# Laser / lézer

light amplification by stimulated emission of radiation

Fényerősítés a sugárzás indukált emissziója révén

Jedlovszky-Hajdú Angéla

2020.10.26.

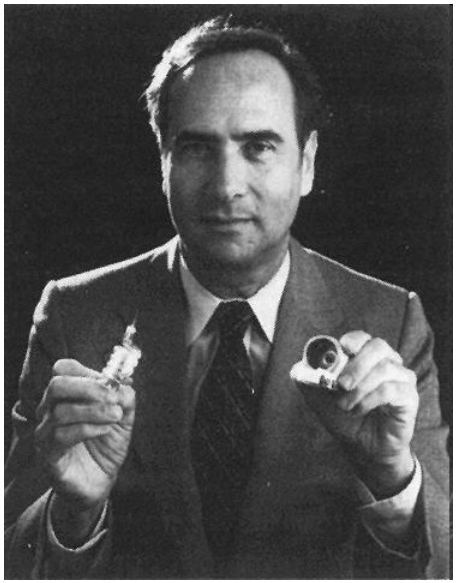
Biofizikai és Sugárbiológiai Intézet,
Nanokémiai Kutatócsoport

# 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

XI. kerület, Magyar tudósok körútja 2.

# Egy kis történelem

**William D. Phillips**

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

**Steven Chu**

**Claude Cohen-Tannoudji**

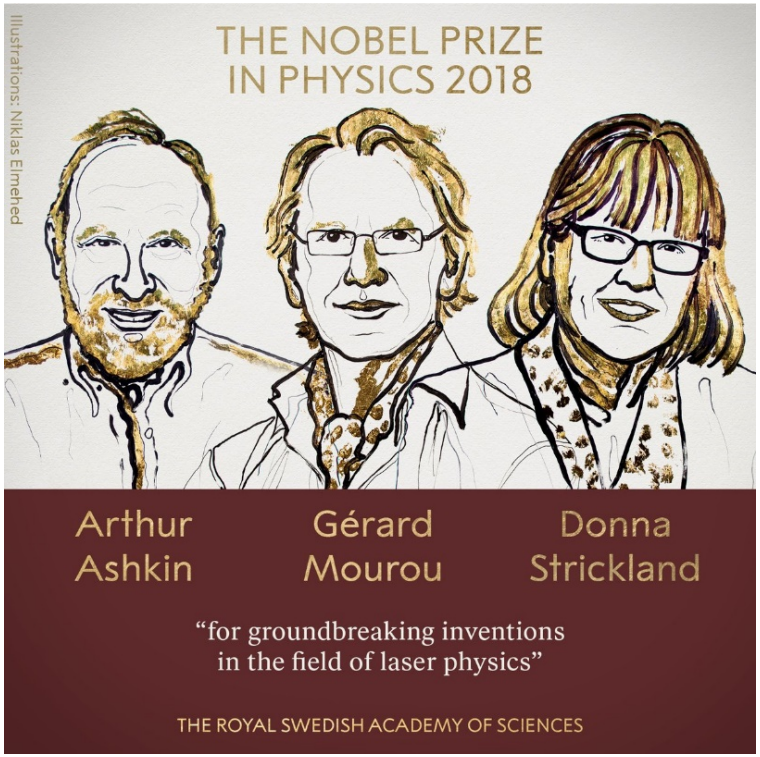
Fizikai Nobel-díj 2000
A félvezető lézerdiódákért

**Zhores Ivanovich Alferov**

**Herbert Kroemer**

# 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 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.

# A lézerfény előállításának

# feltételei és lépései

# Speciális elektron energia állapotok

$E_1$

gerjesztett állapot

$E_2$

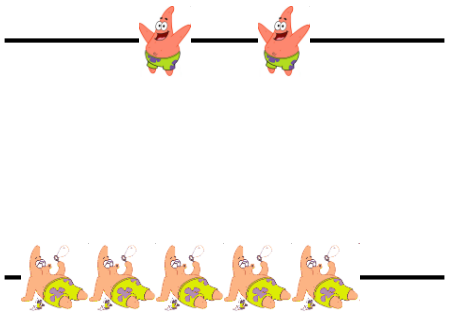
hosszú élettartamú közbülső állapot

$E_0$

alapállapot

**Metastabil állapot**

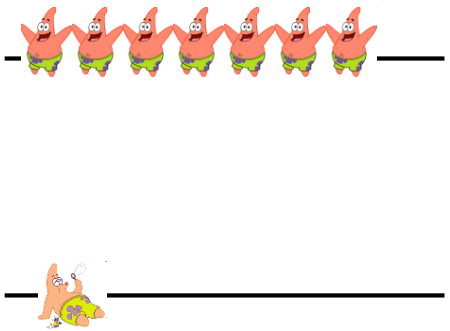
# Elektronállapotok betöltöttsége



*Termikus egyensúly*

**Boltzmann eloszlás szerint:**

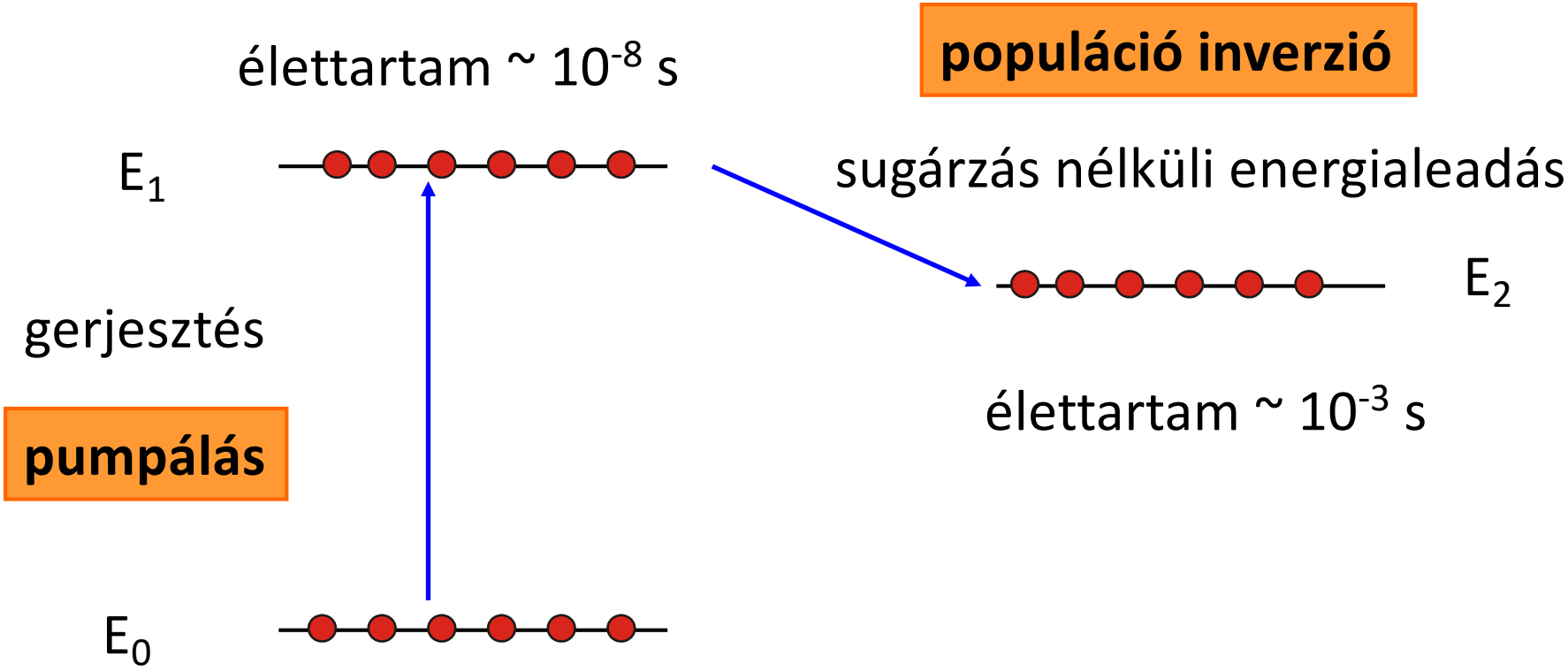
$$n = n_0 e^{-\frac{\Delta\varepsilon}{kT}}$$



