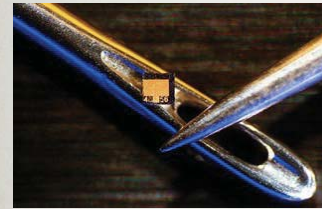


# LÉZER

KELLERMAYER MIKLÓS

## LÉZEREK MINDENÜTT



5 mW diódalézer  
néhány mm



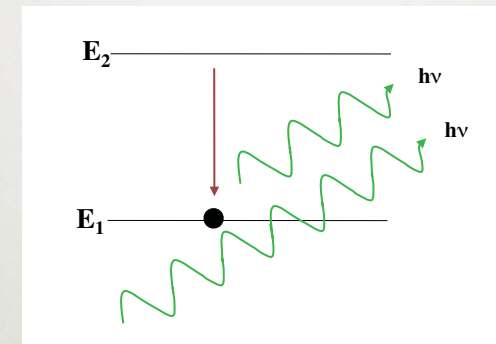
Terawattos NOVA lézer - Lawrence Livermore Laboratories  
Futballpálya méret

## LÉZER

1. Mi a lézer?
2. Rövid lézertörténet
3. A lézerműködés alapjai
4. A lézerfény tulajdonságai
5. A lézerek típusai
6. A lézer orvosi és biológiai alkalmazásai

## LÉZER:

“LIGHT Amplification by Stimulated Emission of Radiation”



Fényerősítést megvalósító lumineszcens fényforrás.

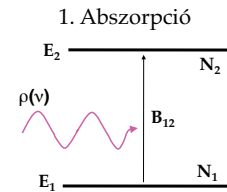
MASER: Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation

# LÉZERTÖRTÉNET DIÓHÉJBAN



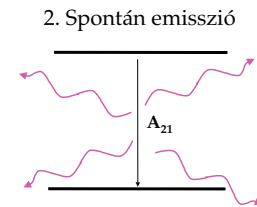
- **1917** - *Albert Einstein*: indukált emisszió elméleti predikciója.
- **1946** - *G. Meyer-Schwickerather*: első szeműtűt fénnel.
- **1950** - *Arthur Schawlow és Charles Townes*: az emittált fotonok a látható tartományba eshetnek.
- **1954** - *N.G. Basow, A.M. Prochorov, és C. Townes*: ammónia 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
- **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.

## A LÉZER ALAPJAI I. INDUKÁLT (STIMULÁLT) EMISSZIÓ



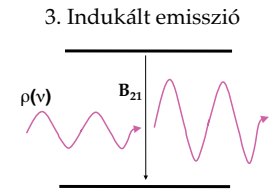
Átmenet gyakorisága:  
 $n_{12} = N_1 B_{12} Q(\nu)$

$\Delta E = E_2 - E_1 = h\nu$   
 energiakvantum elnyelések.



Átmenet gyakorisága:  
 $n_{21} = N_2 A_{21}$

$E_2 - E_1$  fotonok egymástól függetlenül a tér minden irányába.



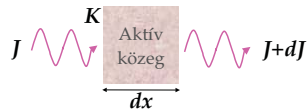
Átmenet gyakorisága:  
 $n_{21} = N_2 B_{21} Q(\nu)$

Külső sugárzási tér hatására. Sugárzási tér energiája nő. Emittált és külső fotonok fázisa, iránya, frekvenciája megegyezik.

*Magyarázat:* kétállapotú atomi vagy molekuláris rendszer  
 $E_1, E_2$ : energianívók,  $E_2 > E_1$   
 $Q(\nu)$ : 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),  $B_{12} = B_{21}$

## A LÉZER ALAPJAI II. POPULÁCIÓ INVERZIÓ

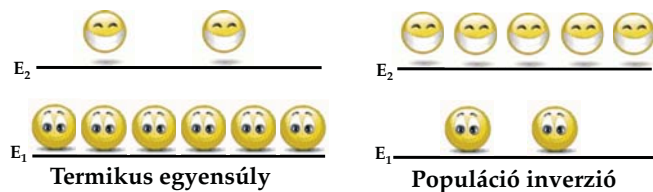
Fényerősítés az energianívók relatív betöltöttségétől függ



