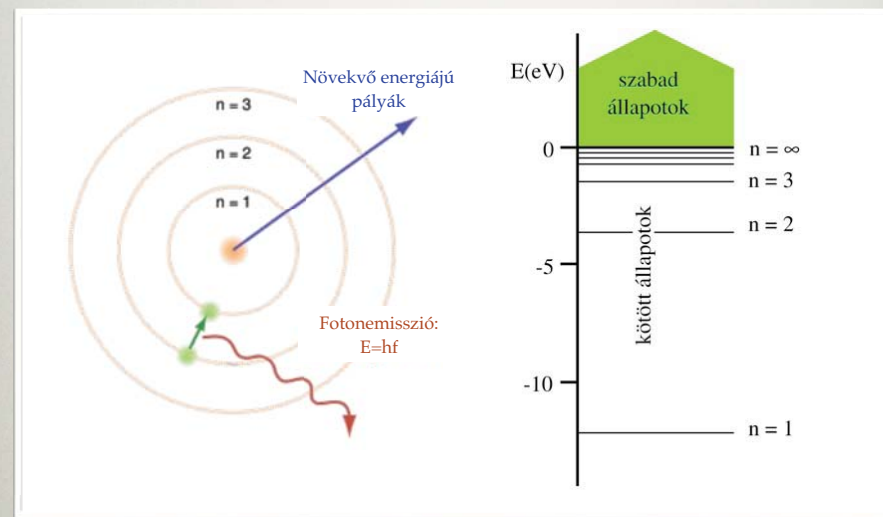


LUMINESZCENCIA

ALAPOK, TULAJDONSÁGOK

ÁTOMSZERKEZET



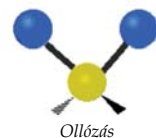
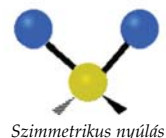
MOLEKULASZERKEZET

Molekula: kémiai kötéssel
összekapcsolt atomok
Legegyszerűbb eset: kétatomos
molekula (pl., hidrogénmolekula)



A molekulák **vibrációs** és **rotációs** mozgásokat végeznek!

Vibrációs mozgás
háromatomos csoportban
($-\text{CH}_2$):



MOLEKULA ENERGIÁJA

Born-Oppenheimer - közelítés:

$$E_{total} = E_e + E_v + E_r$$

Fontos megjegyzések:

Energia állapotok egymástól függetlenek (csatolás elhanyagolható)

Állapotok energianívói kvantáltak

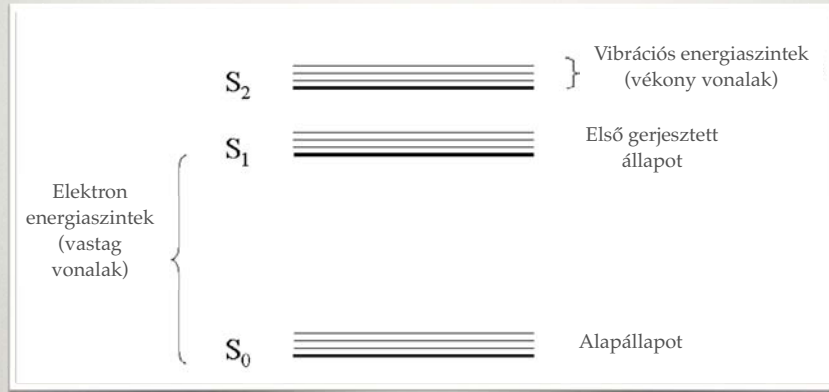
Átmenetek energia "csomag" elnyelésével/kibocsátásával járnak

Energiaszintek közötti különbségek nagyságrendje különbözik:

$$E_e \stackrel{\sim 100\times}{>} E_v \stackrel{\sim 100\times}{>} E_r$$

$$\sim 3 \times 10^{-19} \text{ J } (\sim 2 \text{ eV}) > \sim 3 \times 10^{-21} \text{ J} > \sim 3 \times 10^{-23} \text{ J}$$

ENERGIA ÁLLAPOTOK ÁBRÁZOLÁSA



S: szingulett állapot; ellentétes spinű párosított elektronok
(N.B.: Pauli-féle elv)

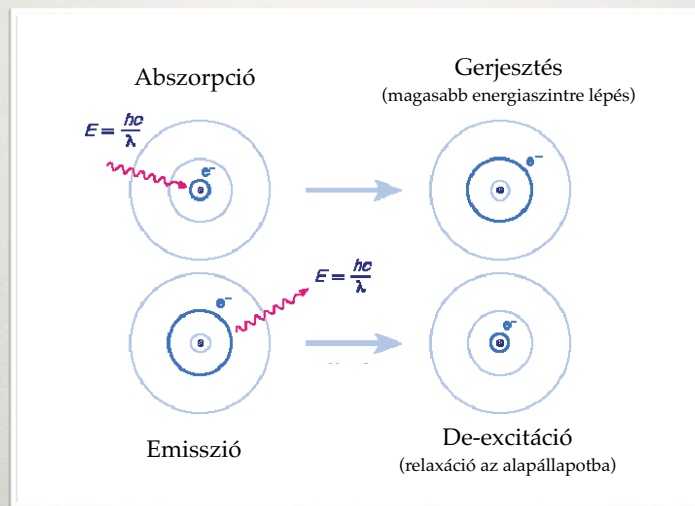
T: triplett állapot; azonos spinű párosított elektronok