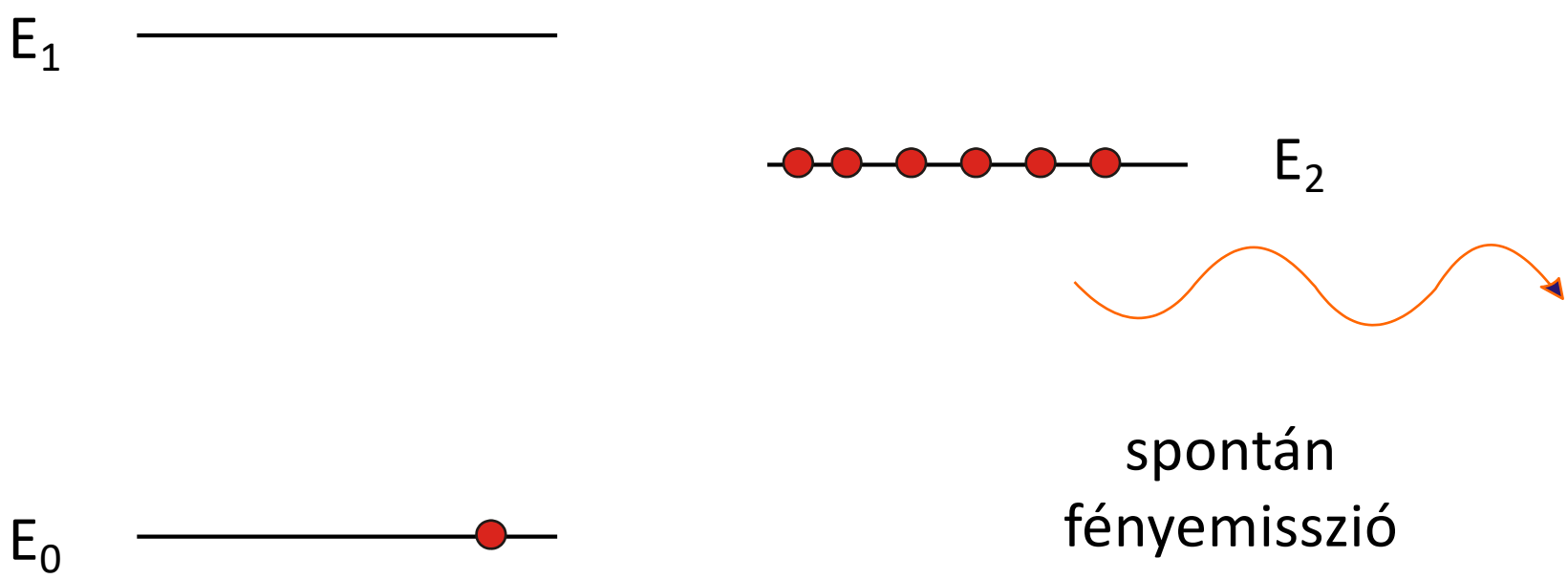
*Populáció inverzió*

**“fordított” betöltöttség**

# A lézerfény keletkezésének lépései

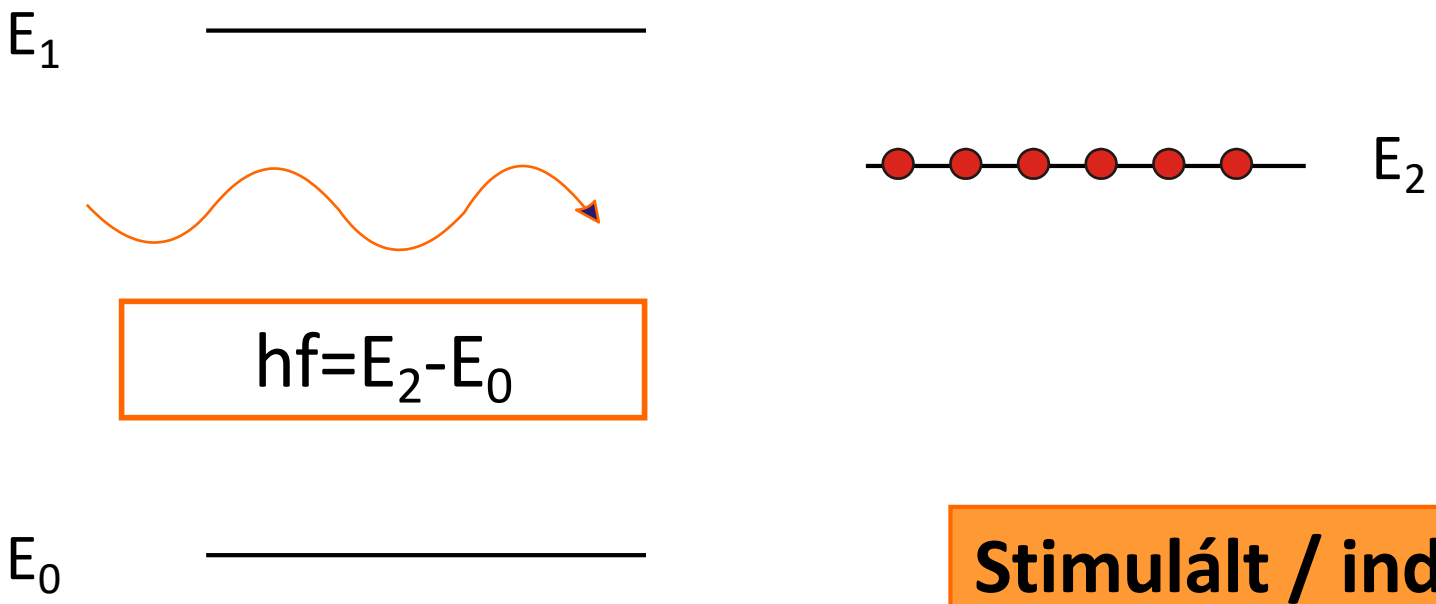


# Spontán emisszió



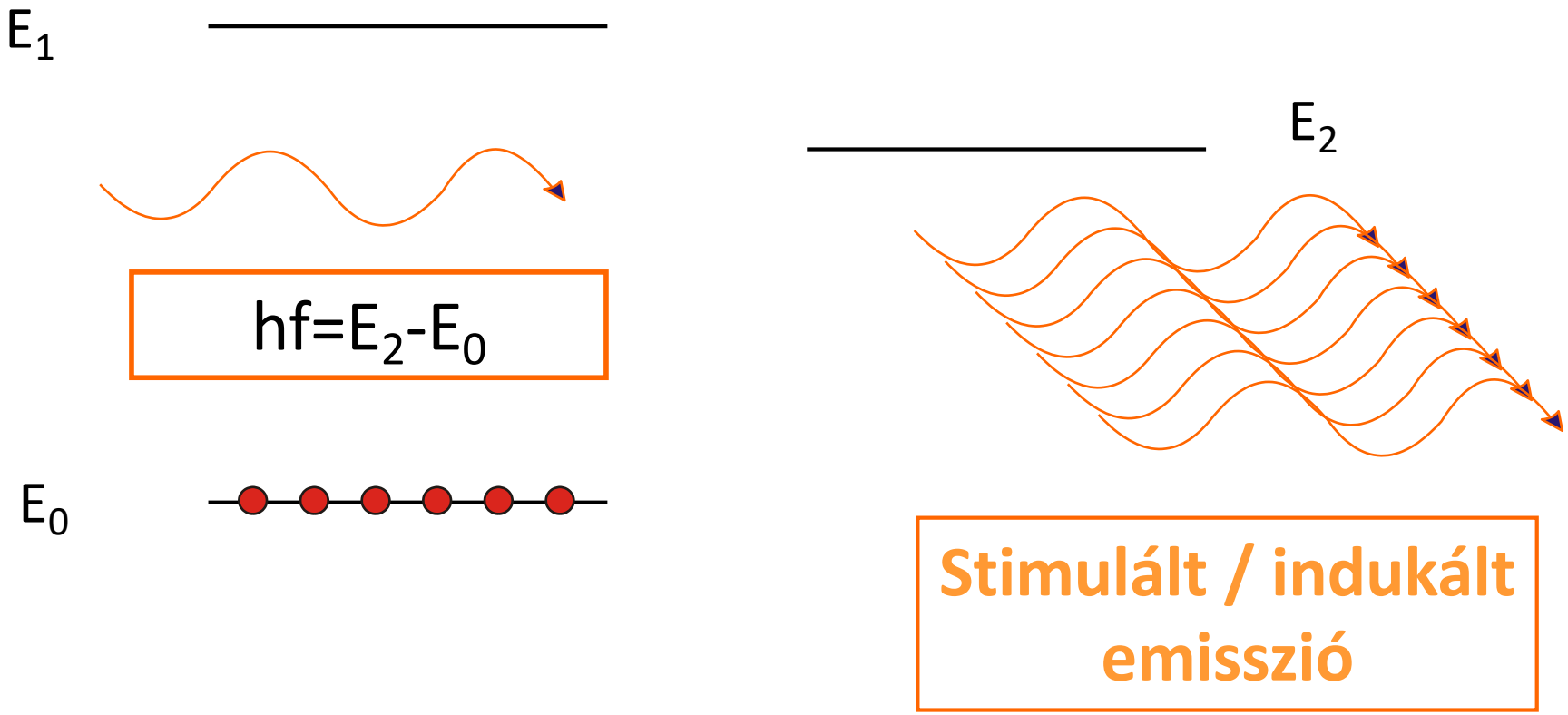

*<u>kis valószínűséggel</u>*

# A metastabil nívón lévő elektronok relaxációjának *stimulálása*

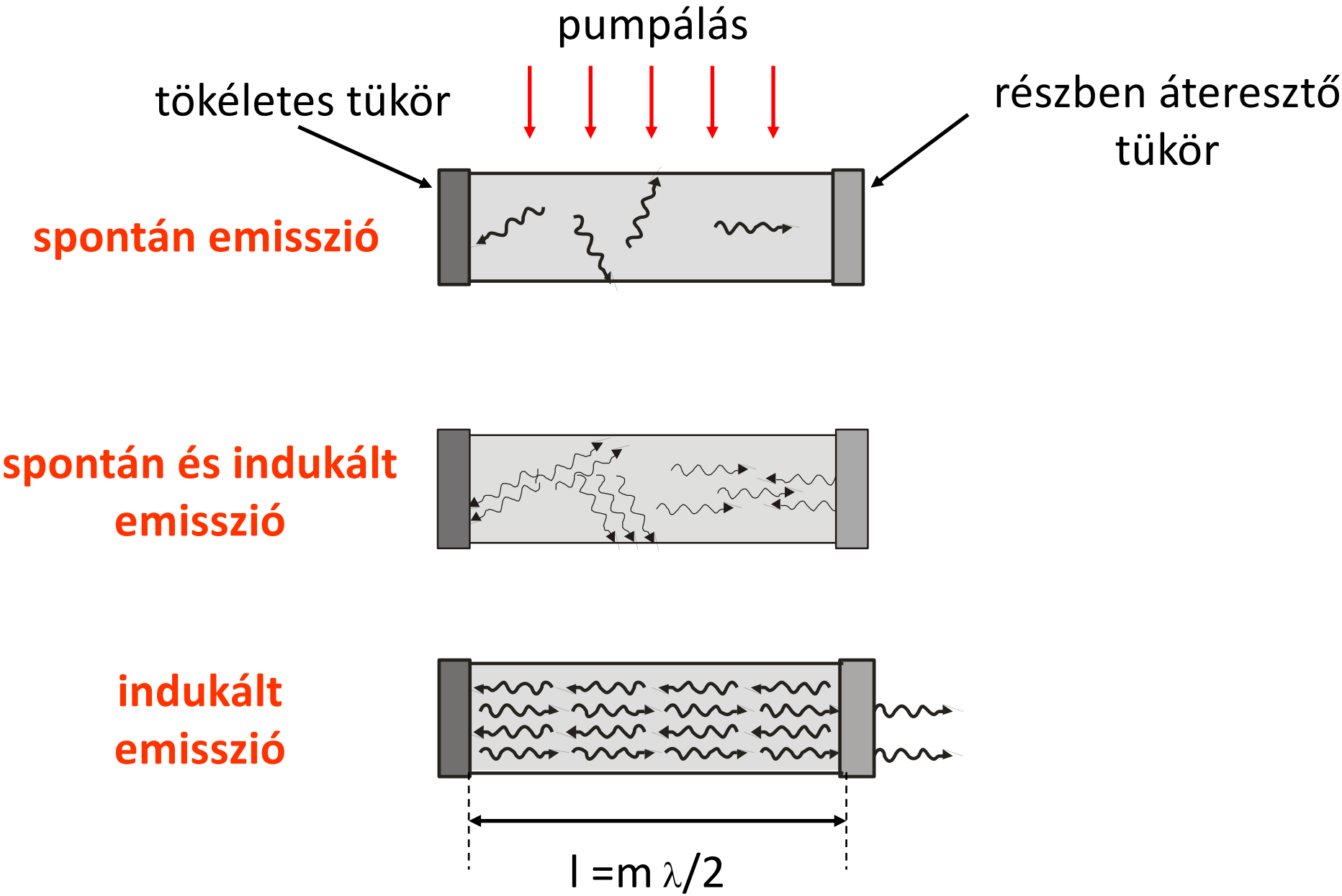



