

# I. Lézerek működési elve, típusai, orvosi alkalmazásai

---

Haluszka Dóra, PhD



# Laser/lézer

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

Fényerősítés a sugárzás indukált emissziója által

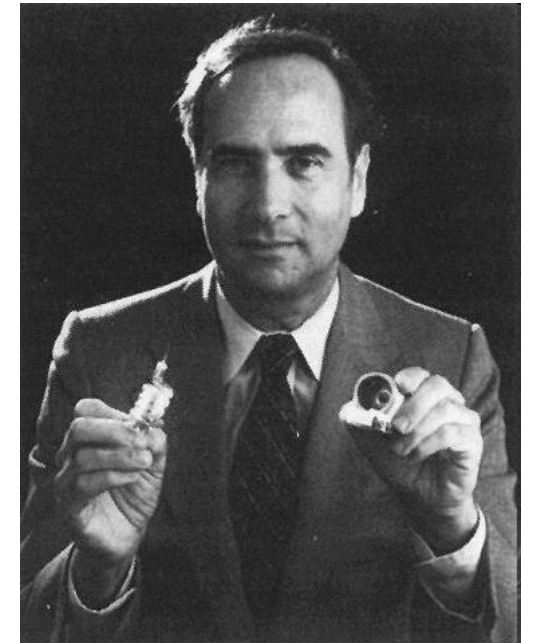


# Egy kis történelem...

**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



Theodore Harold Maiman (1927-2007)

## 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**

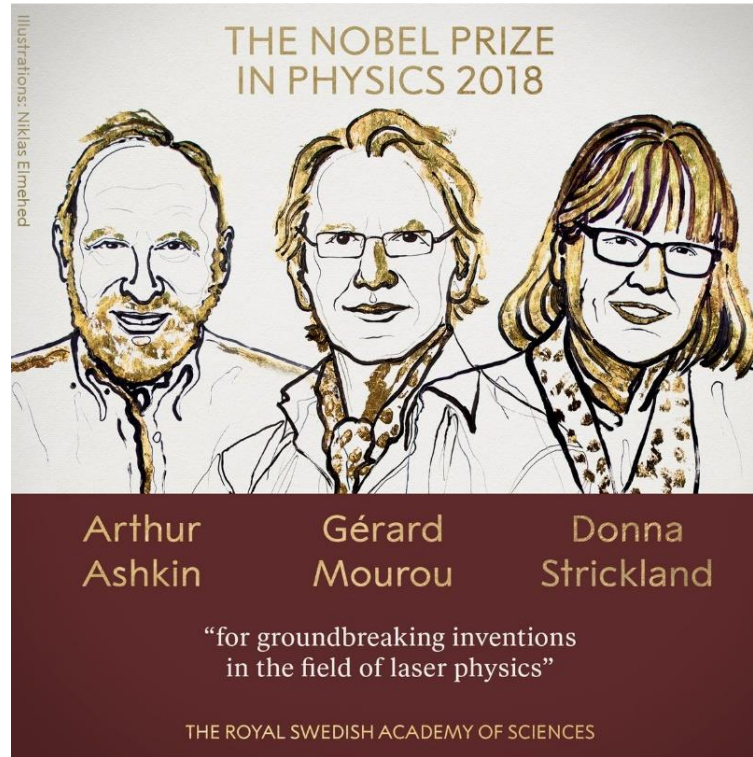
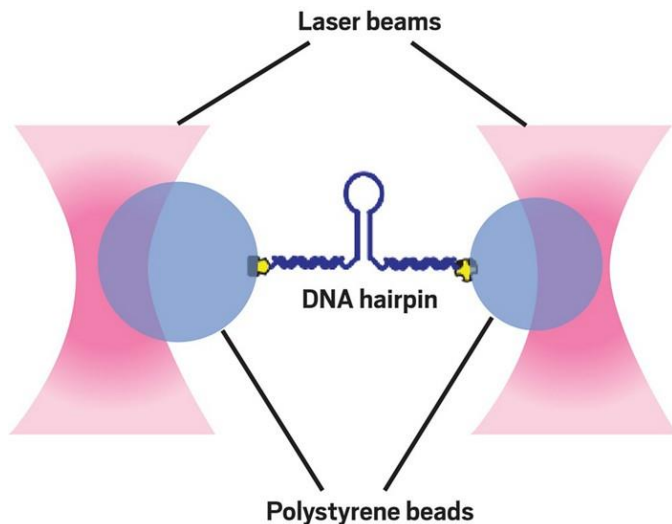
**Fizikai Nobel-díj 2000**  
A félvezető lézervedióákért

# Fizikai Nobel-díj 2018

A díjat a mai lézertechnika kifejlesztését megalapozó fizikai alap kutatásokért adományozták

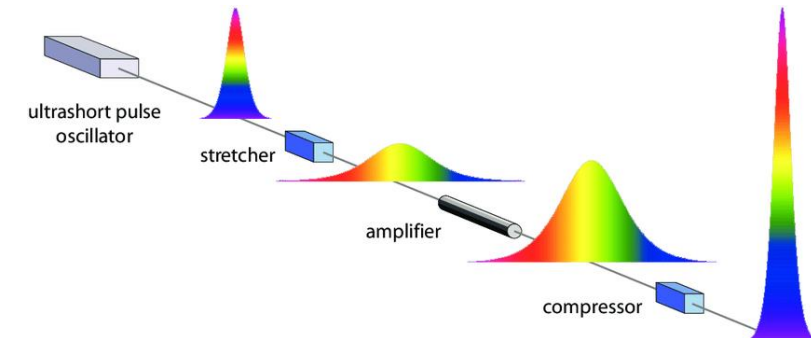
## Ashkin,

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.