LUMINESZCENCIA

- Gerjesztett állapotból fényemisszióval járó relaxáció
- A hőmérsékleti sugárzáson felül kibocsátott sugárzás
- “Hideg fény”
- Fluoreszcencia és foszforeszcencia

A LUMINESZCENCIA LÉPÉSEI



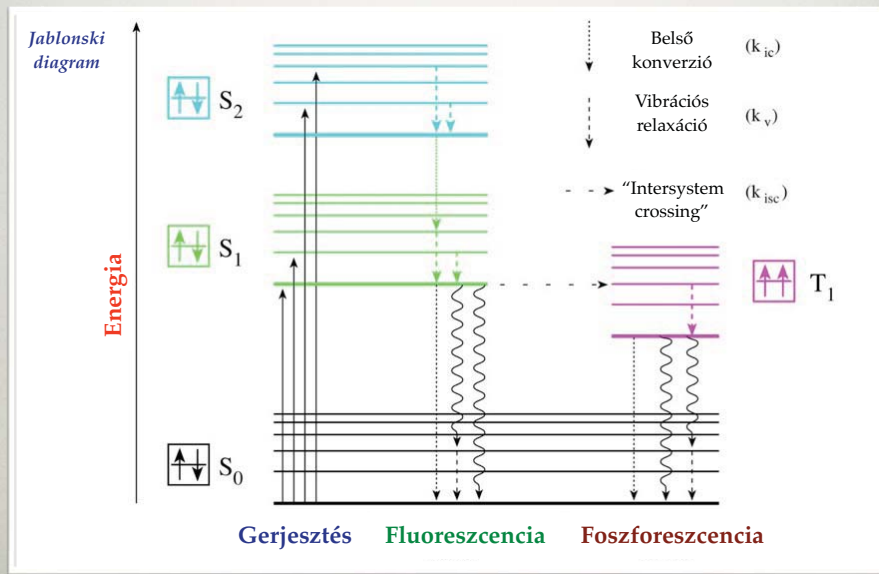
A LUMINESZCENCIA TÍPUSAI

Gerjesztés módja	Lumineszcencia típusa
abszorpció	fotolumineszcencia
kémiai reakció	kemilumineszcencia, biolumineszcencia
termikusan aktivált ion-rekombináció	termolumineszcencia
töltés injekció	elektrolumineszcencia
nagyenergiájú radioaktív sugárzás	radiolumineszcencia
súrlódás	tribolumineszcencia
hanghullámok	szonolumineszcencia
Gerjesztett állapot	Lumineszcencia típusa
első gerjesztett szingulett állapot	fluoreszcencia
legalsó triplett állapot	foszforeszcencia

Biolumineszcencia



A LUMINESZCENCIA FOLYAMATAI

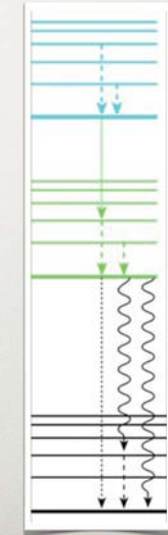


KASHA-SZABÁLY

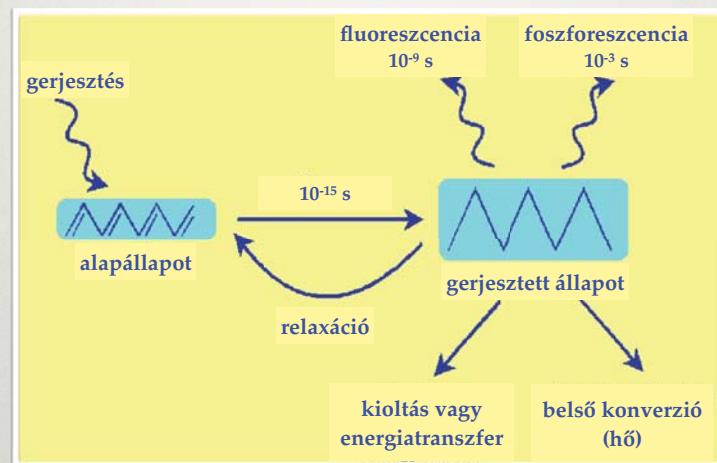
Fotonemisszió (fluoreszcencia vagy foszforeszcencia) a legalacsonyabb elektron-energiaállapotból történő átmenet során lép fel.



