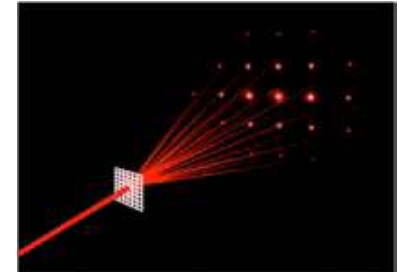


# Elektromágneses sugárzások kölcsönhatása szövetekkel és szöveti komponensekkel I. Lumineszcencia, lézerek és orvosi alkalmazások

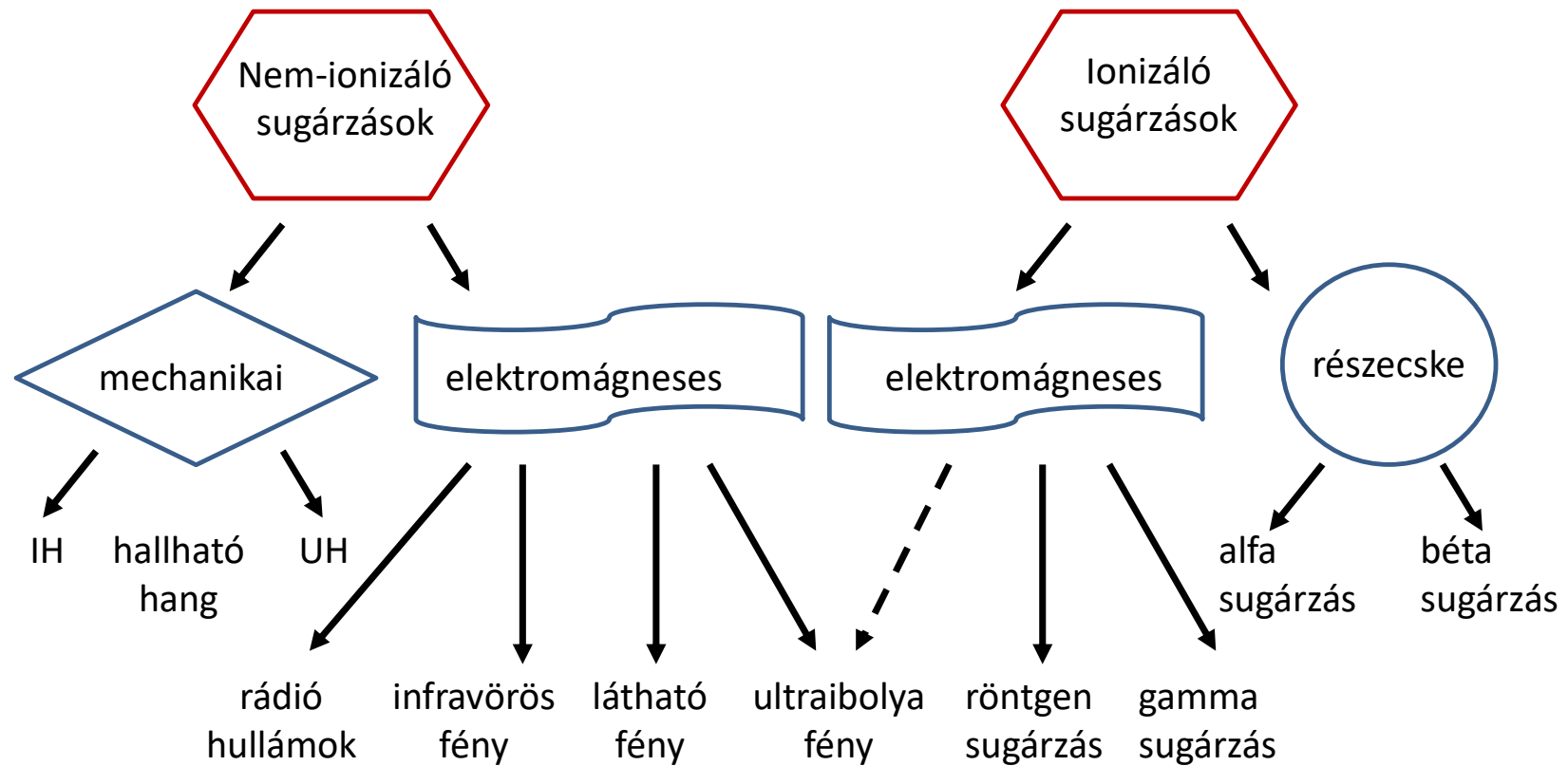


Jedlovsky-Hajdú Angéla  
2025.02.19.