**Stimulált / indukált emisszió**

# A metastabil nívón lévő elektronok relaxációjának *stimulálása*

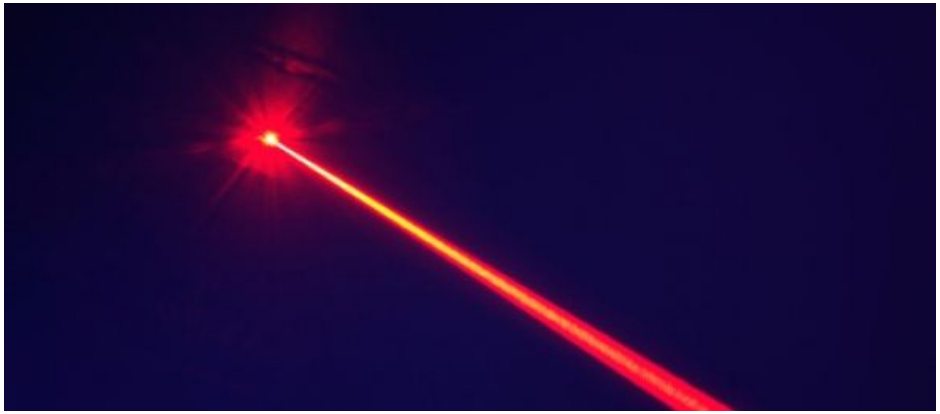


# Lézercső – optikai rezonátor



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

- energiája
- fázisa
- rezgési síkja
- terjedési iránya.