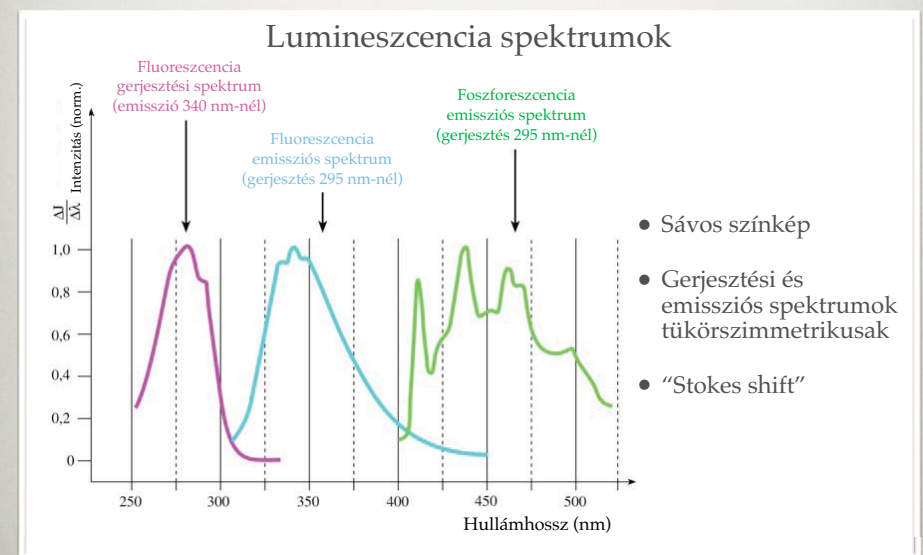
Michael Kasha (1920-)
Amerikai fizikus



AZ ÁTMENETEK SEBESSÉGE



A LUMINESZCENCIA TULAJDONSÁGAI I.



A LUMINESZCENCIA TULAJDONSÁGAI II.

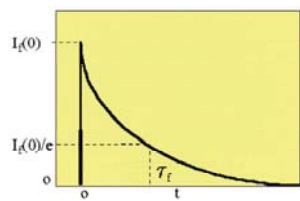
Kvantumhatásfok

$$\Phi = \frac{\text{emittált fotonok száma}}{\text{abszorbeált fotonok száma}} \leq 1$$

$$\Phi = \frac{k_f}{k_f + k_{ic} + k_{isc} + k_Q}$$

k_{nr} =nem sugárzásos átmenetek sebességi állandói

A gerjesztett állapot élettartama



$$\frac{dN}{dt} = -(k_f + k_{nr}) \cdot N$$

$$N = N_0 e^{-(k_f + k_{nr})t}$$

$$\tau = \frac{1}{k_f + k_{nr}}$$

N =gerjesztett állapotú molekulák száma

t =idő

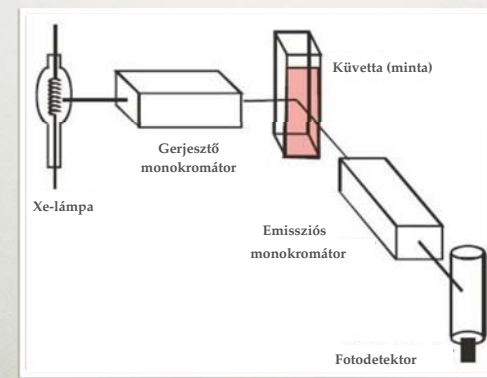
k_f =fluoreszcencia sebességi állandó

k_{nr} =nem-sugárzásos átmenetek sebességi állandója

τ =fluoreszcencia élettartam

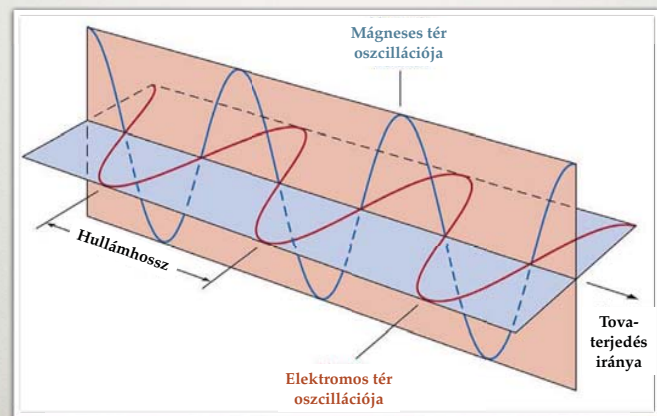
A FLUORESZCENCIA MÉRÉSE

Fluoreszcencia spektrométer ("Steady-state" spektrofluoriméter)

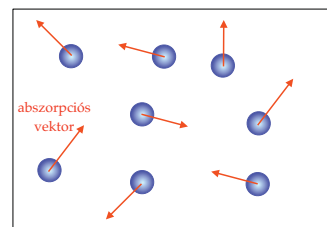


A FÉNY ELEKTROMÁGNESES HULLÁM

- Térben tovaterjedő elektromágneses zavar.
- Tranzverzális hullám.
- Polarizálható.