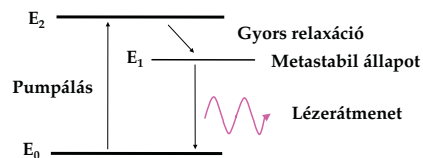
$$dJ = JK(N_2 - N_1)dx$$

$J$  = energiaáram-sűrűség  
 $K$  = állandó  
 $x$  = fény által a közegben megtett út  
 $N_1, N_2$  = atomok száma az energianívón

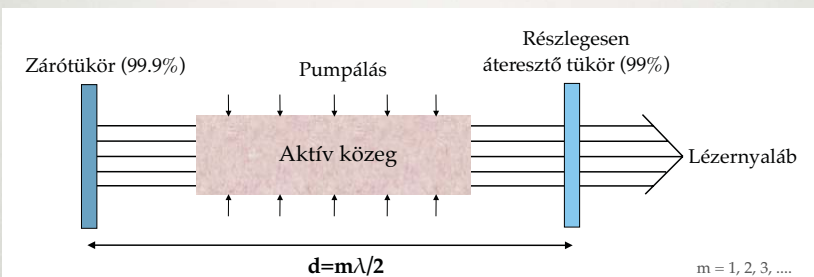
**N.B:** Ha  $dJ$  pozitív, több fény jön ki a közegből, mint amennyi bejut!



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



## A LÉZER ALAPJAI III. OPTIKAI REZONANCIA



### Rezonátor:

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

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



# A LÉZERFÉNY TULAJDONSÁGAI I.

## 1. Kis divergencia

Párhuzamos nyaláb

## 2. Nagy teljesítmény

Folytonos üzemmódban több tíz, akár száz W (pl. CO<sub>2</sub> lézer)

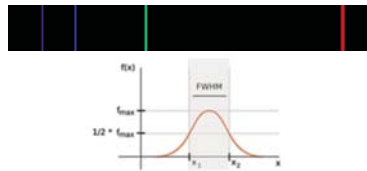
Q-csatolású üzemmódban a pillanatnyi teljesítmény hatalmas (GW)

Kis divergencia miatt óriási térbeli teljesítménysűrűség

## 3. Kis spektrális sáv szélesség

“Monokromaticitás”

Nagy spektrális energiasűrűség



## 4. Polarizáltság

## 5. Rendkívül rövid impulzusok lehetősége

ps, fs

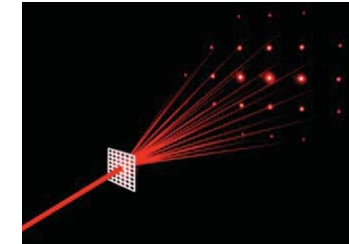
# A LÉZERFÉNY TULAJDONSÁGAI II.

## 6. Koherencia

fázisazonosság, interferenciaképesség

Időbeli koherencia (különböző időpontokban emittált fotonok fázisazonossága)

Térbeli koherencia (nyalábkeresztmetszet menti fázisazonosság)



Alkalmazás: holográfia, optikai koherencia tomográfia

# LÉZERTÍPUSOK

## Fényerősítő közeg alapján:

### 1. Szilárdtest lézerek

Kristályokba v. üvegyanyagokba bevitt fémszennyeződések; 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

CO<sub>2</sub> lézer: CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>-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 lézerek

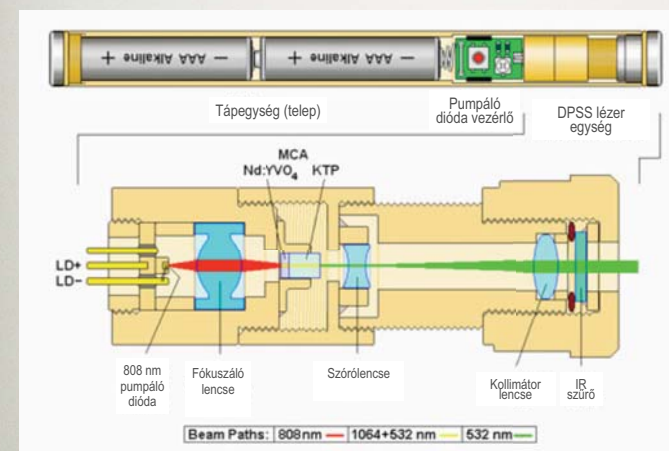
Összefekvő p- és n-típusú, szennyezett félvezetők határán.