**Ezért az indukált emisszióval keletkezett fény:**

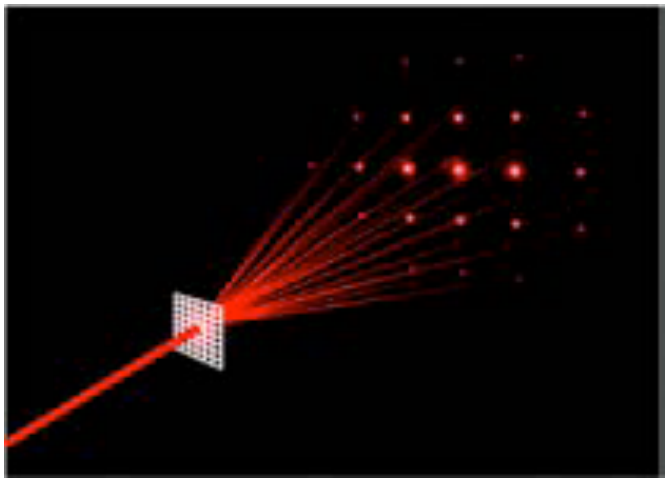
- Monokromatikus
- koherens
- poláros
- jól fókuszálható

Az indukált emisszióval <u>keletkezett fény</u>

- monokromatikus – keskeny spektrális sávszélesség
- koherens – interferenciaképes

  időbeli koherencia

  térbeli koherencia



- jól fókuszálható
- poláros

Rövid impulzusidő lehetséges – *ps, fs*

Nagy teljesítmény érhető el– *kW - GW*

Nagy teljesítmenysűrűség lehetséges

# A lézerek típusai

| ***Anyaguk szerint***: | ***Működésük szerint:*** | ***Teljesítményük szerint:*** |
| --- | --- | --- |
| szilárd | impulzus | nagy teljesítményű |
| gáz | folyamatos | kis teljesítményű |
| festék | | |
| félvezető | | |

# 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

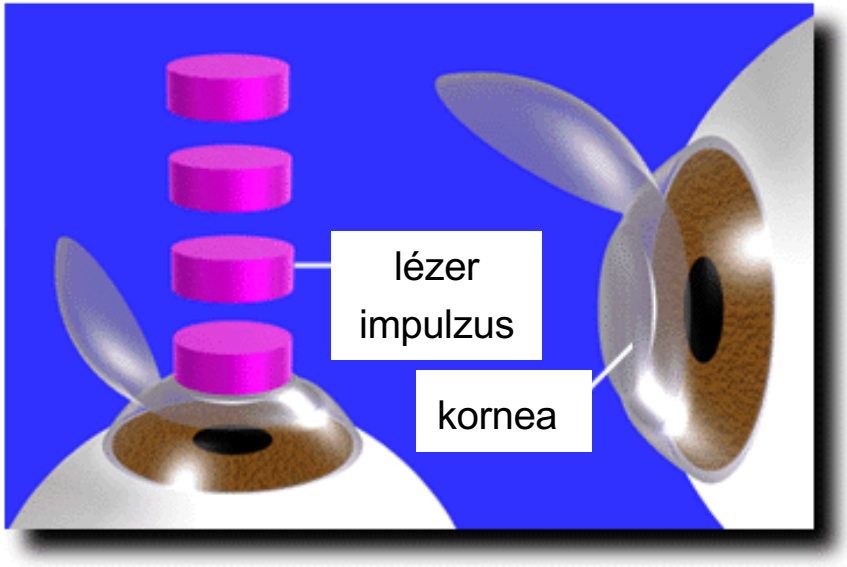
*félvezető*~: p és n-típusú félvezetők kombinációjából

* ittrium-aluminium-gránát

# *Excimer lézer – **excited dimer***

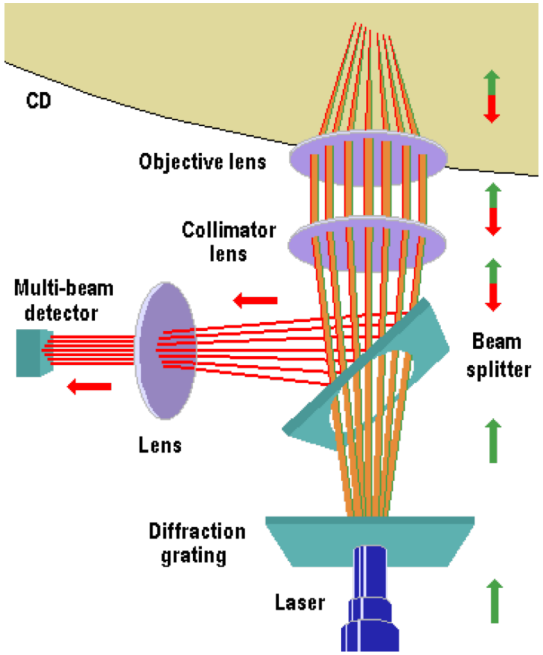
Alapállapotban monomerek, gerjesztett állapotban stabilis komplexek vagy dimerek

Pl. nemesgázok vagy
nemesgáz és halogén keverékek




| | |
|---|---|
| $Ar_2$ | 126 nm |
| $Kr_2$ | 146 nm |
| $F_2$ | 157 nm |
| $Xe_2$* | 172 & 175 nm |
| ArF | 193 nm |
| KrF | 248 nm |
| XeBr | 282 nm |
| XeCl | 308 nm |
| XeF | 351 nm |
| $CaF_2$ | 193 nm |
| KrCl | 222 nm |
| $Cl_2$ | 259 nm |