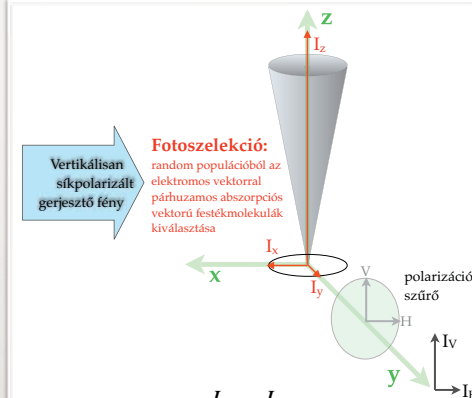
POLARIZÁCIÓ, ANIZOTRÓPIA



Fluorofórokhoz rendelhető **abszorpciós és emissziós vektor**: megszabja a foton abszorpció és emisszió valószínűségét.

Abszorpció maximális, ha absz. vektor és a fény elektromos vektora párhuzamos.

Abszorpció képessége függ $\cos^2\alpha$ -tól (α az absz. vektor és a fény elektromos vektora közötti szög).

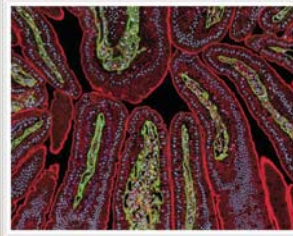
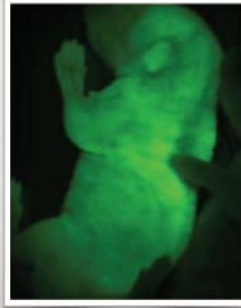
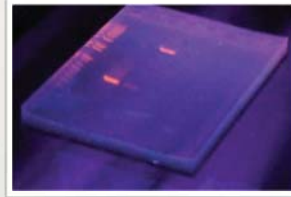
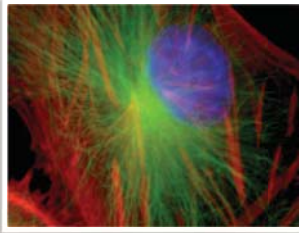


$$\text{Polarizáció: } p = \frac{I_{VV} - I_{VH}}{I_{VV} + I_{VH}}$$

$$\text{Anizotrópia: } r = \frac{I_{VV} - I_{VH}}{I_{VV} + 2I_{VH}}$$

A FLUORESZCENCIA ORVOSI-BIOLÓGIAI ALKALMAZÁSAI

- Fluoreszcencia mikroszkópia
- DNS szekvenálás (lánc terminációs módszer)
- DNS festés (EtBr)
- DNS microarray technológia
- Immunfluoreszcencia
- Fluoreszcencia-aktivált sejt válogatás (FACS)
- Förster rezonancia energia transzfer (FRET)
- "Fluorescence recovery after photobleaching" (FRAP)
- Fluoreszcens fehérje-konjugációs technikák
- Kvantum pontok (quantum dots)



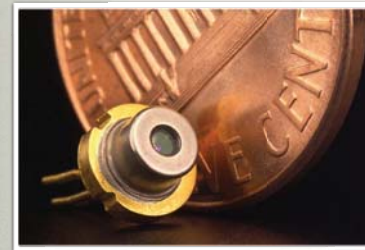
ÖSSZEFOGLALÁS

- A molekulaszerkezet és energiaállapotok fontos szerepet játszanak a lumineszcenciában.
- A lumineszcencia molekuláris de-excitáció (relaxáció) melyet fénykibocsátás követ.
- A fluoreszcencia spektrumot a Stokes-féle eltolódás jellemzi.
- A kvantumhatásfok és fluoreszcencia élettartam fontos lumineszcencia paraméterek.

LÉZER

ALAPOK, TULAJDONSÁGOK, ALKALMAZÁSOK

LÉZEREK MINDENÜTT



5 mW diódlézer
néhány mm



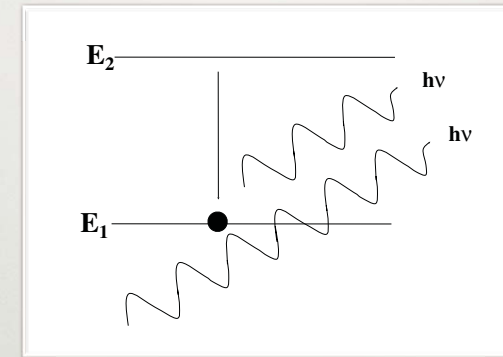
Terawattos NOVA lézer
Lawrence Livermore
Laboratories
Futballpálya méret

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”



MASER: Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation

LÉZERTÖRTÉNET DIÓHÉJBAN

1917 - Albert Einstein:

indukált emisszió elméleti predikciója.

1946 - G. Meyer-Schwickerather: első szemműtét fényvel.

1950 - Arthur Schawlow és Charles Townes:

az emittált fotonok a látható tartományba eshetnek.

1954 - N.G. Basow, A.M. Prochorow, és C. Townes: ammónia mézer

1960 - Theodore Maiman: első lézer (rubin lézer)

1964 - Basow, Prochorow, Townes (Nobel-díj): kvantum elektronika

1970 - Arthur Ashkin: lézercsipesz

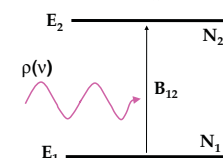
1971 - Gábor Dénes (Nobel-díj): holográfia

1997 - S. Chu, W.D. Phillips és C. Cohen-Tanoudji (Nobel-díj):

lézeres atomhűtés.