Rezonátor tükrökre nincs szükség (belső visszaverődés)

Vörös, IR spektrális tartomány. Nagy kontinuus üzemmódú teljesítmény (akár 100W)

Nyalábkarakterisztika nem túl jó. Kis méret miatt széleskörű alkalmazás.

# A ZÖLD LÉZERMUTATÓ



## Lépések:

1. Diódalézer (808 nm) pumpál
2. Szilárdtest-lézer (Nd:YVO<sub>4</sub>: neodimiummal szennyezett yttrium-vanadát) 1064 nm-es fényt állít elő
3. KTP (kálium titánil-foszfát) kristály frekvenciát dupláz (hullámhosszt felezi): 532 nm (zöld)

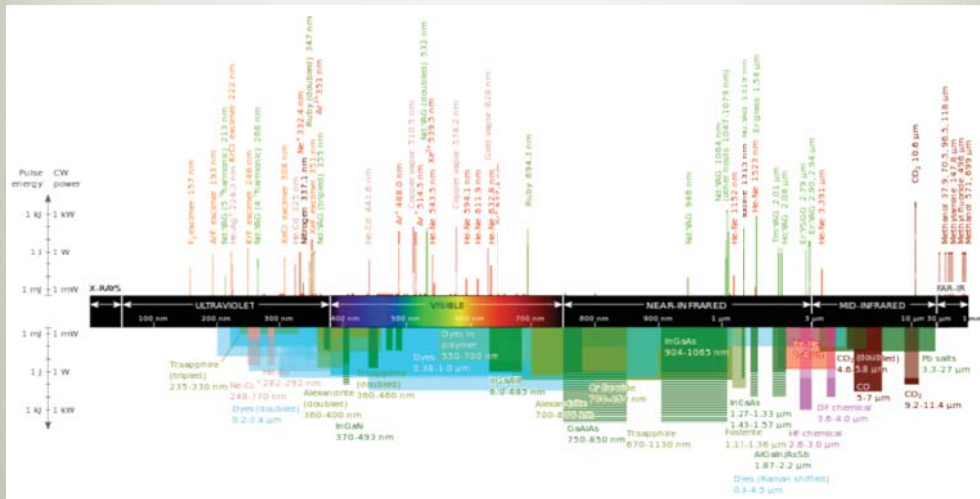
## \*Megjegyzések:

DPSS: diode-pumped solid state

MCA: multiple crystal assembly

LD: laser diode

# LÉZEREK, SPEKTRÁLIS VONALAK ÉS SÁVOK



A röntgentől az infravörösig rendelkezésre állnak lézervonalak.

# LÉZEREK ALKALMAZÁSA

## TELJESÍTMÉNY ALAPJÁN

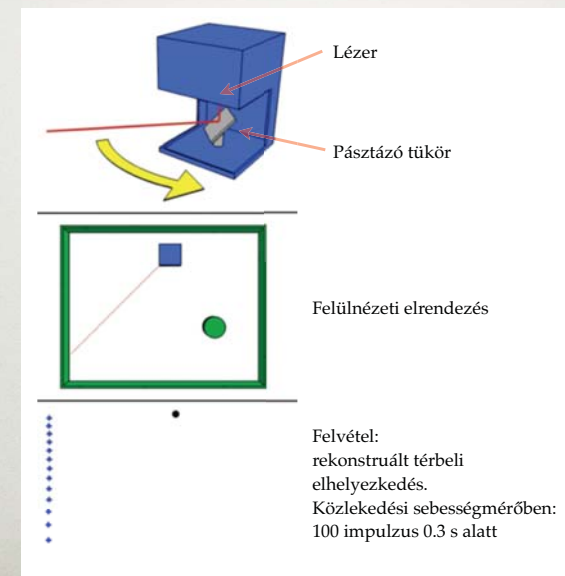
- 5 mW – CD-ROM meghajtó
- 5–10 mW – DVD lejátszó vagy DVD-ROM meghajtó
- 100 mW – Nagysebességű CD-RW író
- 250 mW – DVD-R író
- 1–20 W – szilárdtest-lézer mikromegmunkálásra
- 30–100 W – sebészeti CO<sub>2</sub> lézer
- 100–3000 W – ipari CO<sub>2</sub> lézer (lézervágó)
- 1 kW – 1 cm diódalézer rúd