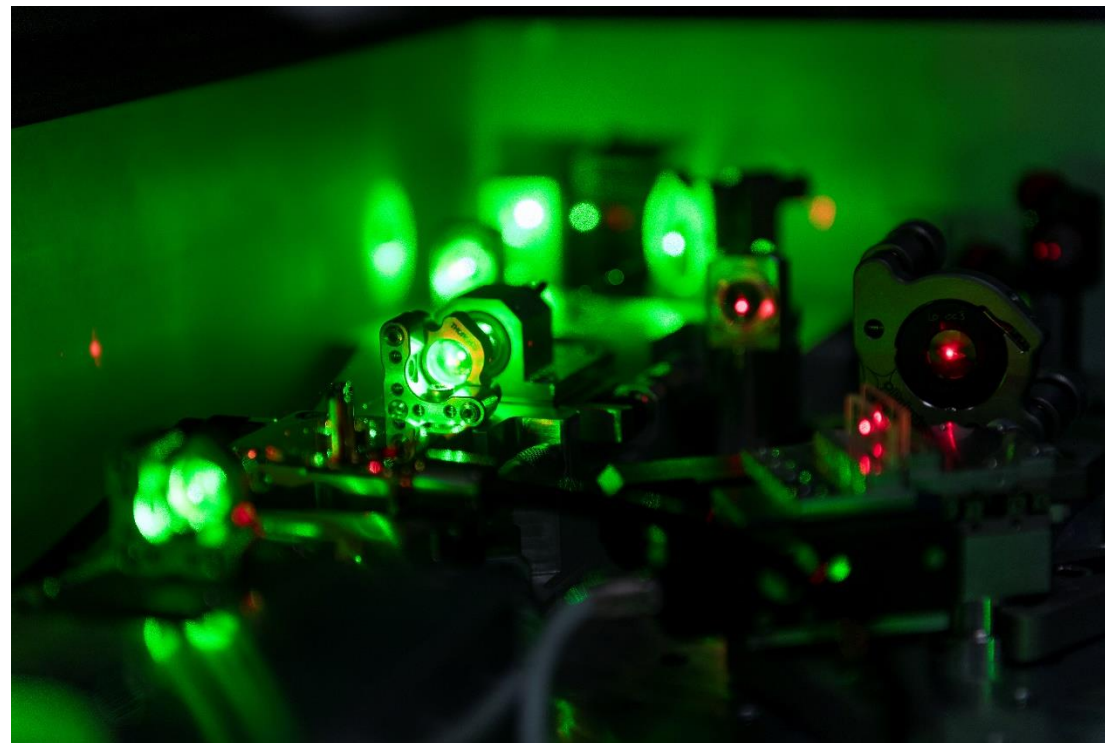
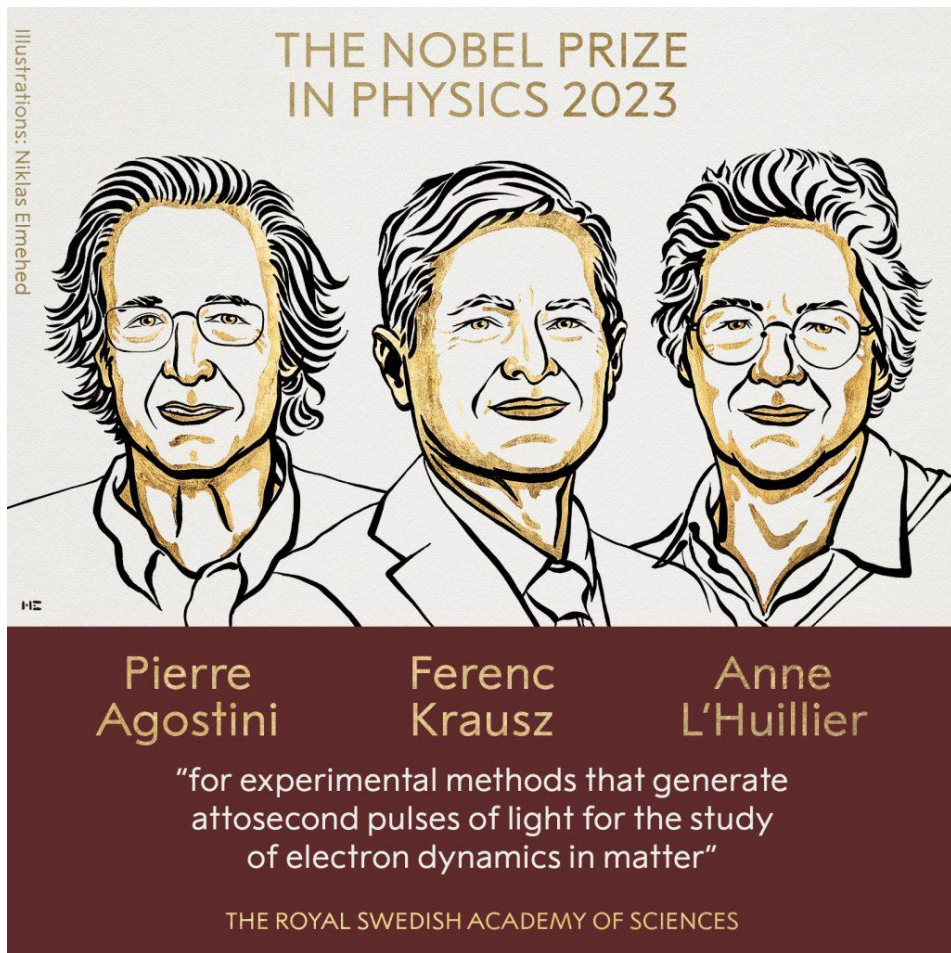
## Mourou és Strickland

ezzel szemben a nagy intenzitású, ultra-rövid optikai impulzusok előállításáért ítélték 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.



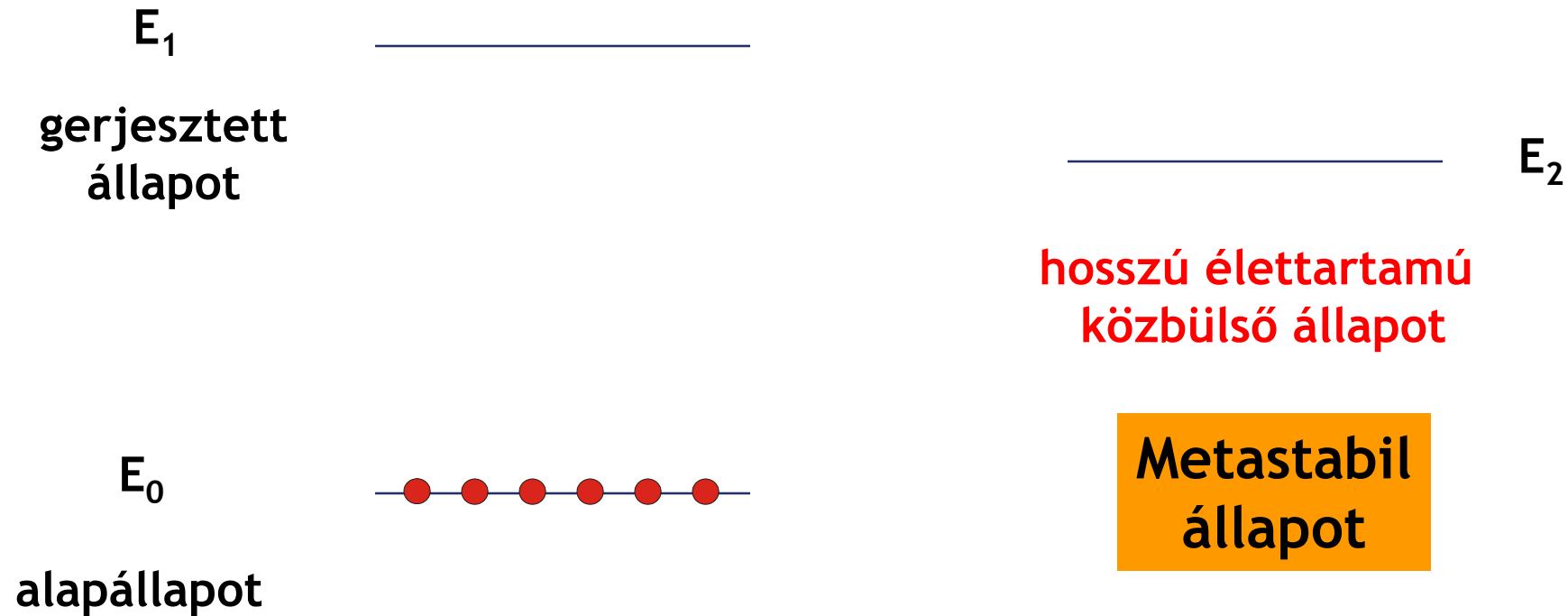
## Fizikai Nobel-díj 2023

elektronok atomon belüli mozgásának vizsgálatát szolgáló attoszekundumos fényimpulzusokat előállító kísérleti módszereikért



# A lézerefény előállításának feltételei és lépései

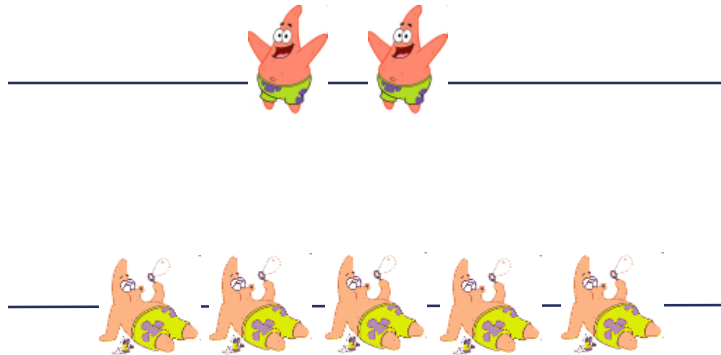
# Speciális elektron energia állapotok I. három energianívós rendszer