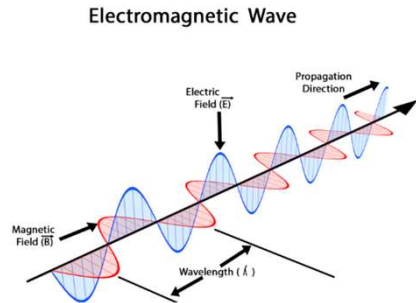
Biofizikai és Sugárbiológiai Intézet,  
Nanokémiai Kutatócsoport

# Sugárzások



# A fény természete

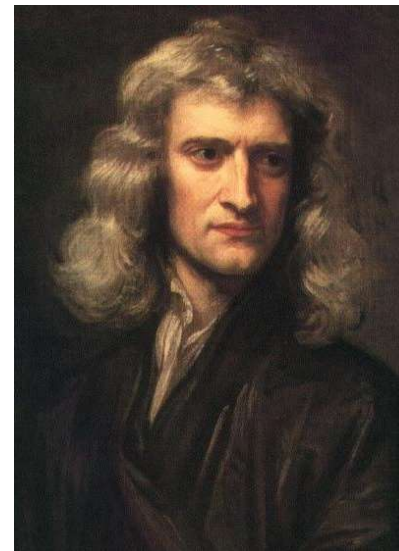
Hullám?



Christiaan Huygens  
(1629 - 1695)

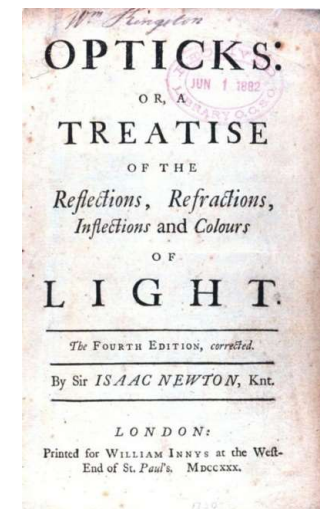
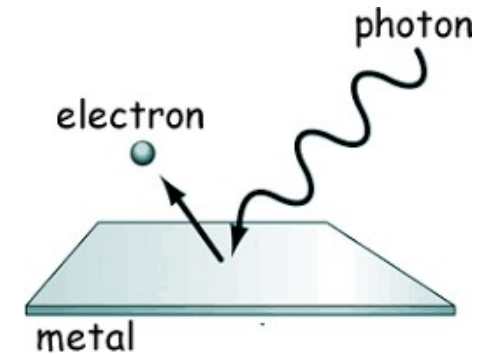
*Traité de la lumière*  
1690

Részecske?



