

# Laser / lézer

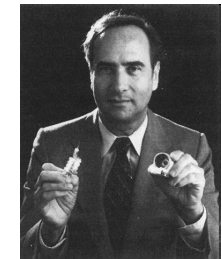
light **a**mplification by **s**timulated **e**mission of **r**adiation

Fényerősítés a sugárzás indukált emissziója révén

## Egy kis történelem

1917 - **Albert Einstein**: az indukált emisszió elméleti predikciója

1954 - **N.G. Basow, A.M. Prochorow, C. Townes**: ammonia maser



1960 - **Theodore Maiman**: az első lézer  
(rubin lézer)

## Egy kis történelem



Alexander Prokhorov



Charles H. Townes



Nicolay Basov

Fizikai Nobel-díj 1964

Lézerek és mézerek fejlesztése területén végzett úttörő munkásságukért

Gabor Denes

Fizikai Nobel-díj 1971  
A holográfia kidolgozásáért



## Egy kis történelem

William D. Phillips



Steven Chu



Claude Cohen-Tannoudji



Fizikai Nobel-díj 1997  
az atomok lézeres hűtésére és  
befogására kifejlesztett  
módszerért



Zhores Ivanovich Alferov



Herbert Kroemer

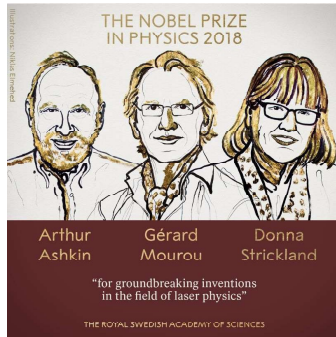
Fizikai Nobel-díj 2000  
A félvezető lézerdiódákért

## Nobel díj 2018

A díjat a mai lézertechnika kifejlesztését megalapozó fizikai alapkutatásokért osztották ki.

### 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.

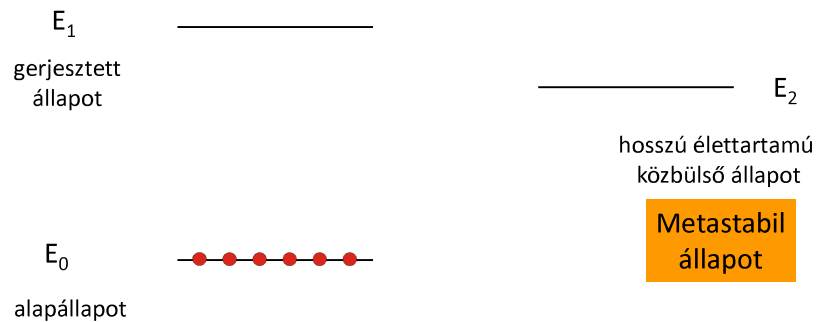


**Mourou-nak és Stricklandnek** ezzel szemben a nagy intenzitású, ultra-rövid optikai impulzusok előállításáért ítelték oda a díjat. Az efféle lézereket nemcsak az iparban, de a gyógyászatban is fel tudják használni, segítségükkel ugyanis precízen lehet bevégeket ejteni és lyukakat fúrni a különböző anyagokon.

A lézerfény előállításának

feltételei és lépései

## Speciális elektron energia állapotok



## Elektronállapotok betöltöttsége



*Termikus egyensúly*

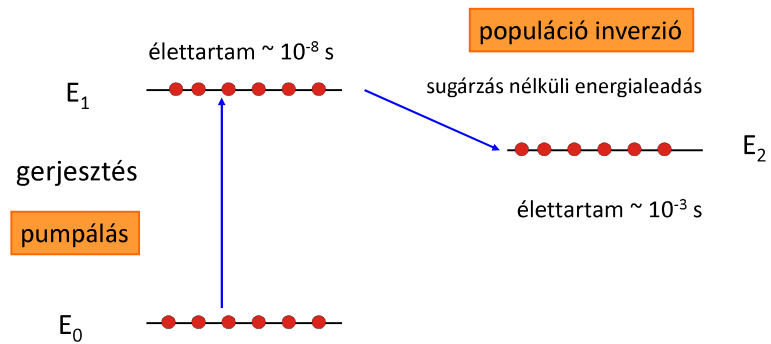
*Populáció inverzió*

Boltzmann eloszlás szerint:

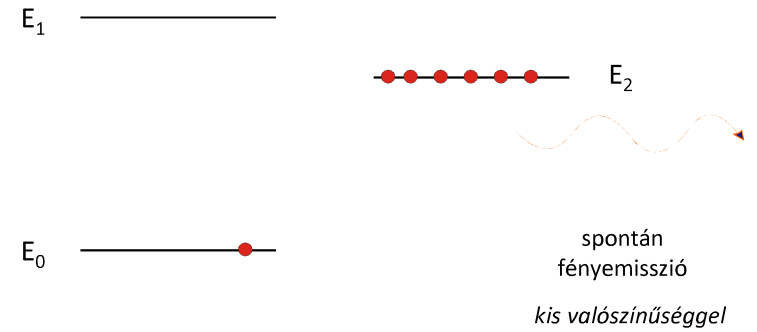
"fordított" betöltöttség

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

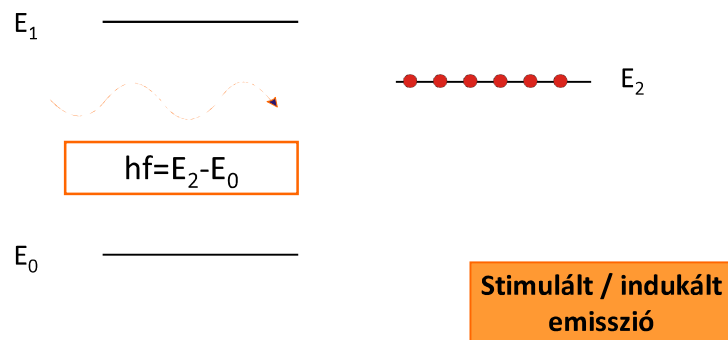
## A lézerfény keletkezésének lépései



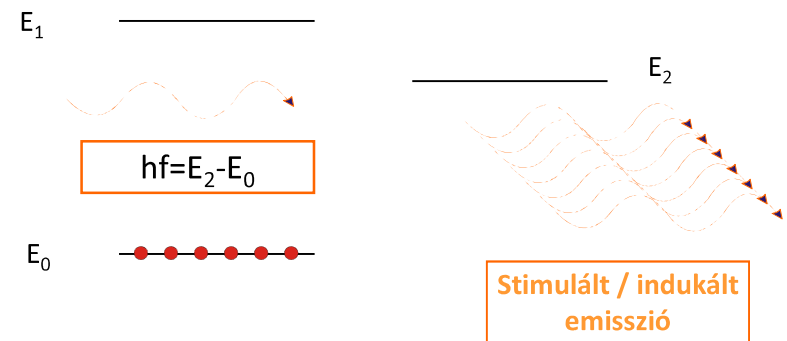
### Spontán emisszió



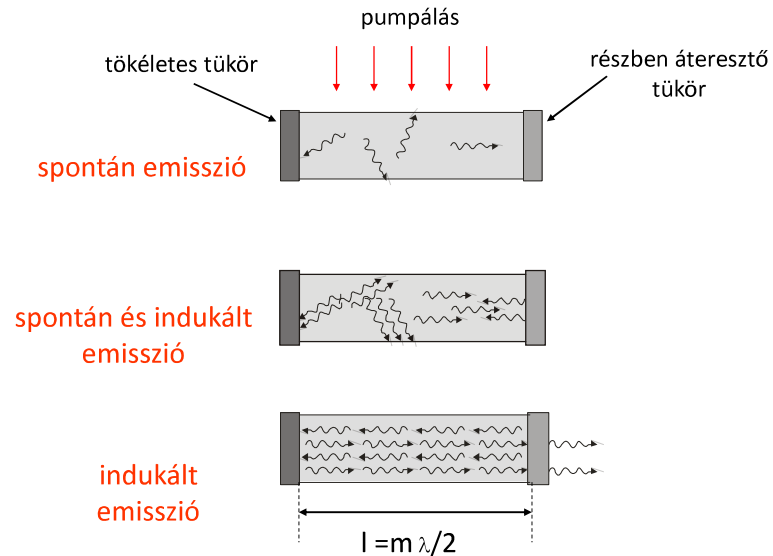
## A metastabil nívón lévő elektronok relaxációjának stimulálása