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

# Elektronállapotok betöltöttsége

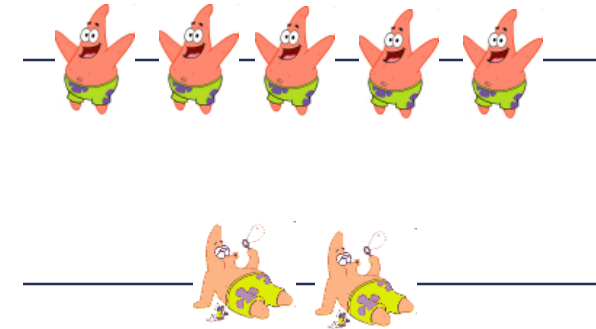
## II: Populáció inverzió



### *Termikus egyensúly*

Boltzmann eloszlás szerint:

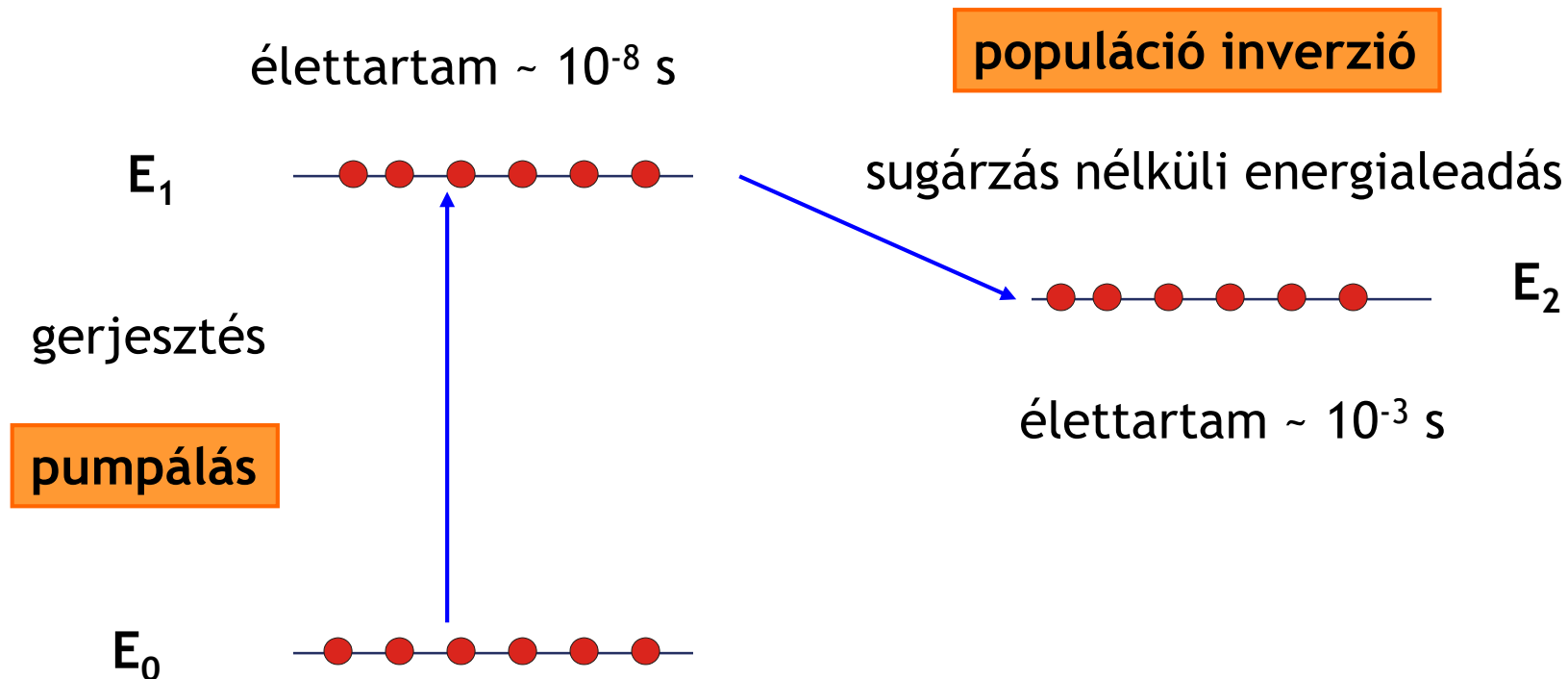
$$n = n_0 e^{-\frac{\Delta\varepsilon}{kT}}$$