# A lézerek típusai




**Teljesítményük szerint:**

5 mW – CD-ROM drive

5 - 10 mW – DVD lejátszó

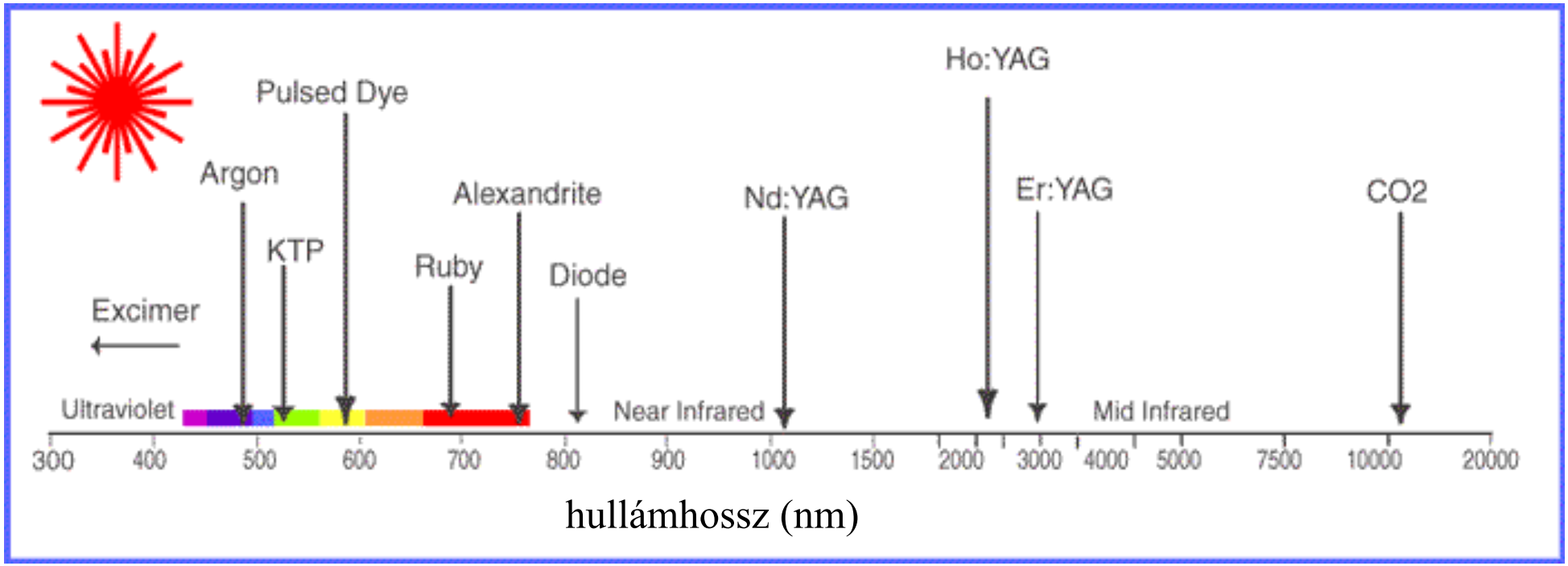
100 mW – CD-iró

250 mW – DVD-iró

1-20 W – mikro-megmunkálásban használt szilárdtest lézerek

30-100 W – tipikus sebészeti lézerek

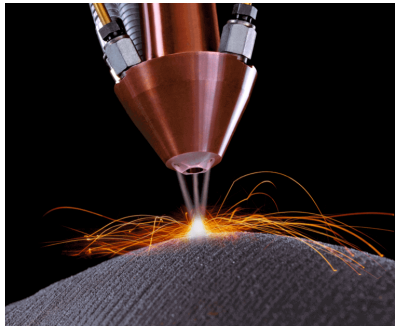
https://www.youtube.com/watch?v=j0T8Fd9iQqs


Ho:YAG
Pulsed Dye
Argon
Alexandrite
Nd:YAG
Er:YAG
CO2
KTP
Ruby
Diode
Excimer
Ultraviolet
Near Infrared
Mid Infrared
300
400
500
600
700
800
900
1000
1500
2000
3000
4000
5000
7500
10000
20000
hullámhossz (nm)

# A lézerek alkalmazása

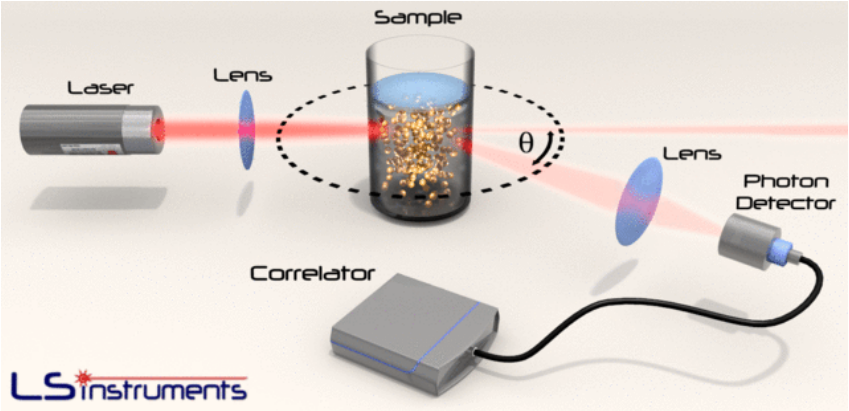
*A kiválasztás szempontjai:*

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

**A fény elnyelődése**

**Sugárzás**
Szöveti autofluoreszcencia
Exigén kromofórok fluoreszcenciája

**Sugárzásmentes átmenet**

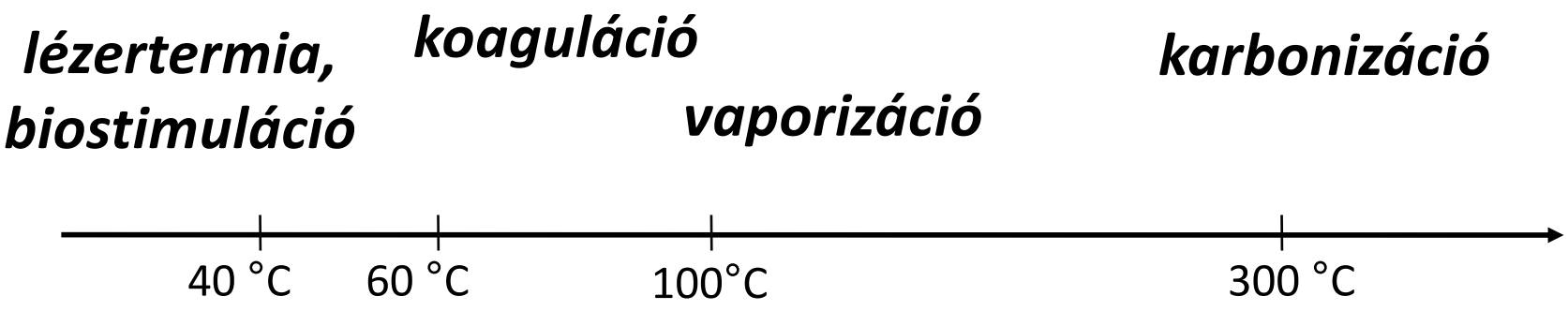
**Fotokémiai reakció**

**Atomizáció**

**Ionizáció**

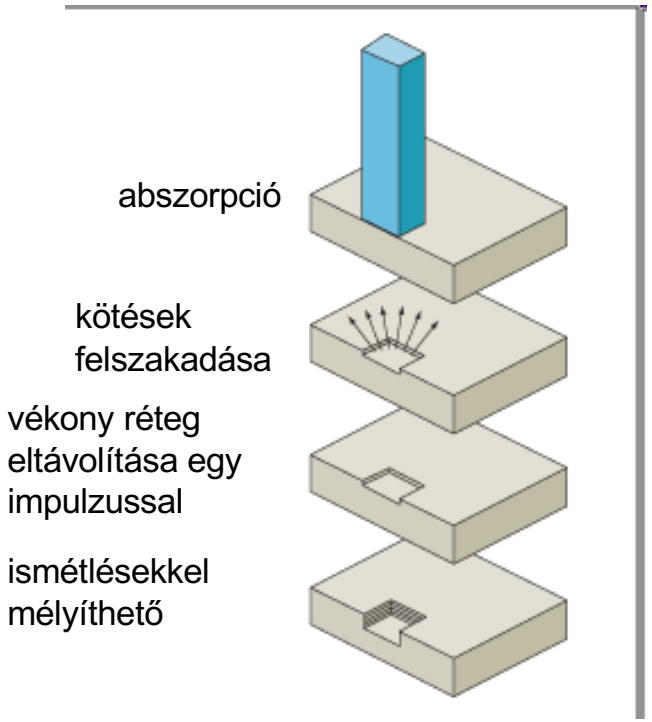
**Hőhatás**
Koaguláció
Vaporizáció
Karbonizáció