## A metastabil nívón lévő elektronok relaxációjának stimulálása

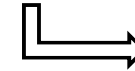
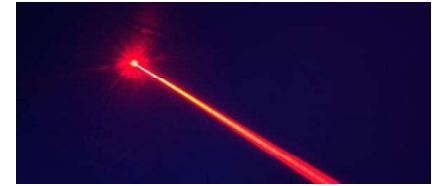


## Lézercső – optikai rezonátor



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

- energiája
- fázisa
- rezgési síkja
- terjedési iránya.



Ezért az indukált emisszióval keletkezett fény:



- Monokromatikus
- koherens
- poláros
- jól fókuszálható

Az indukált emisszióval keletkezett fény

monokromatikus – keskeny spektrális sáv szélesség

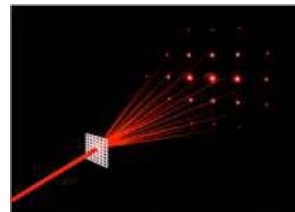
koherens – interferenciaképes

időbeli koherencia

térbeli koherencia

jól fókuszálható

poláros



## A lézerek típusai

*Anyaguk szerint:*

*Működésük szerint:*

*Teljesítményük szerint:*

szilárd

impulzus

nagy teljesítményű

gáz

folyamatos

kis teljesítményű

festék

félvezető

Rövid impulzusidő lehetséges –  $ps$ ,  $fs$

Nagy teljesítmény érhető el –  $kW$  -  $GW$

Nagy teljesítménysűrűség lehetséges

## A lézerek típusai

### Anyaguk szerint:

*szilárdtest* ~: fémionnal szennyezett kristályok

pl. Nd – Yag\*, rubin, Ti-zafir

*gáz*~

pl. helium – neon, széndioxid, argon/kripton

*festék*~: szerves festékek híg oldata

pl. rodamin, kumarin

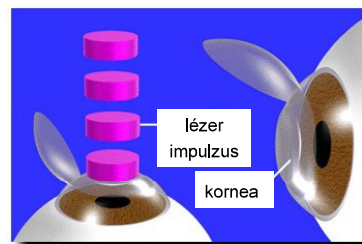
*félvezető*~: p és n-típusú félvezetők kombinációjából

\* ittrium-aluminium-gránát

## Excimer lézer – *excited dimer*

Alapállapotban monomerek, gerjesztett állapotban stabilis komplexek vagy dimerek

Pl. nemesgázok vagy  
nemesgáz és halogén keverékek



Ar <sub>2</sub>	126 nm
Kr <sub>2</sub>	146 nm
F <sub>2</sub>	157 nm
Xe <sub>2</sub> *	172 & 175 nm
ArF	193 nm
KrF	248 nm
XeBr	282 nm
XeCl	308 nm
XeF	351 nm
CaF <sub>2</sub>	193 nm
KrCl	222 nm
Cl <sub>2</sub>	259 nm