### *Populáció inverzió*

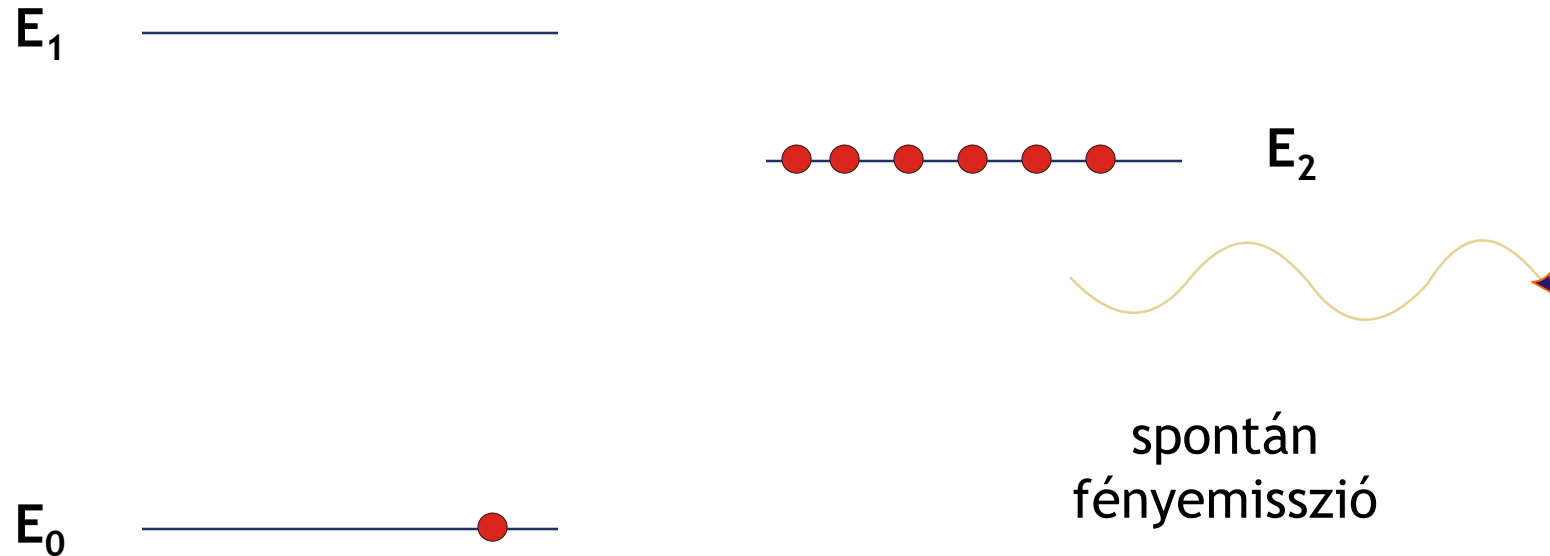
“fordított” betöltöttség

# Gerjesztés III: Optikai pumpálás



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

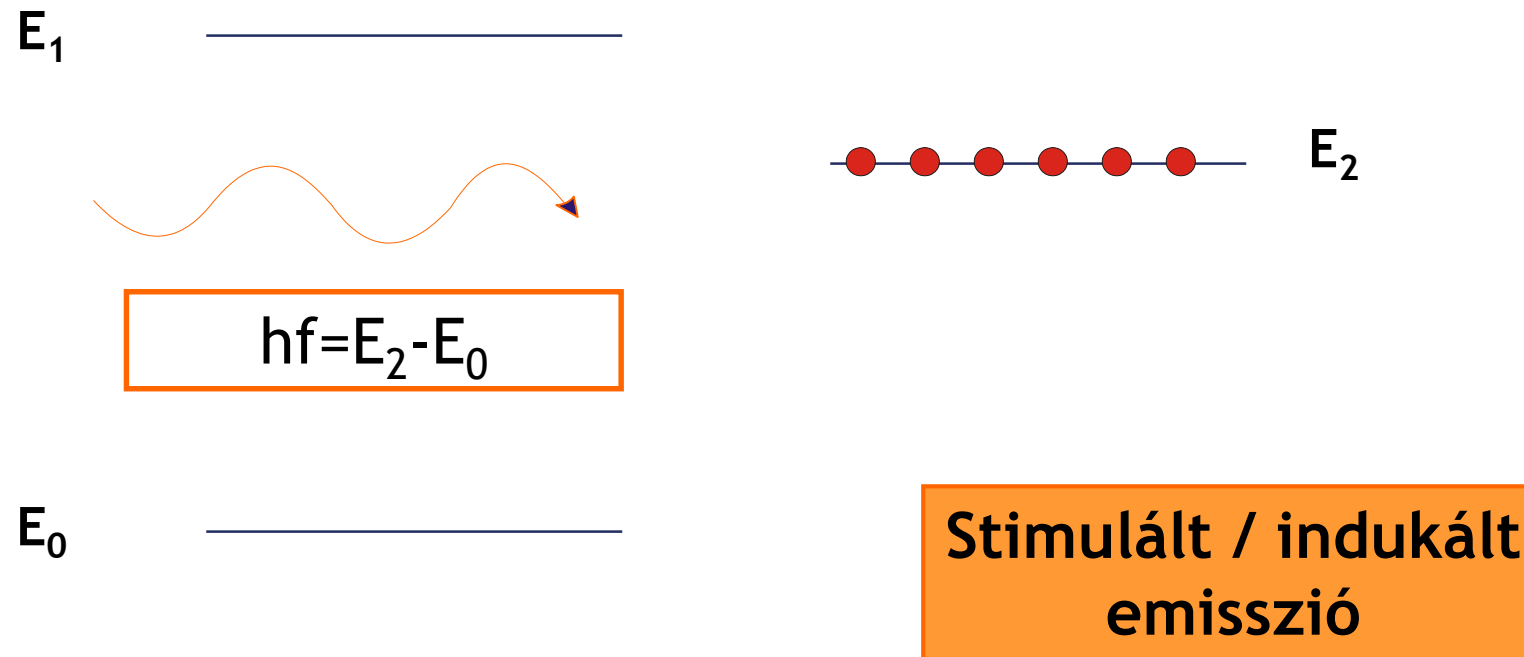
# Spontán emisszió



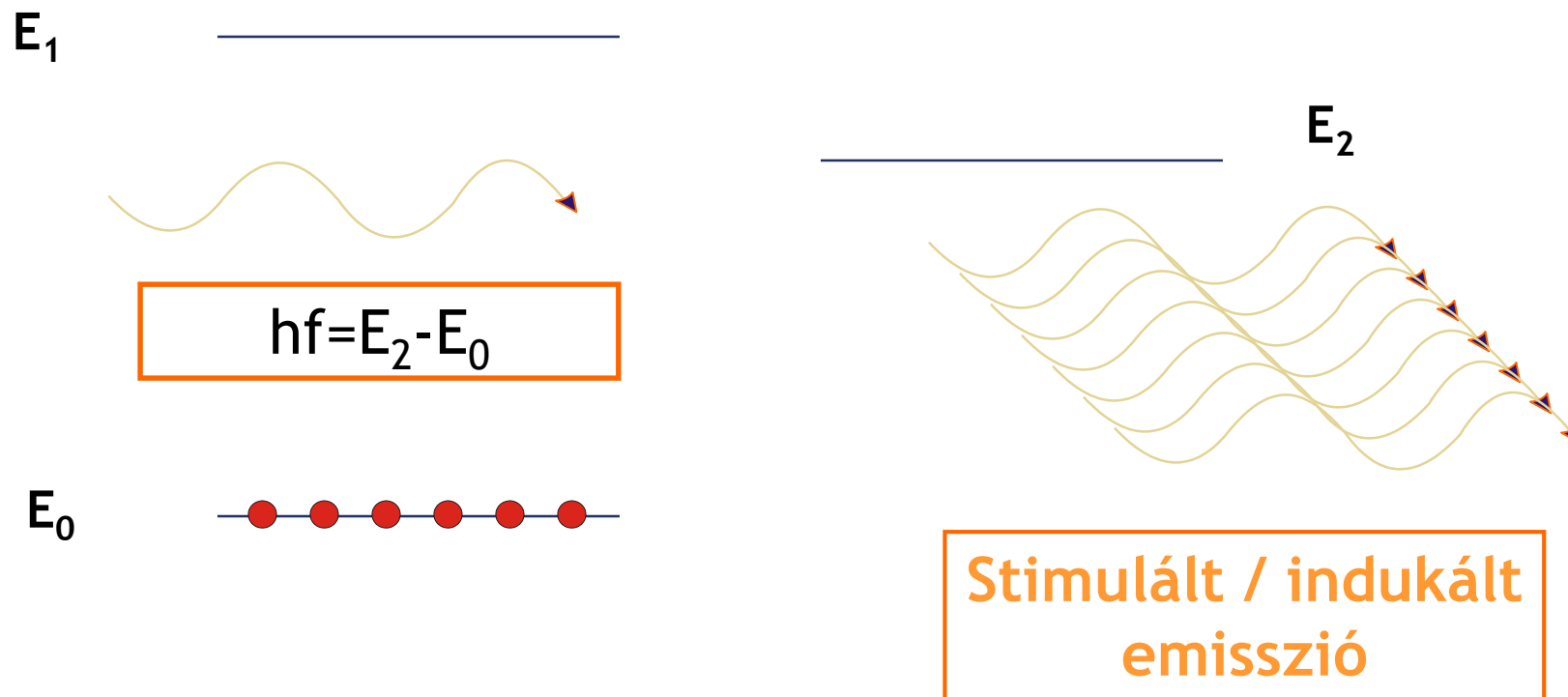
spontán  
fényemisszió

*kis valószínűséggel*

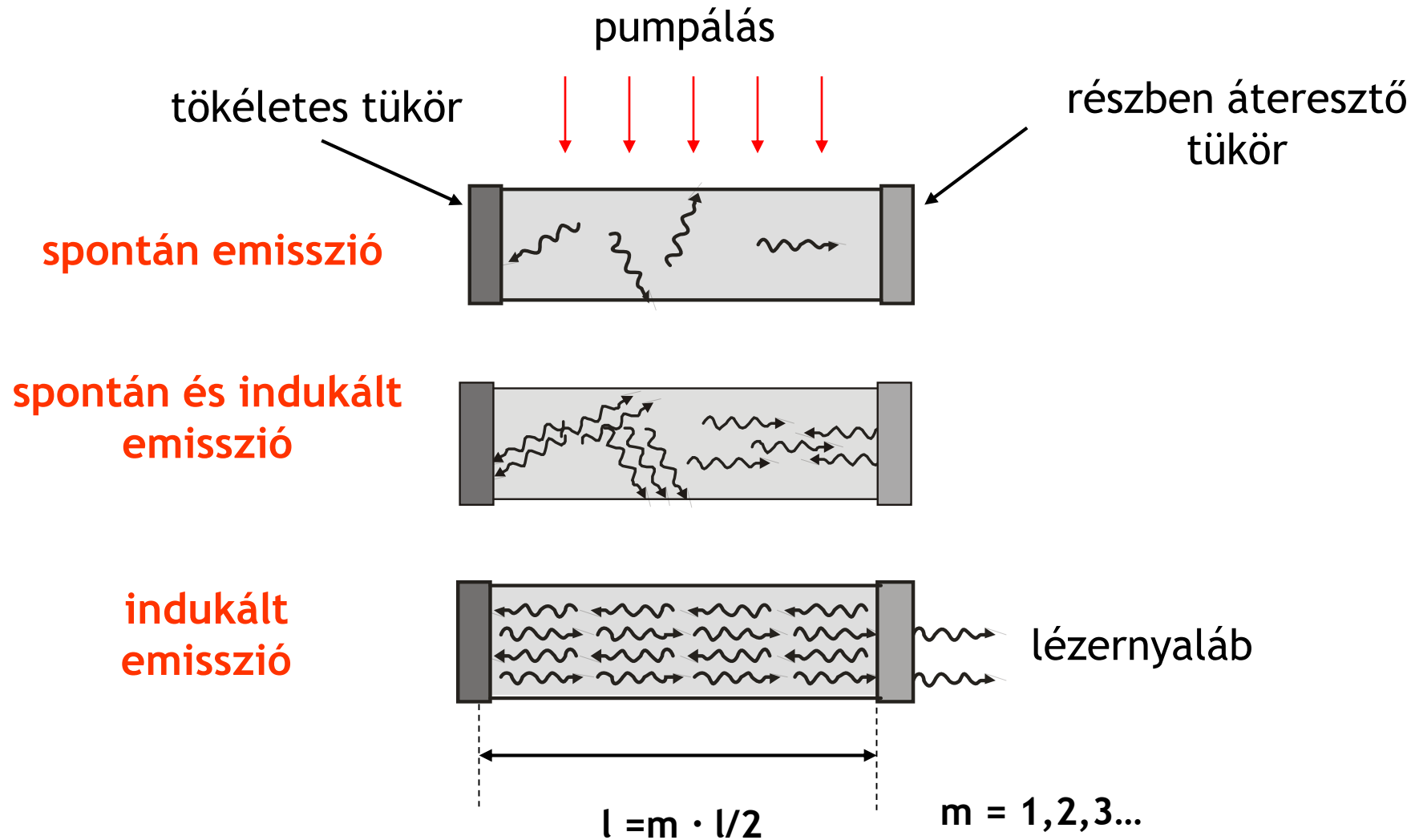
# A metastabil nívón lévő elektronok relaxációjának stimulálása



# A metastabil nívón lévő elektronok relaxációjának stimulálása

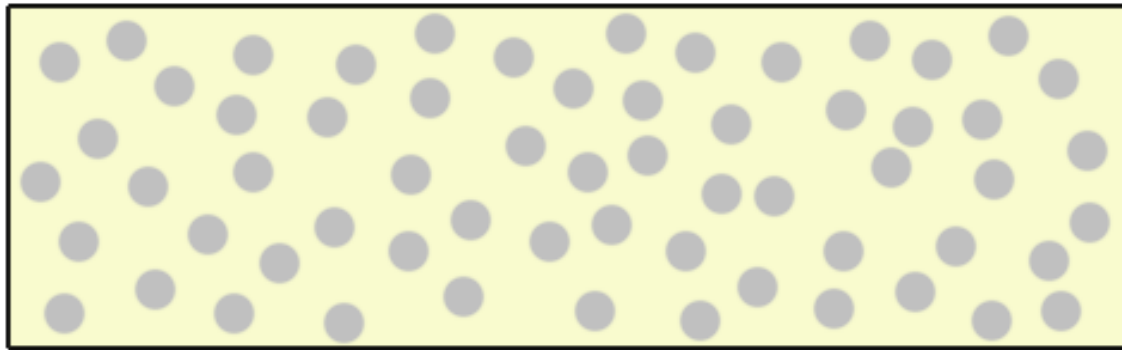