# LÉZERALKALMAZÁS SZEMPONTJAI

- Irányíthatóság
- Teljesítmény
- Monokromaticitás  
(fluoreszcencia alkalmazás - lásd következő előadás!)
- Koherencia

# SEBESSÉGMÉRÉS LÉZERREL

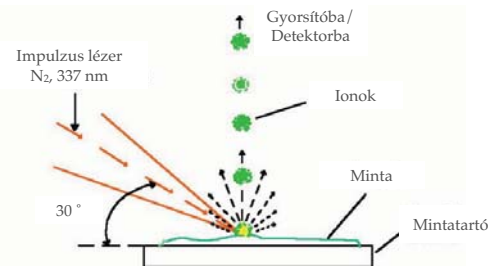
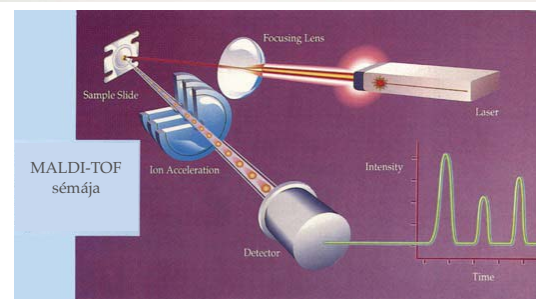
## LIDAR: “LIGHT DETECTION AND RANGING”



Irányíthatóság

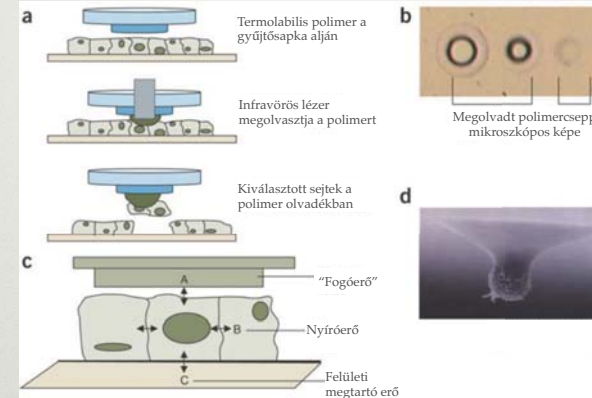
# MALDI-TOF:

MATRIX-ASSISTED LASER DESORPTION/IONIZATION  
TIME OF FLIGHT MASS SPECTROMETRY



Teljesítménysűrűség

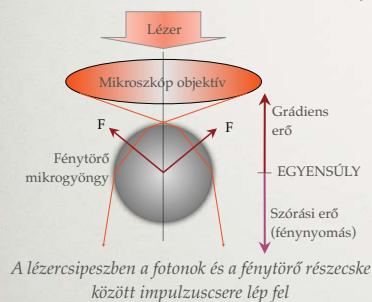
# “LASER CAPTURE MICRODISSECTION”



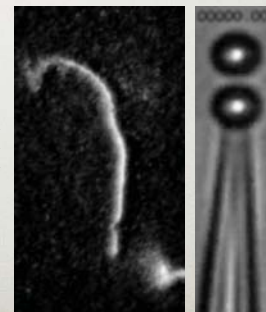
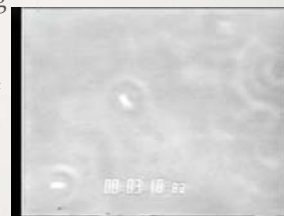
Jelentőség: lokális analitika lehetősége (kémia, genetika)