## A lézerek típusai

### Teljesítményük szerint:

5 mW – CD-ROM drive

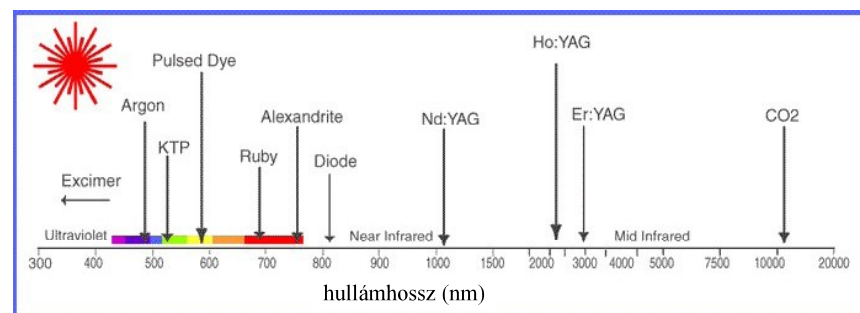
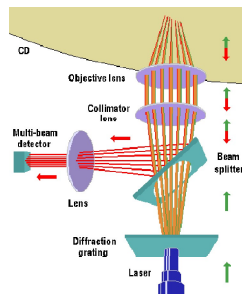
5 - 10 mW – DVD lejátszó

100 mW – CD-író

250 mW – DVD-író

1-20 W – mikro-megmunkálásban használt szilárdtest lézerek

30-100 W – tipikus sebészeti lézerek



<https://www.youtube.com/watch?v=j0T8Fd9iQqs>



## A lézerek alkalmazása

A kiválasztás szempontjai:

hullámhossz  
teljesítmény  
üzemmód



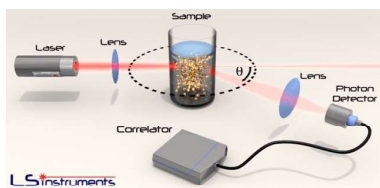
### Felhasználási területek

orvos gyakorlat – sebészet, szemsebészet, bőrgyógyászat,  
kozmetika, fogászat, biostimuláció, reumatológia  
fotodinamikus terápia

technika, ipar

jelátvitel, kommunikáció

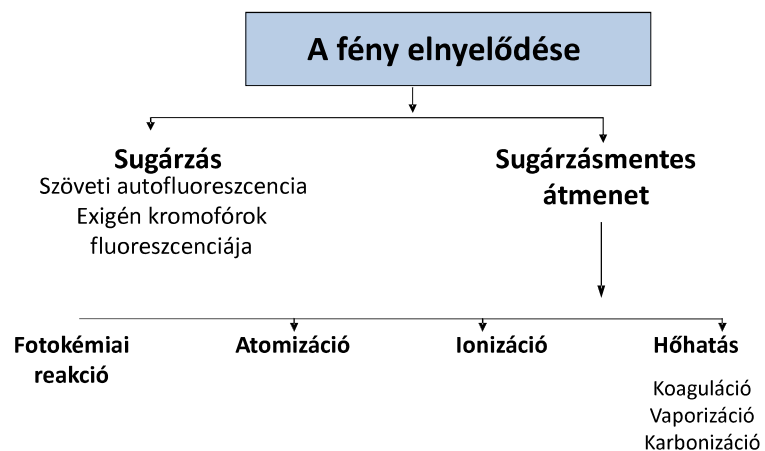
kutatás, szerkezetvizsgálat



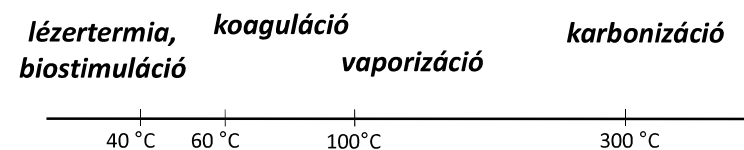
## Leggyakoribb lézerek az orvosi gyakorlatban

Típus	$\lambda$ nm	folytonos	impulzus	alkalmazás
Széndioxid	10 600	20–100 W	$10^9$ W	sebészet
Nd:Yag	1064	50 W	$10^8$ W	sebészet
Argon	488- 514	10 W	$10^2$ W	szemészet pumpálás