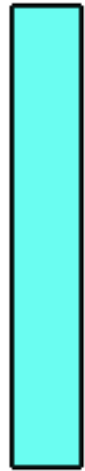


# Lézercső - optikai rezonátor



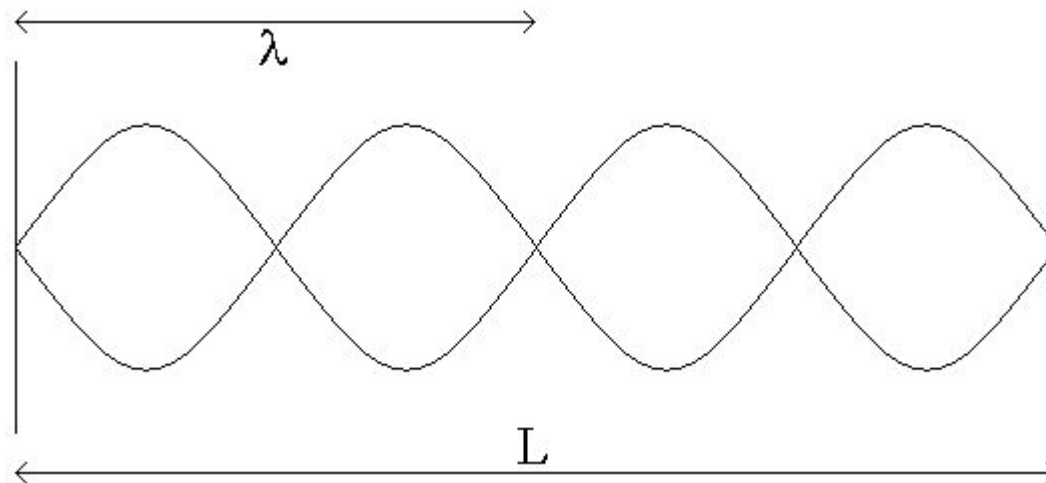
záró tükör

nyitó tükör



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

Alapállapotú lézerközeg

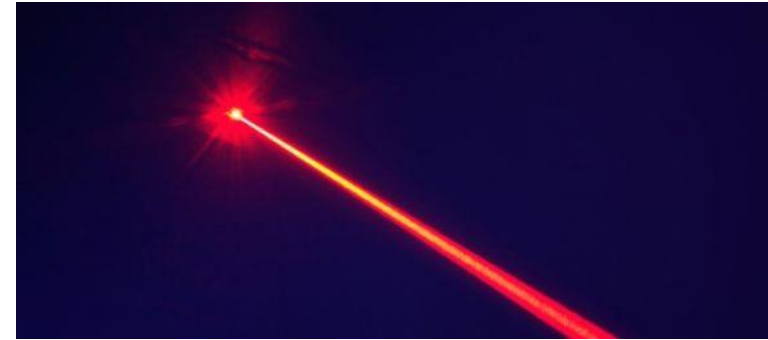


Állóhullám: két egyenlő frekvenciájú és amplitúdójú, de ellenkező terjedési irányú hullám szuperpozíciója

# Lézerfény általános tulajdonságai

Az indukáló és az indukált emisszió révén keletkezett fotonoknak azonos:

- energiája
- fázisa
- rezgési síkja
- terjedési iránya



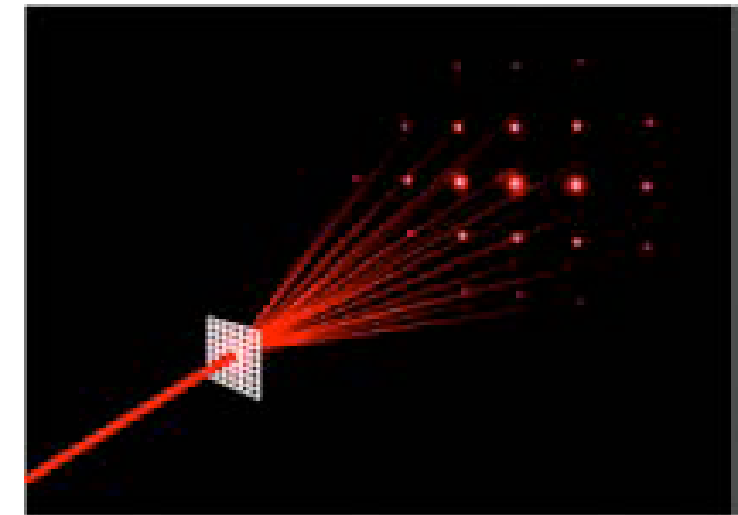
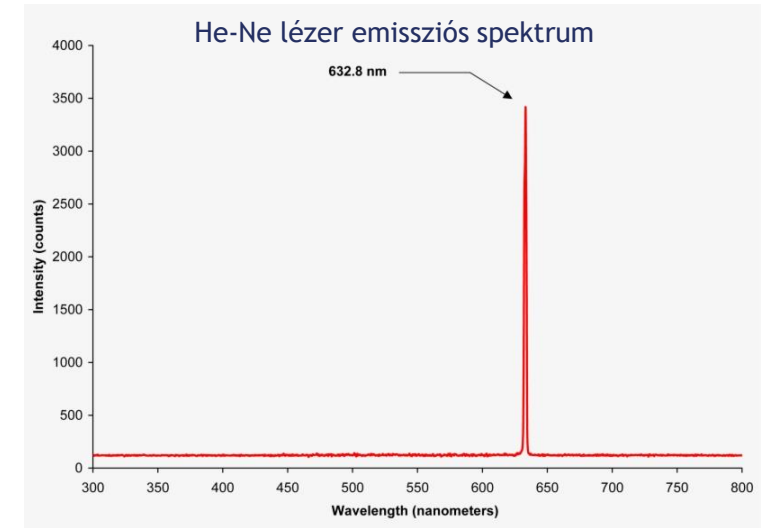
Ezért az indukált emisszióval keletkezett fény:



- Monokromatikus
- koherens
- poláros
- jól fókuszálható

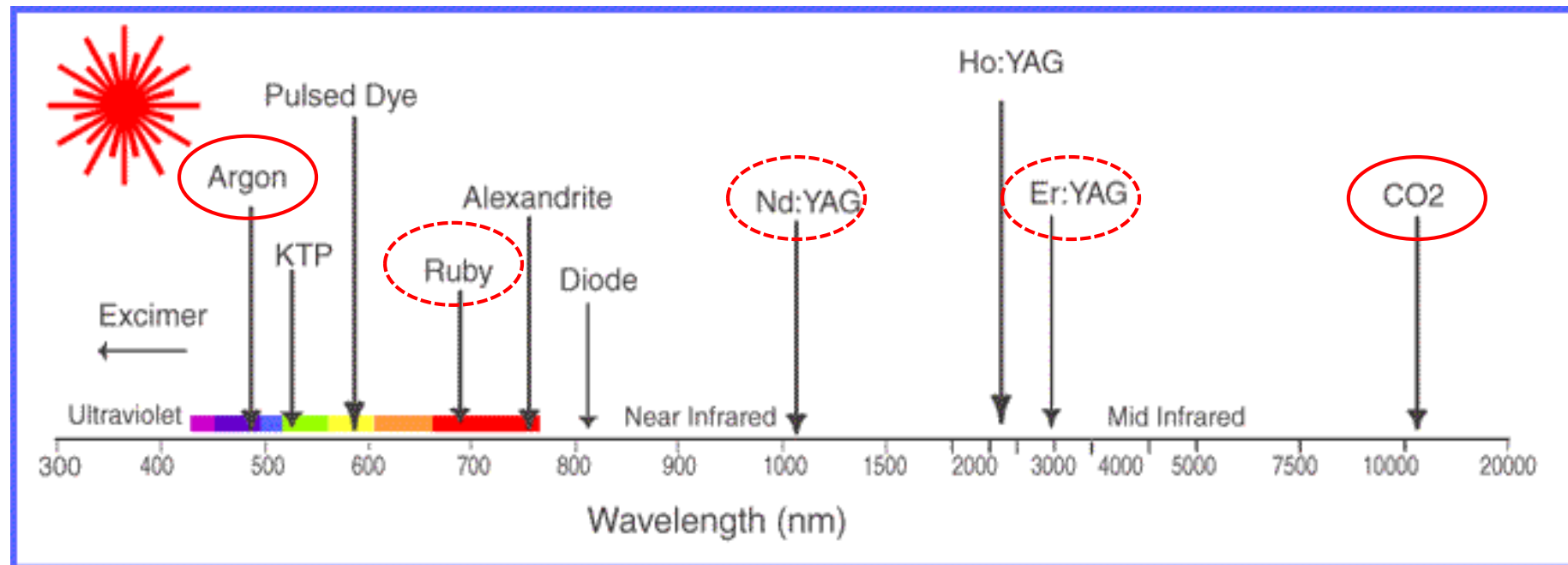
## Az indukált emisszióval keletkezett fény

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



# Lézerek típusai - *anyaguk szerint*

1. Szilárdtest lézerek: fémionnal szennyezett kristályok (Rubin, Nd-YAG ittrium-aluminium-gránát, Ti-zafír)
2. Gázlézerek: He-Ne, CO<sub>2</sub>, 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...

## A fény elnyelődése

Sugárzás

szövet autofluoreszcenciája  
külső kromofórok fluoreszcenciája

Sugárzásmentes  
relaxáció

Fotokémiai  
reakciók

Fotoabláció

Nagy teljesítményű impulzuszóler nyalábjának céltárgyra való fókusználása során a felületre merőlegesen **plazmaállapotú anyagfelhő** lép ki az anyagból, és jól definiált **éles peremű gödröt** hagy maga után

Zúzás (fotodiszrupció)

A nagyintenzitású lézeres besugárzás által keltett gyors folyamatok (**abláció, vaporizáció, hőtágulás**) a besugárzott térfogatban, valamint annak közvetlen környezetében mechanikai hatásokat (pl. lökéshullám) kelthetnek. Ezen mechanikai hatások a szövetek fragmentálódásához vezethetnek. A fotodiszrupció főleg lágyszövet esetén alkalmazott elnevezés, de gyakran ide értik a testfolyadék és szilárd anyagokban (pl. vesekő) bekövetkező lézerindukált mechanikai roncsolást is.