A LÉZER ALAPJAI I. INDUKÁLT EMISSZIÓ

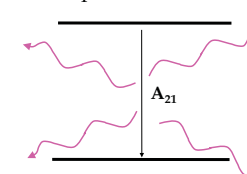
1. Abszorpció



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

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

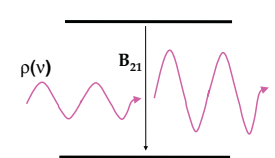
2. Spontán emisszió



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

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

3. Indukált emisszió



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

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, $E_2 > E_1$

$\rho(\nu)$: sugárzási tér spektrális energiasűrűsége

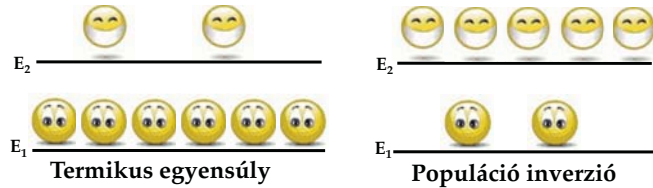
N_1, N_2 : adott energianívón levő atomok, molekulák száma

B_{12}, A_{21}, B_{21} : energianívók közötti átmeneti valószínűségek (Einstein-féle együtthatók), $B_{12} = B_{21}$

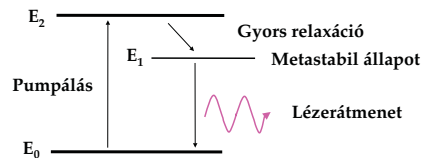
A LÉZER ALAPJAI II. POPULÁCIÓ INVERZIÓ

Fényerősítés az energianívók relatív betöltöttségétől függ

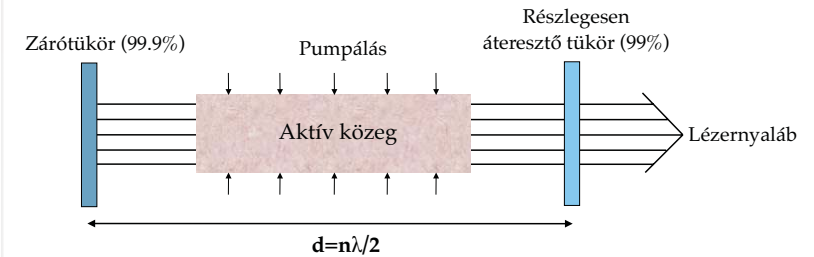
$$F \xrightarrow{\text{Aktív közeg}} F + dF \quad dF = FA(N_2 - N_1)dz$$



- 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 fénytjeljesítmény 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

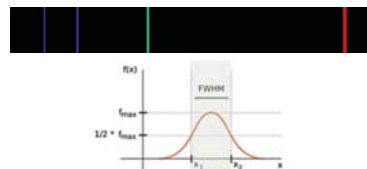
2. Nagy teljesítmény

Folytonos üzemmódban több tíz, akár száz W (pl. CO₂ 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

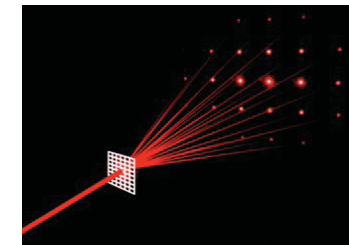
A LÉZERFÉNY TULAJDONSÁGAI II.

6. Koherencia

fázisazonosság, interferenciaképesség

Időbeli koherencia (különböző időpontokban emittált fotonok fázisazonossága)

Térbeli koherencia (nyalábkeresztmetszet menti fázisazonosság)



Alkalmazás: holográfia

LÉZERTÍPUSOK

Fényerősítő közeg alapján:

1. Szilárdtest lézerek

Kristályokba v. üveganyagokba 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 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.

LÉZEREK ALKALMAZÁSA

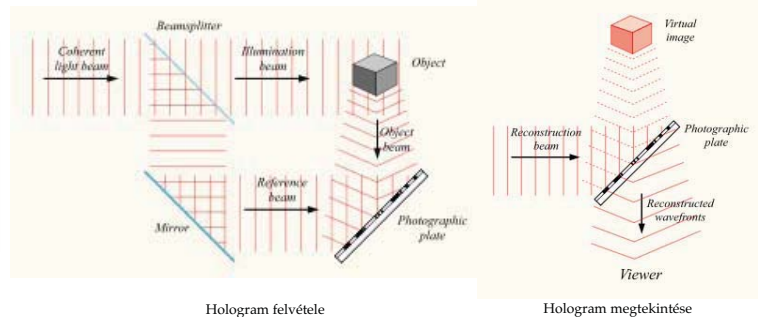
TELJESÍTMÉNY ALAPJÁN

- 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 CO₂ lézer
- 100–3000 W – ipari CO₂ lézer (lézervágó)
- 1 kW – 1 cm diódalézer rúd