## Fény által indukált folyamatok a szövetekben

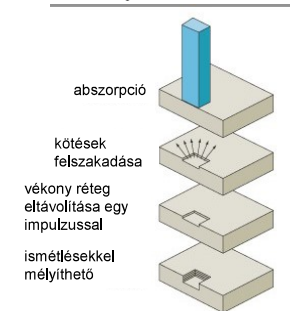


## Termikus hatások



## Fotoabláció (eltávolítás) – atomizáció/vaporizáció

- UV lézer impulzus ( $10 \text{ MW/cm}^2$  -  $10 \text{ GW/cm}^2$ )
- Excimer lézerek (193 nm-351 nm), 10-20 ns impulzus
- Refraktív kornea sebészet, szövet "contouring" (sculpting)



## Fotodisrupció

Lágy szövetekben v. testfolyadékokban nagy intenzitású, ns-os impulzusok hatására

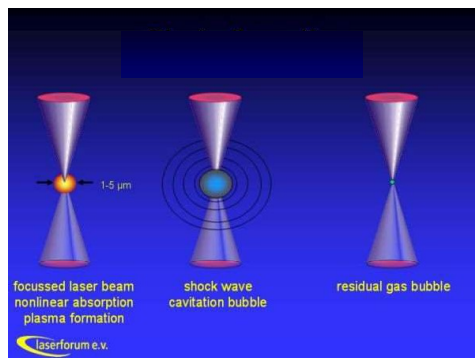


Lökéshullám roncolja a szöveteket

Kavitáció

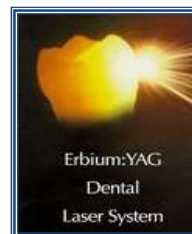
Vízgőz és CO<sub>2</sub> tölti ki az üreget

A lökéshullám következtében ez szétáramlik a környező szövetekbe



caries eltávolítása

Er:YAG lézer  
2940 nm



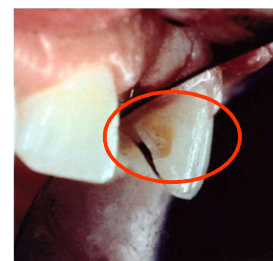
Maximális elnyelődés a vízben és a hidroxiapatitban



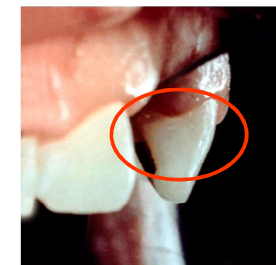
Vaporizáció és mechanikai hullám



caries eltávolítása  
kemény szövetek módosítása  
lágy szövetek módosítása



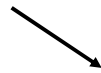
caries eltávolítása



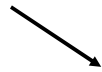




Argon lézer



fogfehérítés

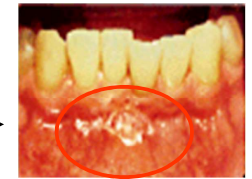


<https://www.youtube.com/watch?v=NW6XI5JvGsE>

Nd: YAP\* lézer



frenectomia

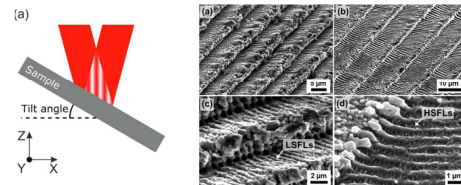


gingivectomia

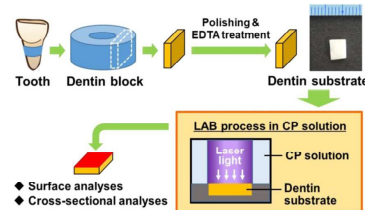


\*YAlO<sub>3</sub>:Nd

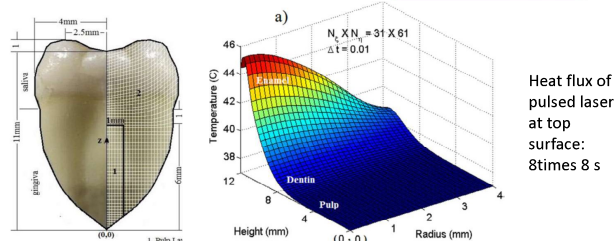
One-step fabrication of asymmetric saw-tooth-like surface structures on stainless steel using Direct Laser Interference Patterning (Materials Letters 245 (2019) 183–187)