# LÉZERCSIPESZ

Teljesítménysűrűség



Baktérium sejt manipulálása lézercsipeszsel



Molekula manipulálása lézercsipeszsel

3 μm átmérőjű latex (polistírol) mikrogöngyök optikai csipeszben

Aktin filamentum

dsDNS

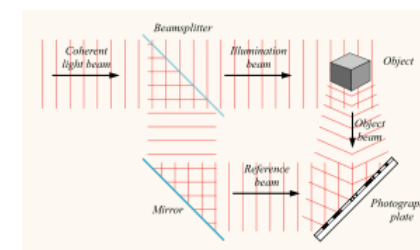
Molekuláris erőmérés lehetősége!

# HOLOGRÁFIA

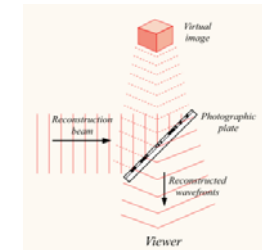
Koherencia



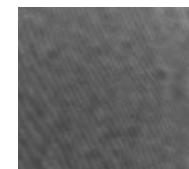
Gábor Dénes (1900-1979)



Hologram felvétele



Hologram megtekintése



Hologram fotolemez felülete



Hologramok





# A LÉZER ORVOSI ALKALMAZÁSAI I.



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

# A LÉZER ORVOSI ALKALMAZÁSAI II.

**Sebészeti szakmák:** "lézerszike", koaguláció, vérzés nélküli operáció. Daganateltávolítás. CO<sub>2</sub> és Nd:YAG lézer. Holmium lézer lithotripsia (urológia).

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

**Fogászat:** szuvas részek preferáltan abszorbeálóknak.

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

**Szemészet:** Retinaleválás, szemfenék fotokoagulációja, glaucoma, fotorefraktív keratektomia (PRK).

## BŐRGYÓGYÁSZATI ALKALMAZÁSOK: 1. SZEMPONTOK

### 1. Alkalmazott hullámhossz:

- Argon: 488 or 514.5 nm
- Ruby: 694 nm
- Alexandrite: 755 nm
- Pulsed diode array: 810 nm
- Nd:YAG: 1064 nm

### 2. Impulzusszélesség

### 3. Megvilágított terület nagysága (8-10 mm átmérő)

### 4. Energiasűrűség (J/cm<sup>2</sup>)

### 5. Repetíciós ráta (akkumulációs hatások)

### 6. Epidermális hűtés (gélek, folyadékok, spray-k, levegő)

## BŐRGYÓGYÁSZATI ALKALMAZÁSOK: 2. LÉZERES SZŐRTELENÍTÉS

### Phototricholysis, photoepiláció

Alapja: szelektív photothermolysis  
chromophorok általi szelektív abszorpció

### Alkalmazott chromophorok:

1. Szén (exogén, széntartalmú kenőcsök)
2. Hemoglobin (endogén)
3. Melanin (endogén)



Kezelés előtt

Kezelés után

## BŐRGYÓGYÁSZATI ALKALMAZÁSOK:

### 3. TETOVÁLÁS ELTÁVOLÍTÁS

Q-kapcsolású Nd:YAG lézer (1064 nm)