HOLOGRÁFIA

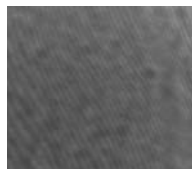


Gábor Dénes



Hologram felvétele

Hologram megtekintése



Hologram fotolemez felülete

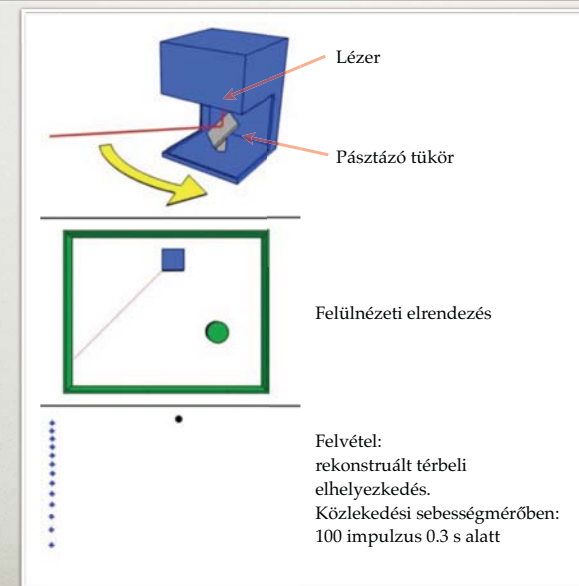


Hologramok



SEBESSÉGMÉRÉS LÉZERREL

LIDAR: "LIGHT DETECTION AND RANGING"



Lézer

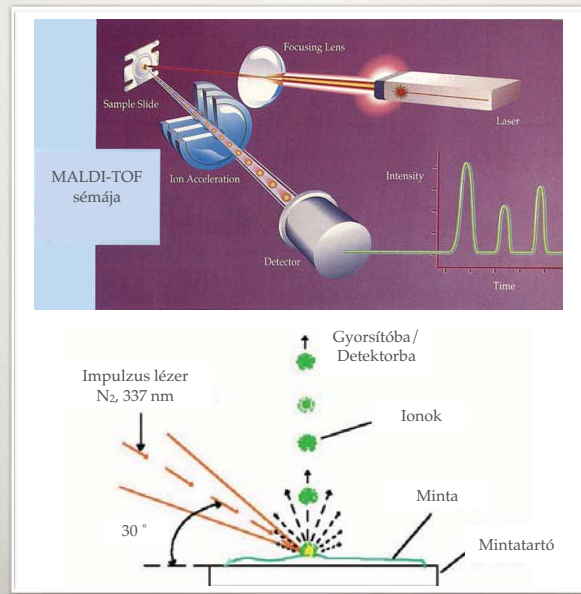
Pásztázó tükör

Felülnézeti elrendezés

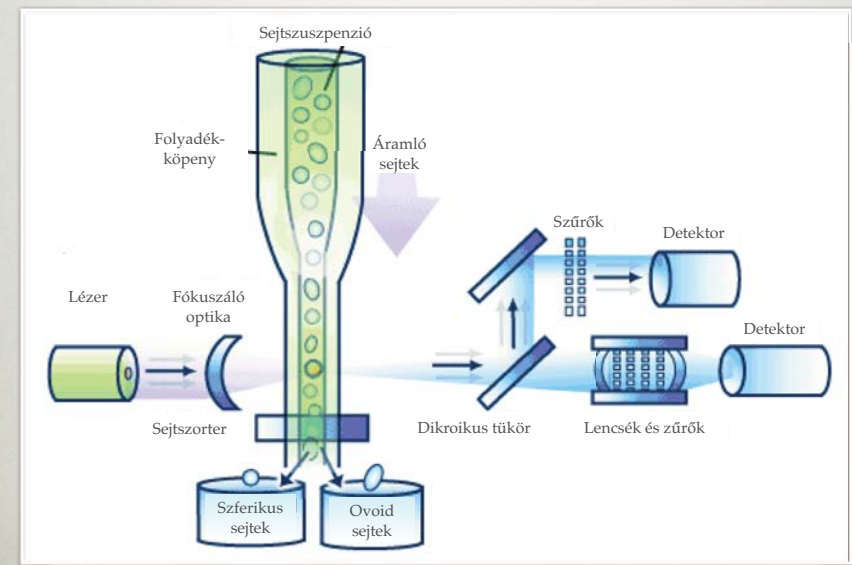
Felvétel:
rekonstruált térbeli
elhelyezkedés.
Közlekedési sebességmérőben:
100 impulzus 0.3 s alatt

MALDI-TOF:

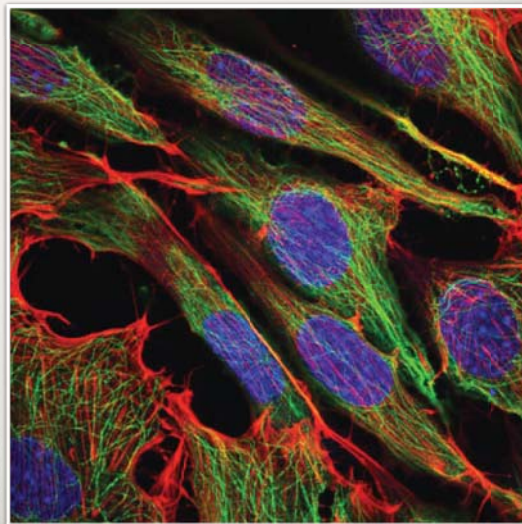
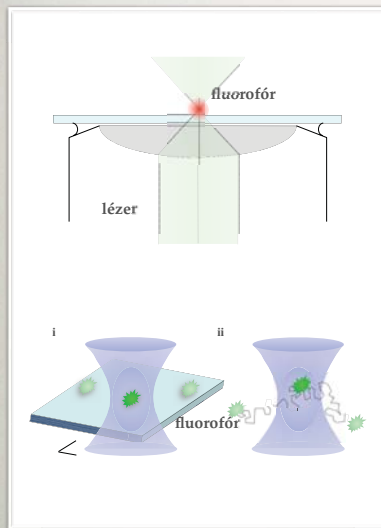
MATRIX-ASSISTED LASER DESORPTION/IONIZATION
TIME OF FLIGHT MASS SPECTROMETRY



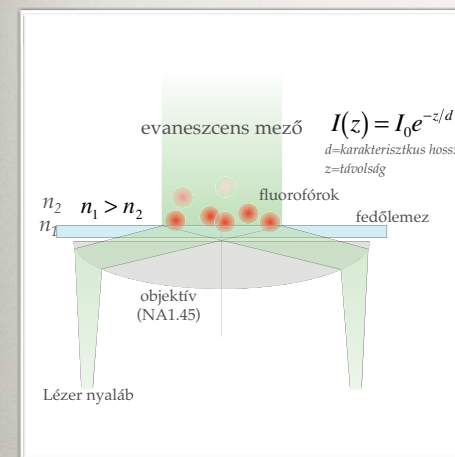
FLUORESCENCE ACTIVATED CELL SORTER (FACS)



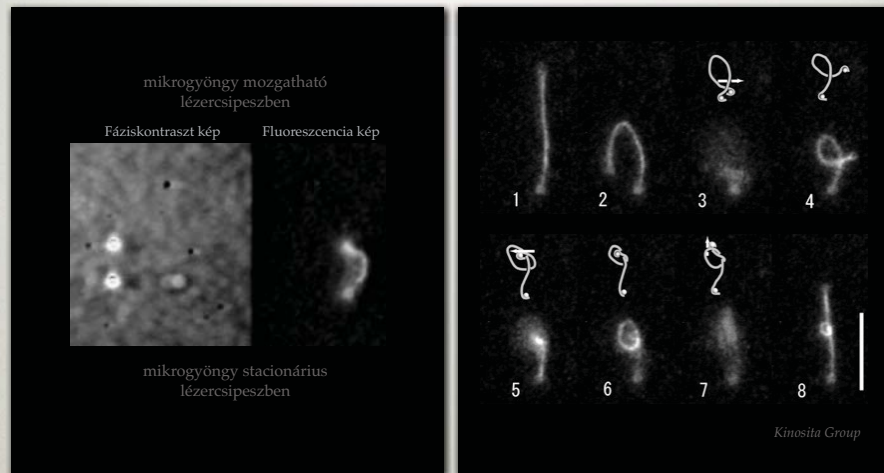
LÉZER PÁSZTÁZÓ KONFOKÁLIS MIKROSKÓP



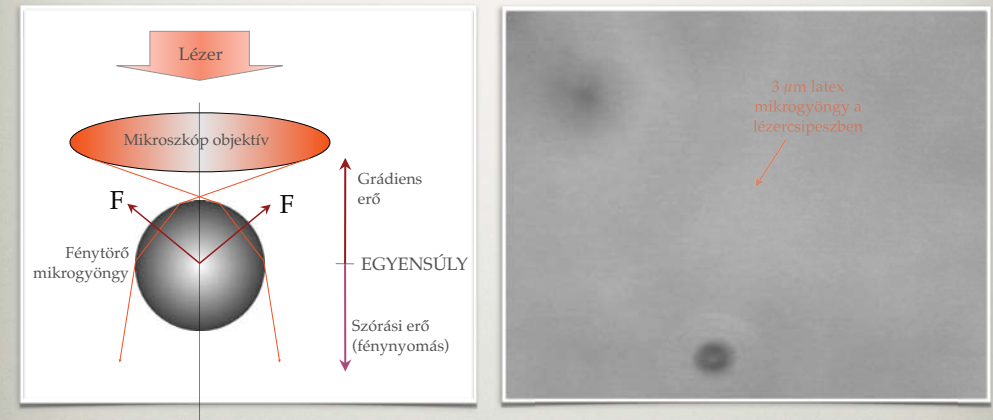
TELJES BELSŐ VISSZAZERŐDÉS FLUORESZCENCIA MIKROSKÓPIA (TIRFM)