# Termikus hatások




## Fotoabláció (eltávolítás) – atomizáció/vaporizáció

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



# Fotodiszrupció

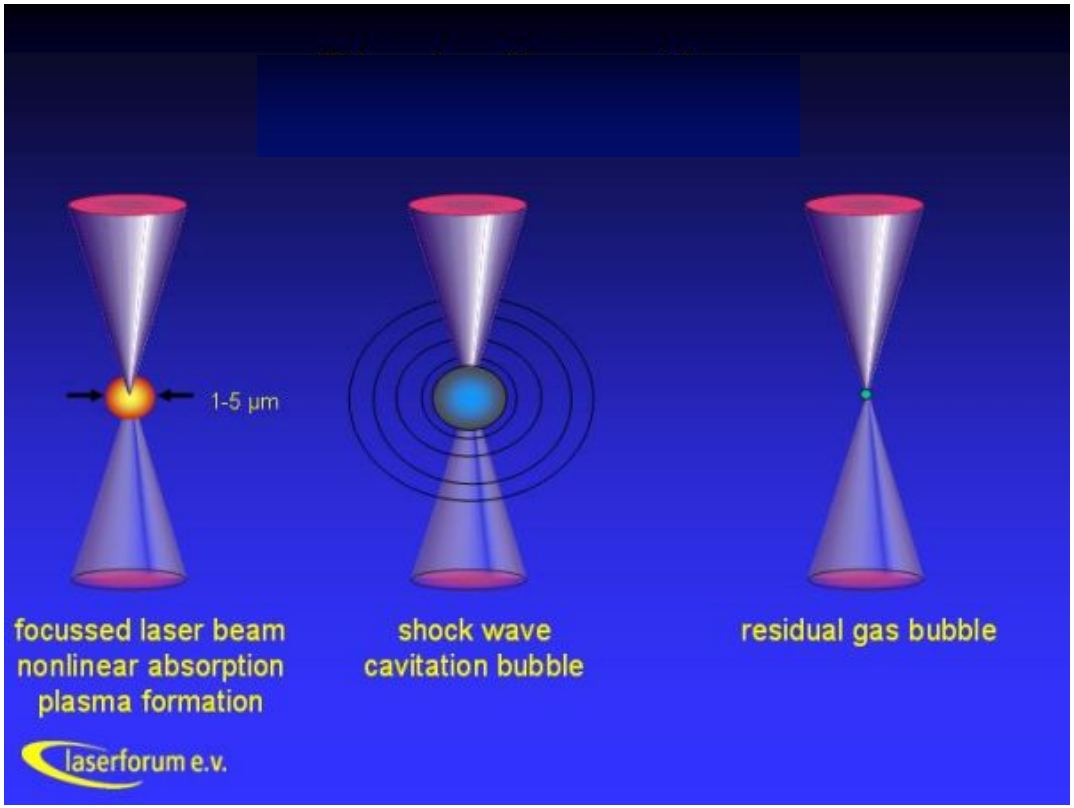
Lágy szövetekben v. testfolyadékokban nagy intenzitású, ns-os impulzusok hatására