Kezelés előtt



Kezelés után

## BŐRGYÓGYÁSZATI ALKALMAZÁSOK:

### 4. ANYAJEGY ELTÁVOLÍTÁS

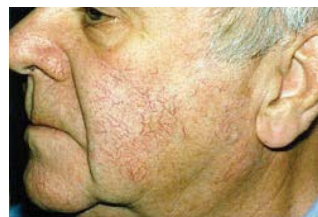


Kezelés előtt

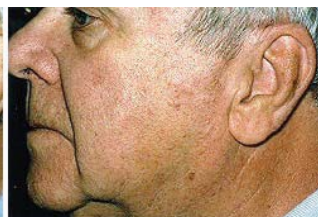
Kezelés után

## BŐRGYÓGYÁSZATI ALKALMAZÁSOK:

### 5. FELÜLETES EREK, VÉNÁK ELTÁVOLÍTÁSA



Kezelés előtt



Kezelés után



Kezelés előtt



2 évvel a kezelés után

## BŐRGYÓGYÁSZATI ALKALMAZÁSOK:

### 6. BŐR FELÜLETI MÓDOSÍTÁSA ("RESURFACING")

1993. Adrian  
CO<sub>2</sub>, Erbium:YAG lézer



Ráncalanítás



Napkárosítás



Rhinophyma (faggyúmirigy hipertófia, fibrózis)



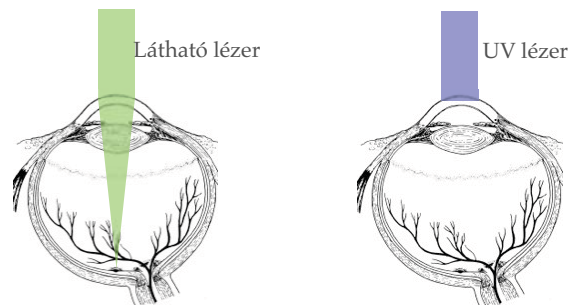
Szisztémás epidermális naevusok



# SZEMÉSZETI ALKALMAZÁSOK:

## 1. ALAPELVEK

Az optikai közegek transzmittivitása hullámhossz-függő



# SZEMÉSZETI ALKALMAZÁSOK:

## 2. 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 megajzólása
3. Cornea felületéről egy lemez felhajítása (fs lézerrel)
4. Stroma anyagából eltávolítás (néhány 10 mikrométer vastagságban). Excimer lézer (193 nm).

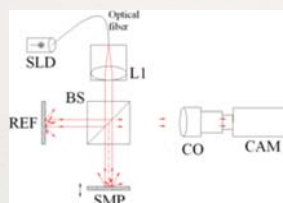


## OCT

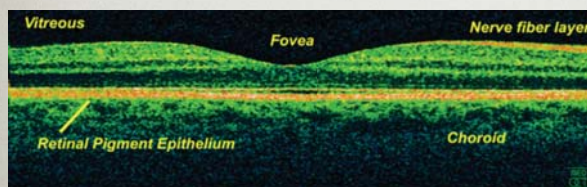
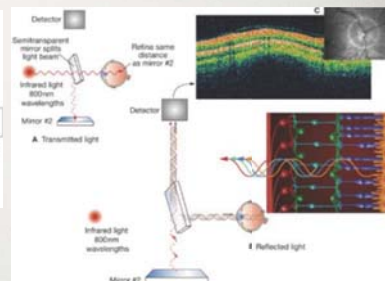
*Optikai koherencia tomográfia*  
(Optical Coherence Tomography)

- noninvazív
- kontrasztanyagmentes
- majdnem mikroszkópikus felbontás

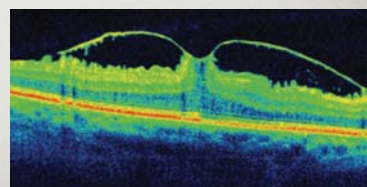
*Működési elv:* a minta mélyebb részeiben visszaverődő, illetve szóródó sugarak interferometria segítségével szétválaszthatók. A reflektáló rétegek helyzete meghatározható. A minta szerkezete (1-2 mm mélységben) feltárható.



Interferometriai elrendezés az OCT-ben



Normál retina



Macula degeneráció

## FOTODINÁMIÁS TERÁPIA

### Photodynamiaiás terápia (PDT):

Roswell Park Cancer Institute 1970-es évek.

### Háromkomponensű tumorterápiás módszer:

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

#### Lépések:

1. Fotoszenzitiváló prekursor beadása (aminolevulinsav, ALA).
2. Néhány órás inkubációs idő. Ez alatt 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
5. Néhány napon belül a terület elhal, leválik.