Termikus hatások

Koaguláció  
Vaporizáció  
Karbonizáció

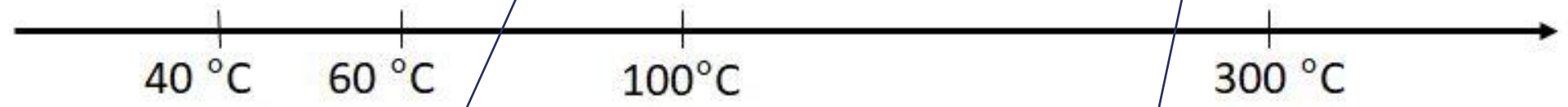
# Termikus hatások

**lézertermia,  
biostimuláció**

**koaguláció**

**karbonizáció**

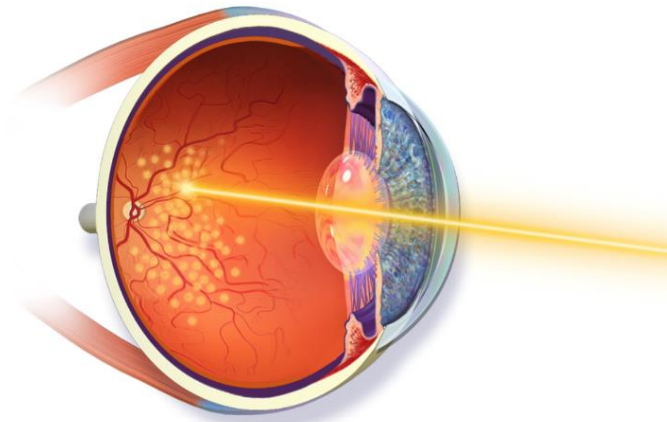
**vaporizáció**



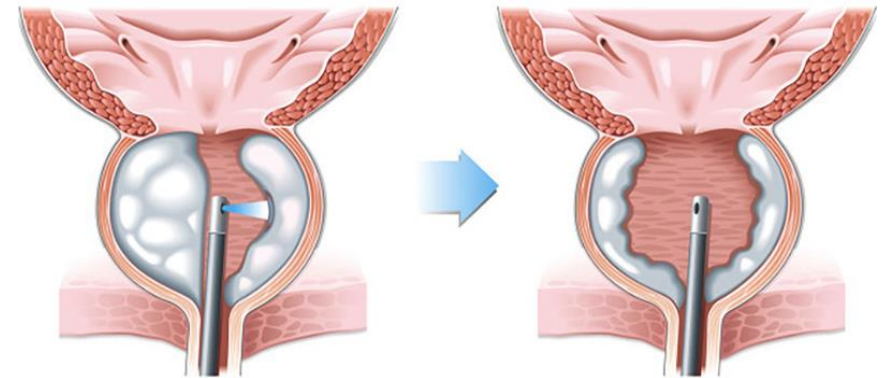
Ortopédiai alkalmazás



Szájüregi herpesz

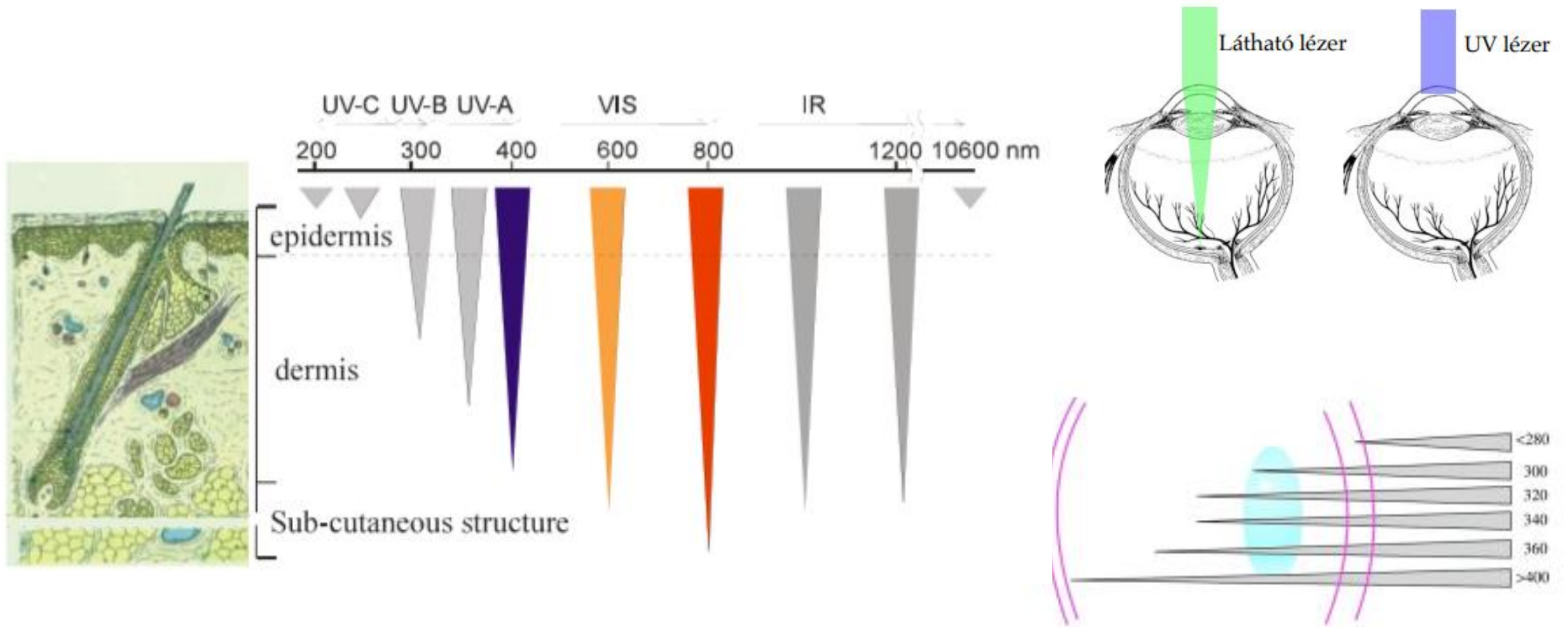


Retina kezelése



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



Elnyelő molekula: mitokondrium, citokróm c oxidáz (absz. max: vörös/infravörös tartomány)

# 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

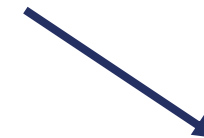


# Lézeres fogfehérítés

- Argon lézer
- 488 nm



Fogfehérítő toll reklám...



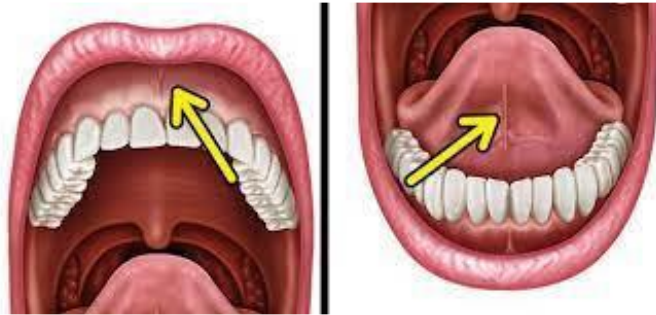
<https://www.youtube.com/watch?v=NW6XI5JvGsE>

# Szájsebészeti alkalmazások

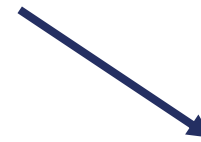
Nd: YAP\* lézer

1340 nm

vágás, abláció, minimális vérzéssel



Frenulectomia (ajakfék, nyelvfék)



gingivectomia

fogíny megnövekedett vagy túlnőtt állapotban van

\*YAlO<sub>3</sub>: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) Picosecondumos 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 CO <sub>2</sub> ) Frakcionált mixed vagy hybrid lézerek (1470nm GaAlAs dióda + 2940nm Er:YAG; 1540nm GaAs dióda + 10.600nm CO <sub>2</sub> )

Dr. Varjú Gábor, Lézerek az esztétikai bőrgyógyászatban: a rejuvenáció módszerei, BŐRGYÓGYÁSZATI ÉS VENEROLÓGIAI SZEMLE • 2020 • 96. ÉVF.4. 163-181.