Lökéshullám roncsolja a szöveteket

Kavitáció

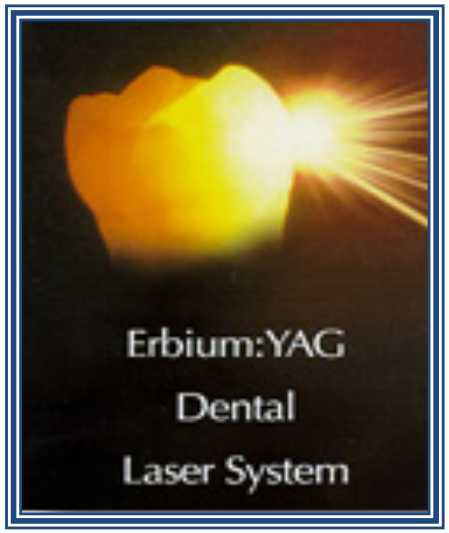
Vízgőz és $CO_2$ tölti ki az üreget

A lökéshullám következtében ez szétáramlik a környező szövetekbe



Er:YAG lézer

2940 nm




Maximális elnyelődés a vízben és a hidroxiapatitban

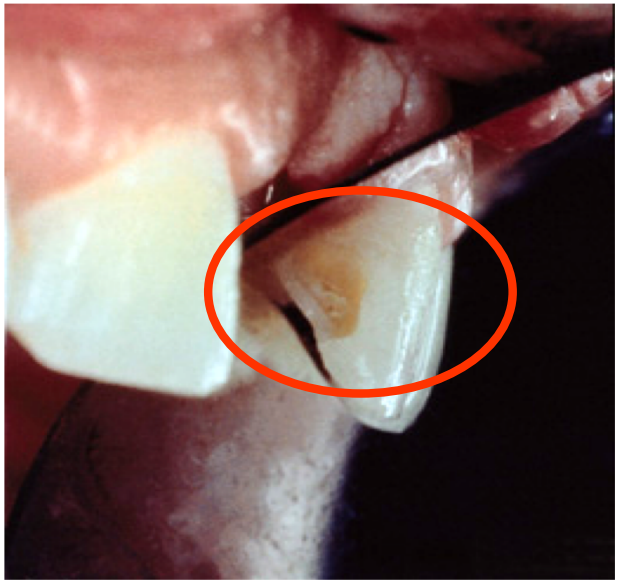
↓

Vaporizáció és mechanikai hullám

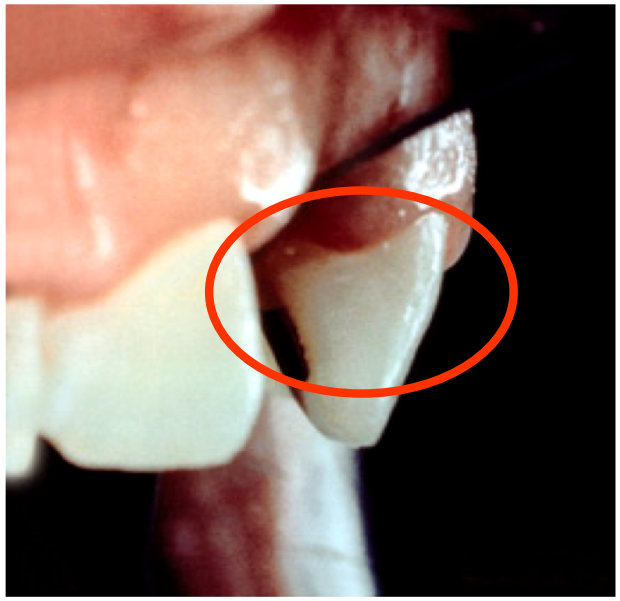
↓

caries eltávolítása
kemény szövetek módosítása
lágy szövetek módosítása

caries eltávolítása



caries eltávolítása

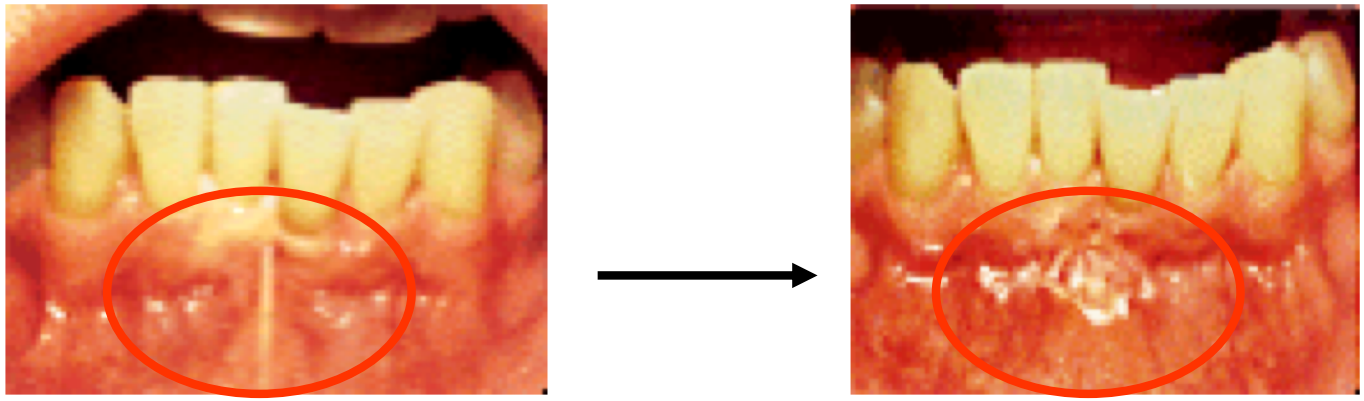


Argon lézer

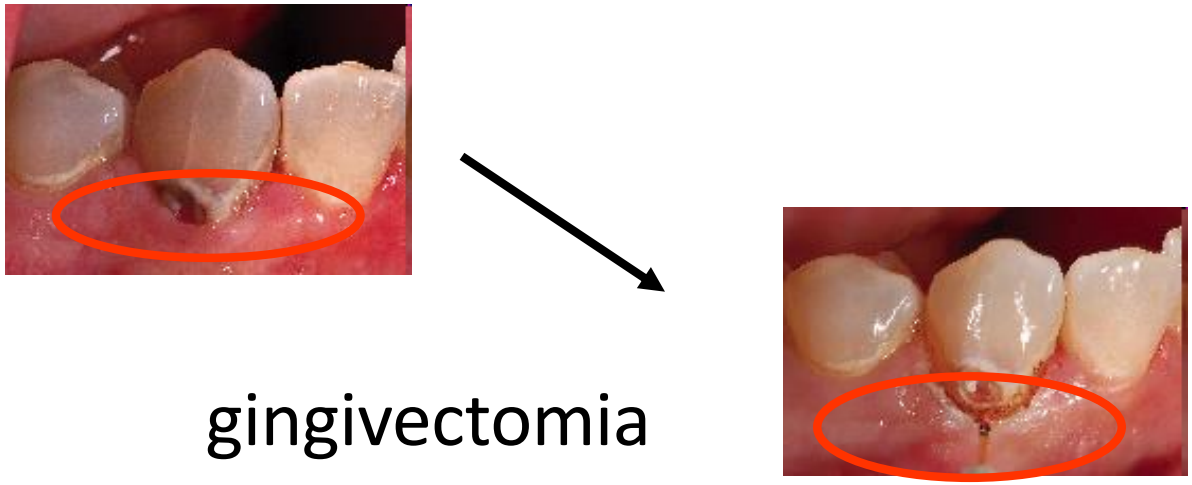
fogfehérítés

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

Nd: YAP* lézer



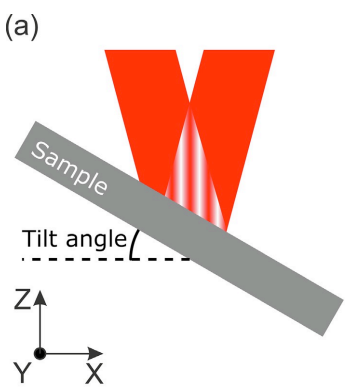
frenectomia

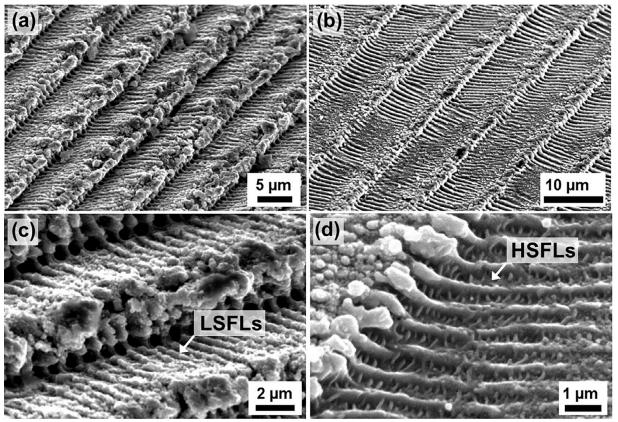


gingivectomia

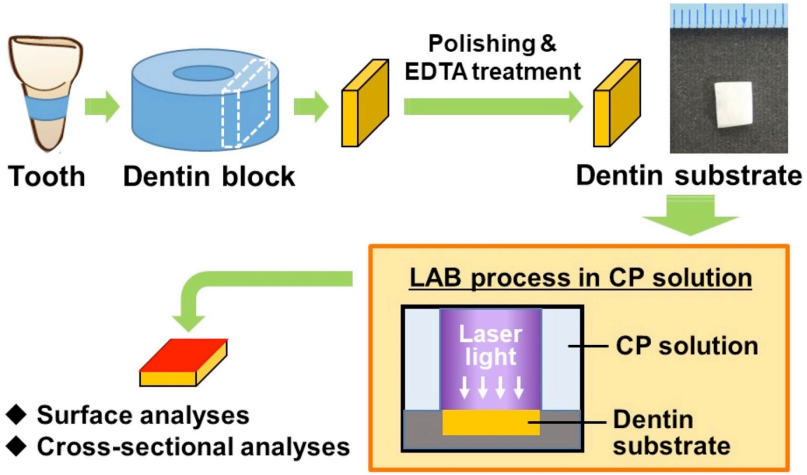
*$YAlO_3$:Nd

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

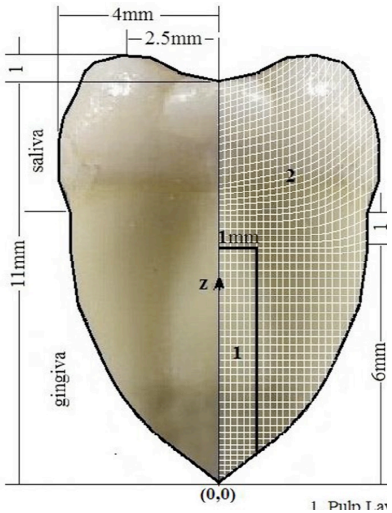


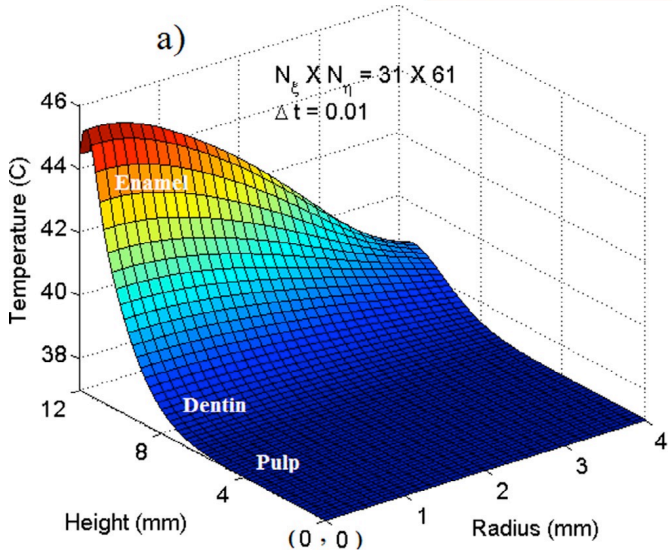




Laser-assisted biomineralization on human dentin for tooth surface functionalization (Materials Science & Engineering C 105 (2019) 110061)




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)




Heat flux of pulsed laser at top surface: 8times 8 s

Er:YAG lézer

2940 nm

vagy

$CO_2$ lézer

10600 nm

„*resurfacing*” – ablációs technika

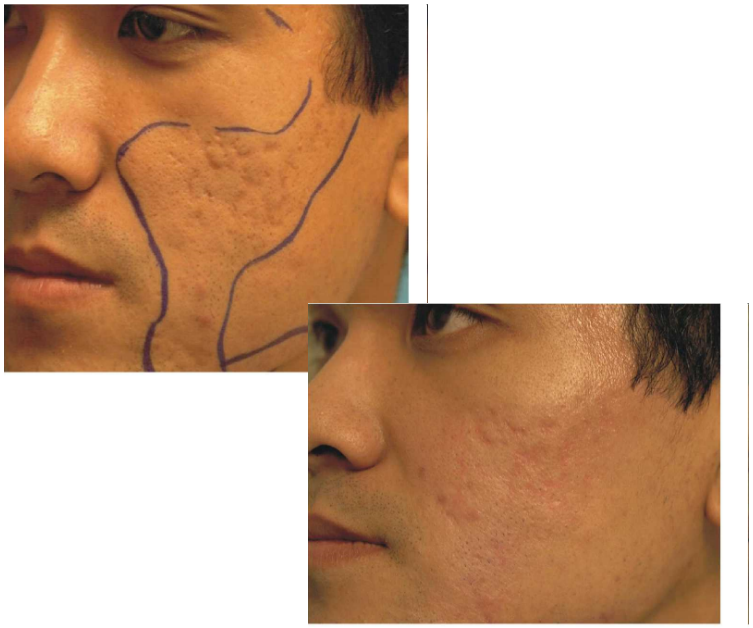
az epidermisz megújítására

Ráncok,

sérülések,

aknék stb.