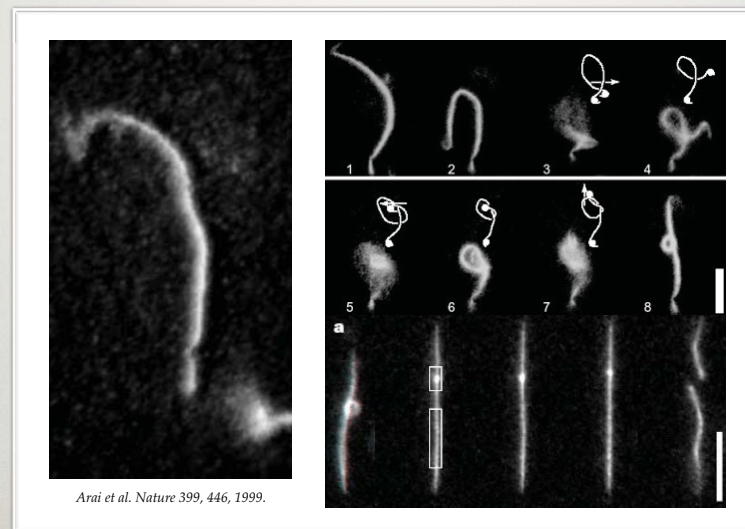
CSOMÓKÖTÉS EGYETLEN DNS LÁNCRA



LÉZERCSSIPESZ



CSOMÓKÖTÉS AKTIN FILAMENTUMRA LÉZERCSSIPESZSEL



A LÉZER ORVOSI ALKALMAZÁSAI I.



A LÉZER ORVOSI ALKALMAZÁSAI II.

Sebészeti szakmák: "lézerszike", koaguláció, vérzés nélküli operáció. Daganateltávolítás, tetoválás-eltávolítás. CO₂ és Nd:YAG lézer.

Bőrgyógyászat: rendkívül kiterjedt alkalmazás.

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/cm²)

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)

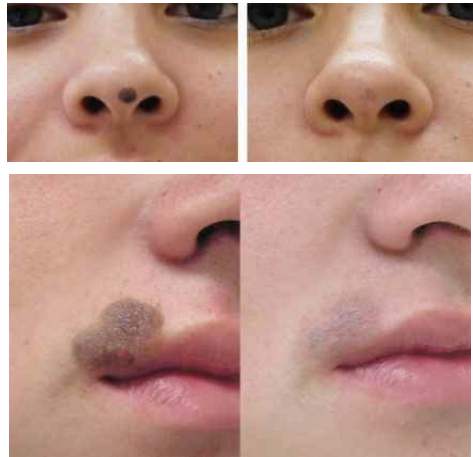


Kezelés előtt

Kezelés után

BŐRGYÓGYÁSZATI ALKALMAZÁSOK:

4. ANYAJEGY ELTÁVOLÍTÁS

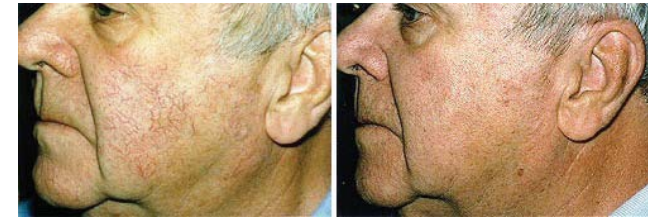


Kezelés előtt

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
CO₂, Erbium:YAG lézer



Ránctalanítás



Napkárosítás



Rhinophyma

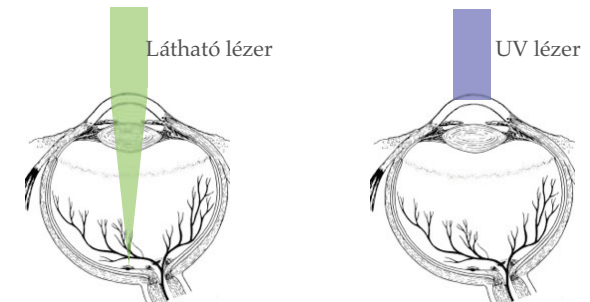


Szisztémás epidermális naevusok

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: mikrokeratome építése, mellyel a corneába lézerrel hasadékokat vágott és lemezeket alakított ki (keratomileusis).

Lucio Buratto (Olasz) és Ioannis Pallikaris (Görög), 1990: keratomileusis és photorefraktív keratektomia kombinálása.

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

Lépések:

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

Phtotorefraktív keratektomia (PRK)

A refraktív lézer-szemsebészet egy másik fajtája.

Nincs lemez kialakítás, kisebb a felületi átalakítás mértéke.

DE: fájdalmasabb, a regeneráció lassabb.

FOTODINÁMIÁS TERÁPIA

Photodynamiás terápia (PDT):

Roswell Park Cancer Institute 1970-es évek.

Háromkomponensű tumorterápiás módszer:

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

Lépések:

1. Fotoszenzitizáló 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 szinglett állapot -> triplett állapot -> energiatranszfer triplett oxigénnel -> gerjesztett, reaktív oxigén -> szöveti reakció
5. Néhány napon belül a terület elhal, leválik.

LÉZER: KULCSSZAVAK

Mi kell a lézerműködéshez?

- Kényszerített emisszió
- Populáció inverzió
- Pumpálás
- Optikai rezonancia

Milyen a lézerfény?

- Monokromatikus
- Koherens
- Nagy teljesítményű