## Er:YAG lézer

2940 nm

vagy

## CO<sub>2</sub> lézer

10600 nm

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

Ráncok, sérülések, aknék stb. kezelésére



# Felszíni erek fotokoagulációon 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, szórtüszők

# Vénák fotokoaguláción alapuló korrekciója

Nd:YAG lézer  
1064 nm



**Célkromofór az oxihemoglobin 418, 542 és 577 nm-es abszorpciós csúccsal**  
DE! vérekek mélysége, vastagsága, bőr fototípusa, kerülendő: melnocyták, szőrtüszők

# Esztétikai alkalmazások

DOES YOUR CAT NEED LASER HAIR REMOVAL?

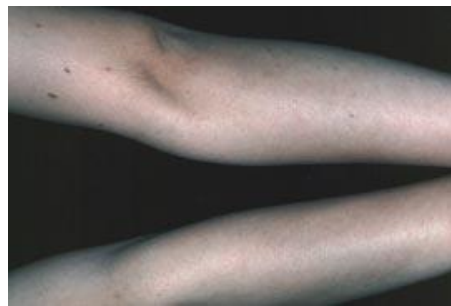


előtte



utána

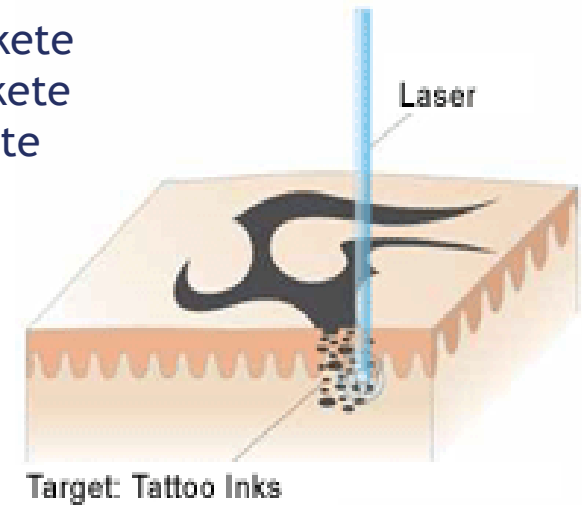
Rubin: 694 nm - zöld, kék, fekete  
Alexandrite: 755 nm - kék, fekete  
NdYAG: 1064 nm - kék, fekete



melanin abszorpciós spektruma 400-1100 nm

A fotopiláció során a kibocsátott energia szelektíven a szőrtüszőkben nyelődik el, azon belül is főként az osztódó sejteket tartalmazó területen.

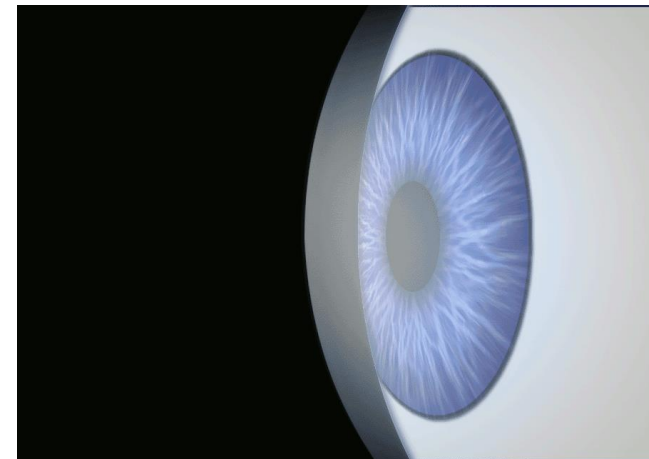
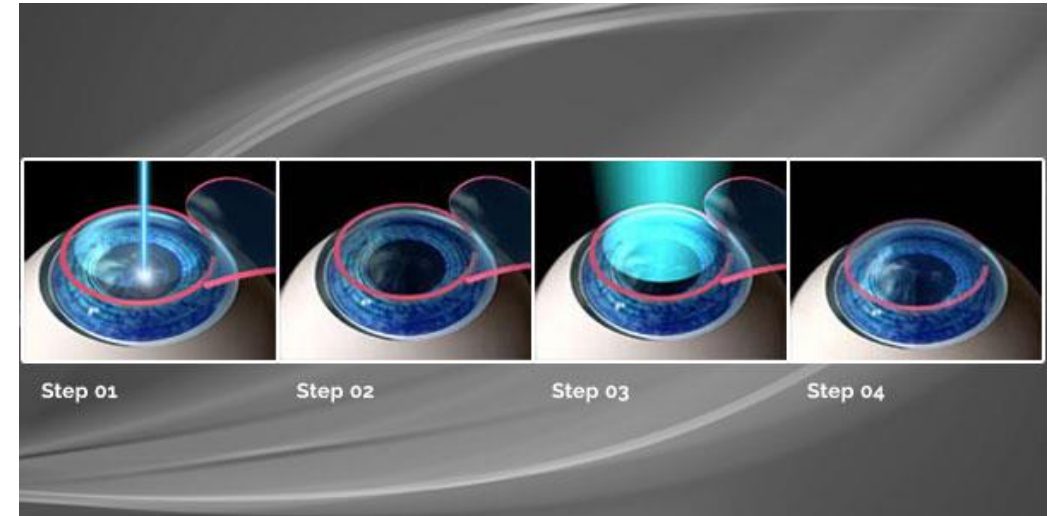
Fototermikus hatások, fotomechanikai sérülés, fotokémiai reakciók.



# Lézerek orvosi alkalmazási lehetőségei - SZEMÉSZET

## FEMTO-LASIK - Femtosecond-assisted Laser In Situ Keratomileusis

- Lézeres látáskorrekció: szaruhártya görbületének lézeres módosítása
- Cornea felületéről egy lemez felhajtása (fs lézerrel)
- Stroma anyagából eltávolítás (néhány 10 mikrométer vastagságban). Excimer lézer (193 nm)
- Előnyei: fájdalommentes, gyorsabb gyógyulás, biztonságos

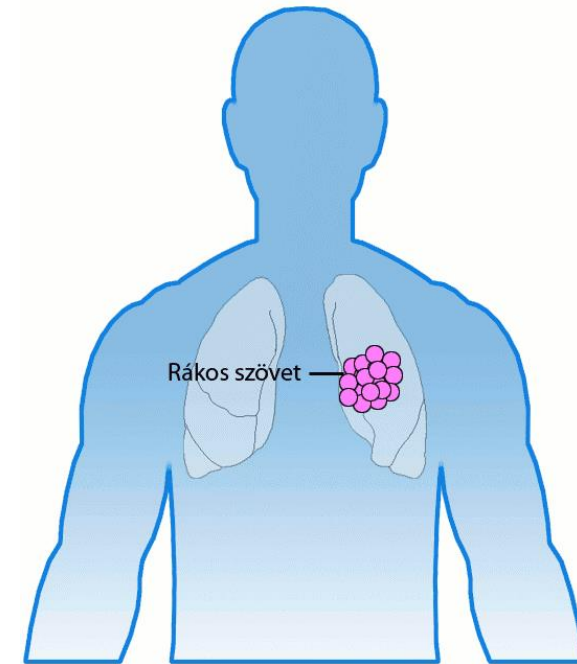


# Lézerek orvosi alkalmazási lehetőségei - ONKOLÓGIA

## 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 ( $1/2 O_2$ ) vagy hidroxid-ion ( $-OH$ ) 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
- Orvosi alkalmazás elméleti háttere
  - Lézerfény elnyelése szövetekben
  - Hőhatás
  - Behatolási mélység biológiai szövetekben