kezelésére



Nd:YAG lézer

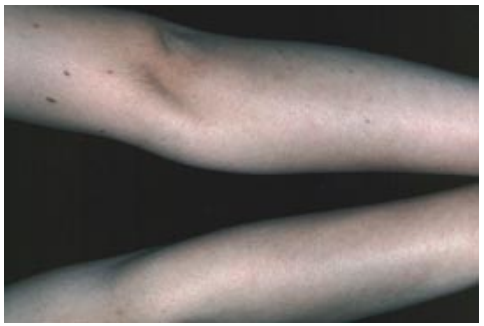
1064 nm

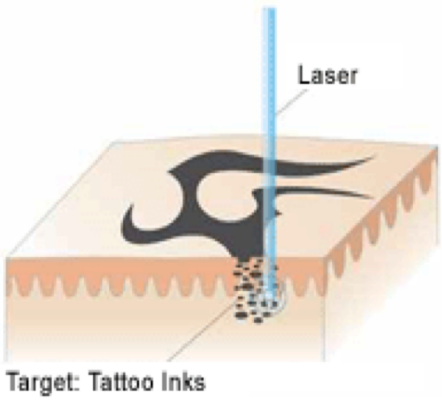
# Felszíni erek fotokoaguláción alapuló korrekciója

# Vénák fotokoaguláción alapuló korrekciója

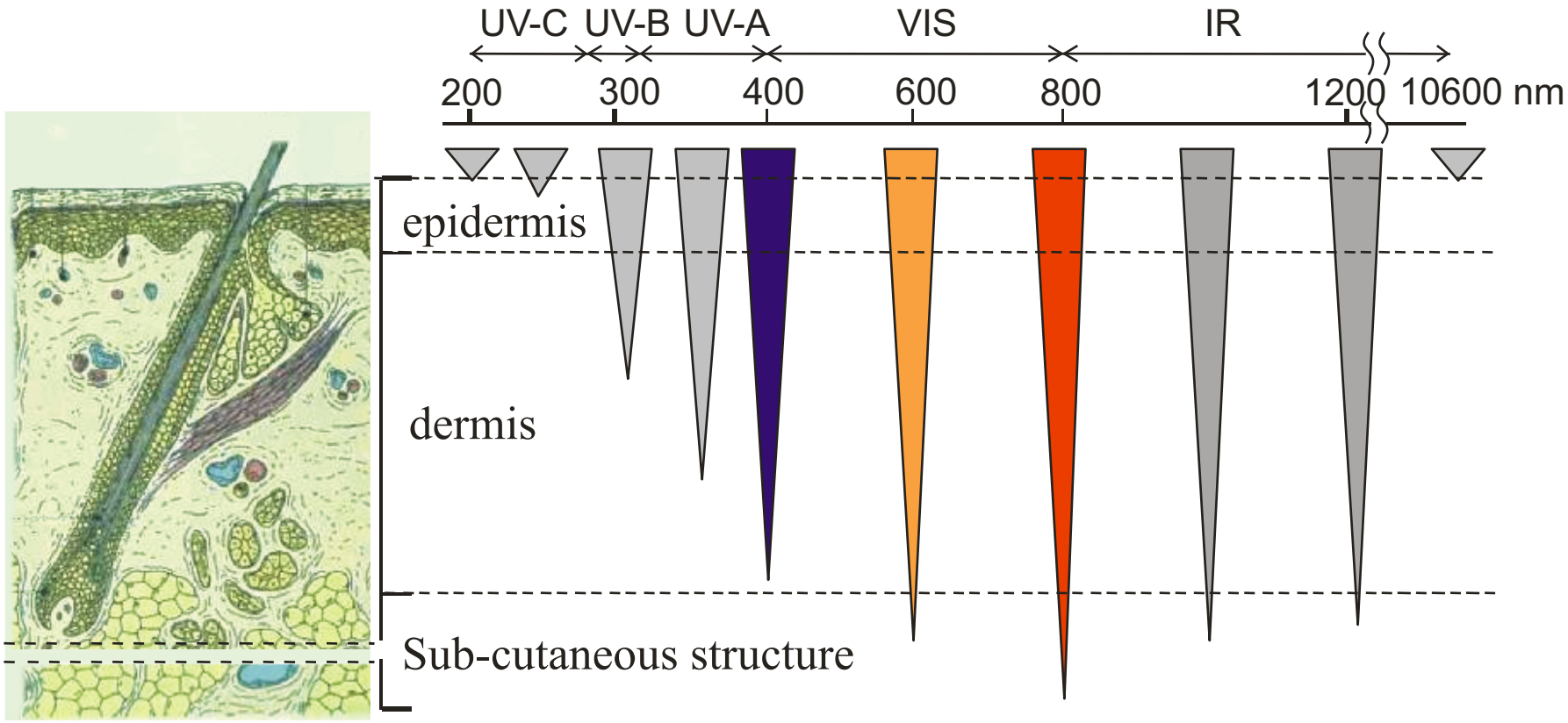
# Esztétikai megoldások

before after





# Fény behatolási mélysége a bőrbe

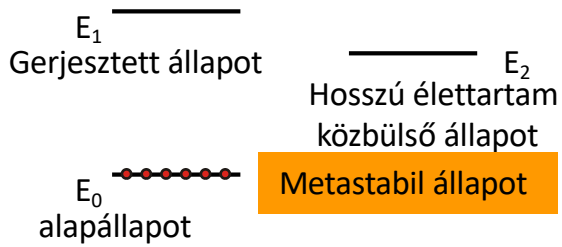



A fény intenzitás gyengülése elnyelődés, fénytörés és visszaverődéssel egyaránt megvalósul.

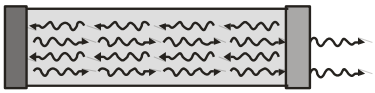
Az, hogy a fény milyen mélyen képes behatolni a szövetbe, hullámhossz függő!!!

# Ellenőrző kérdések a felkészüléshez

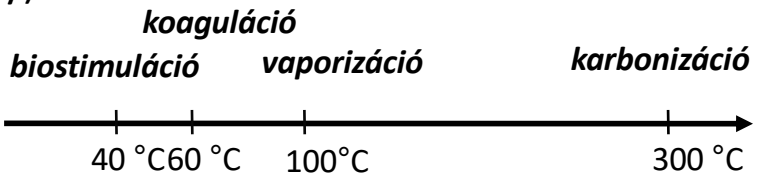
- Lézerfény előállításának feltételei
  - Speciális energia állapot (3 energia szint)
  - Populáció inverzió (pumpálás)
  - Indukált emisszió

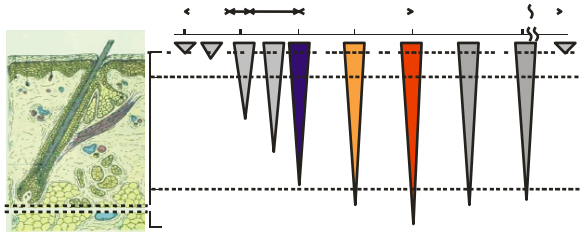


- Optikai rezonátor



- 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