Laser-assisted biomineralization on human dentin for tooth surface functionalization (Materials Science & Engineering C 105 (2019) 110061)



Evaluation of heat conduction in a laser irradiated tooth with the three phase-lag bio-heat transfer model (Thermal Science and Engineering Progress 7 (2018) 203–212)



Er:YAG lézer

2940 nm

vagy

CO<sub>2</sub> lézer

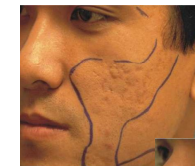
10600 nm

„resurfacing” – ablációs technika

az epidermisz megújítására



Ráncok,  
sérülések,  
aknék stb.  
kezelésére





Nd:YAG lézer  
1064 nm

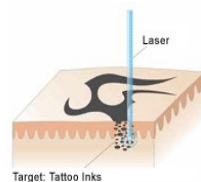
Felszíni erek fotokoaguláción alapuló  
korrekciója



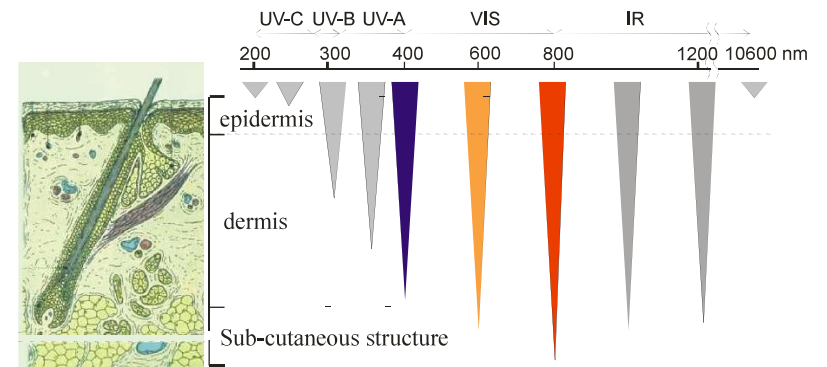
Vénák fotokoaguláción alapuló  
korrekciója



## Esztétikai megoldások



## Fény behatolási mélysége a bőrbe



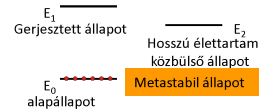
A fény intenzitás gyengülése elnyelődés, fénytörés és visszaverődéssel egyaránt megvalósul.

Az, hogy a fény milyen mélyen képes behatolni a szövetbe,  
hullámhossz függő!!!

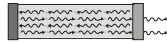
## Ellenőrző kérdések a felkészüléshez

### ☐ Lézerfény előállításának feltételei

- ☐ Speciális energia állapot (3 energia szint)
- ☐ Populáció inverzió (pumpálás)
- ☐ Indukált emisszió



### ☐ Optikai rezonátor

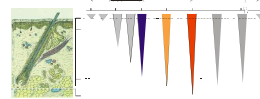
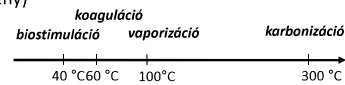


### ☐ Lézer fény tulajdonságai (koherens, polarizált, monokromatikus, nagy energia, jól fókuszált)

### ☐ Lézerek típusai (anyag, energia, teljesítmény)

### ☐ Orvosi alkalmazásai

- ☐ Lézerfény elnyelése szövetekben
- ☐ Hőhatás
- ☐ Behatolási mélység bőrbe



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

<https://www.youtube.com/watch?v=ztKT9tOryAw>

<https://www.youtube.com/watch?v=KXkqIr7YFU4>

<https://www.youtube.com/watch?v=j0T8Fd9iQqs>

<https://www.youtube.com/watch?v=4SCzwOdg4mc>

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