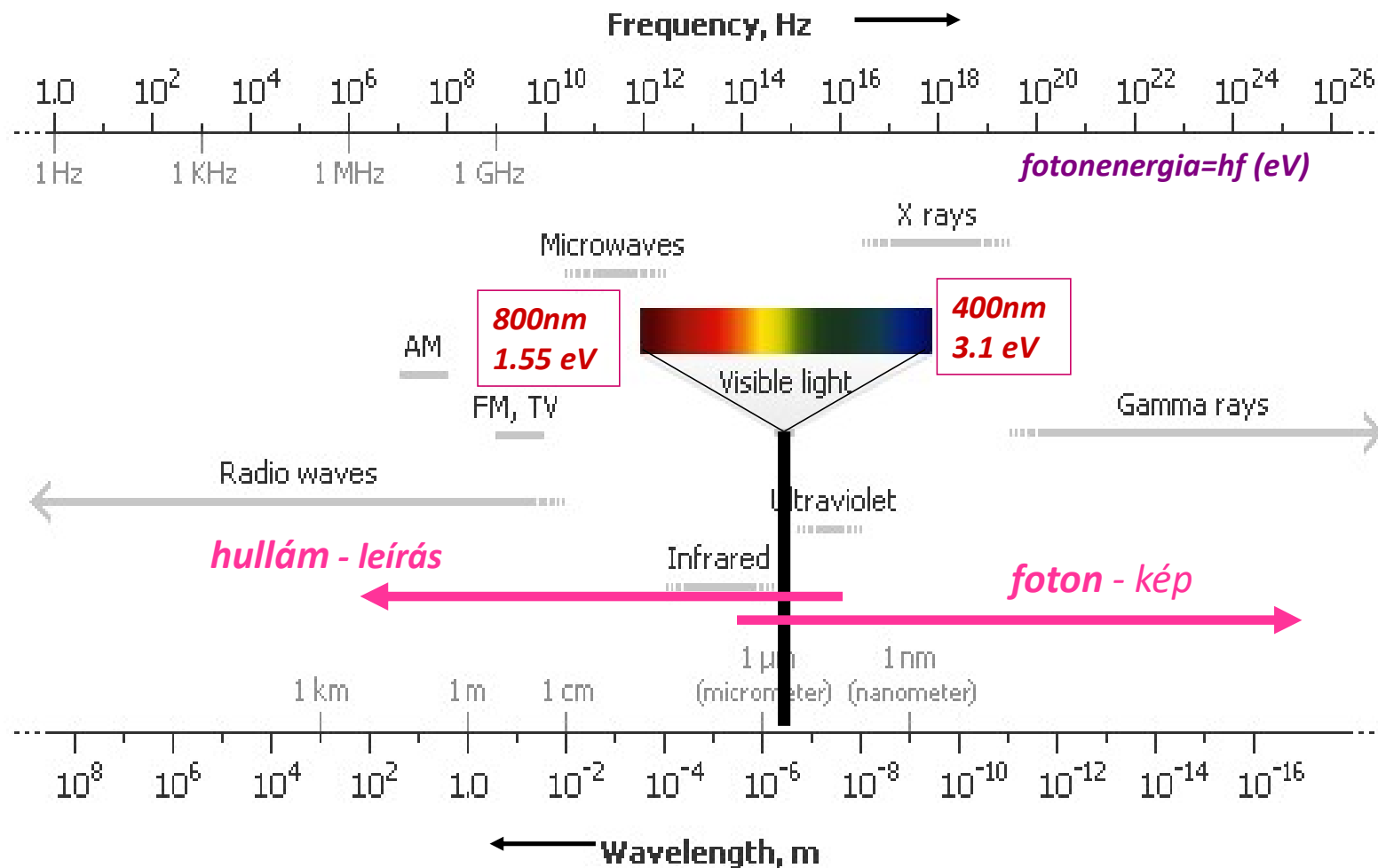
Isaac Newton  
(1642 - 1727)

*Opticks*  
1704



# Elektromágneses sugárzások – kettős természet

Logaritmikus skála

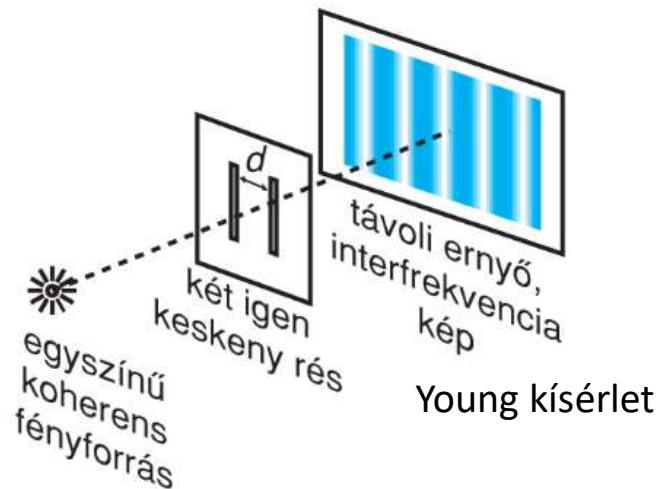


Rezgés v. oszcilláció következtében kialakuló, térben és időben periódikus jelenség, amelyben energia terjed.

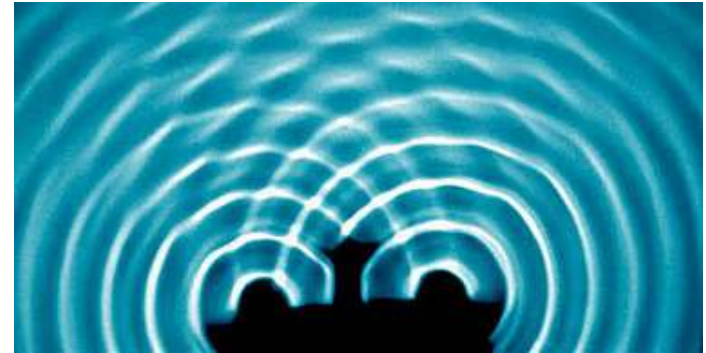
Hullámtermészetet bizonyító jelenségek:

- elhajlás
- szuperpozíció/interferencia
- polarizáció

### Elhajlás:

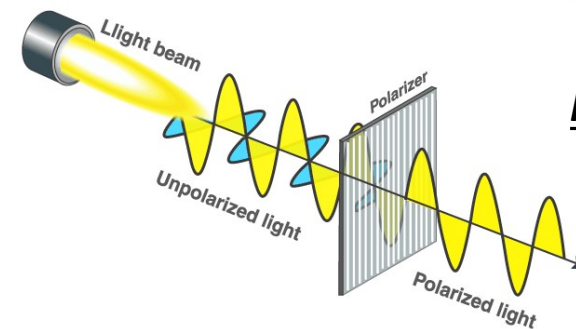


**Huygens-elv:** egy hullámfelület minden pontjából elemi hullámok indulnak ki. Az új hullámfelület ezen hullámok burkolófelülete.



**Interferencia** - koherens hullámok szuperpozíciója

**Szuperpozíció:** az eredő kitérés a találkozó hullámok kitéréseinek összege, azaz a tér egyes pontjaiban a jelenlevő rezgések összeadódnak



BYJU'S  
The Learning App

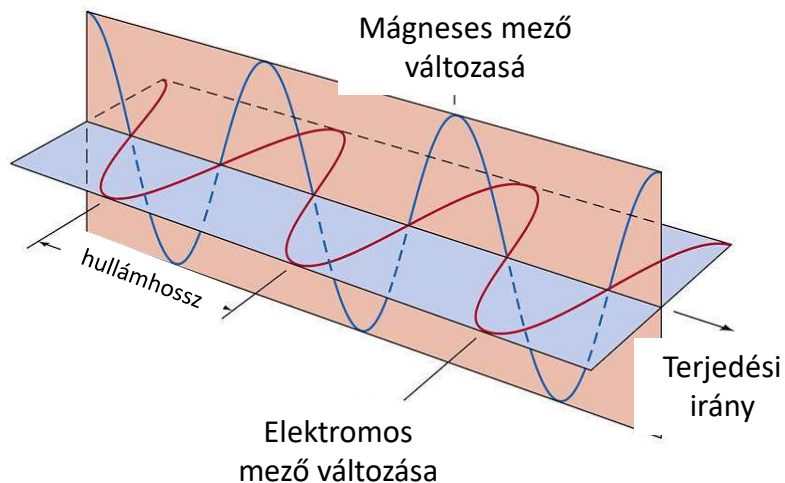
### **Polarizáció**

© Byjus.com

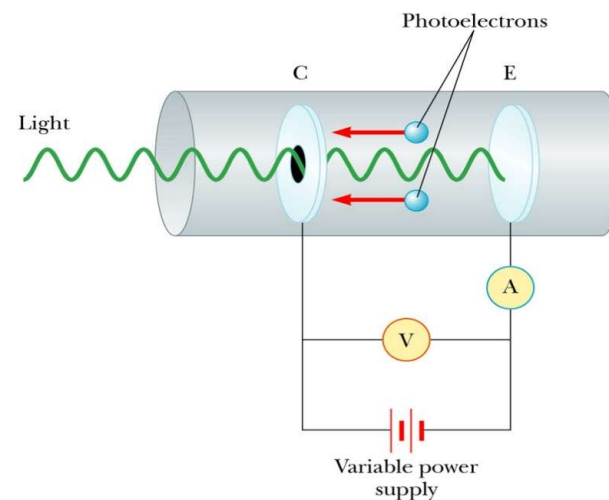
# A fény kettős természetű

Hullám – transzverzálisan, szinuszosan változó elektromos és mágneses tér

## Elektromágneses sugárzás



Wilhelm Hallwachs fizikusnak tulajdonítható az a felfedezés (1888), hogy ultraibolya sugárzás hatására negatív elektromos töltéshordozók távoznak a megvilágított fém felületéről. Ezt nevezzük fénylektromos jelenségnek (fotoelektromos hatás). Később Philipp Lenard fizikus tanulmányozta alaposabban a jelenséget (1902)



Áram folyik

## Fotoelektromos effektus

**Nincs elektronkilépés, amíg a frekvencia nem halad meg egy kritikus értéket!**

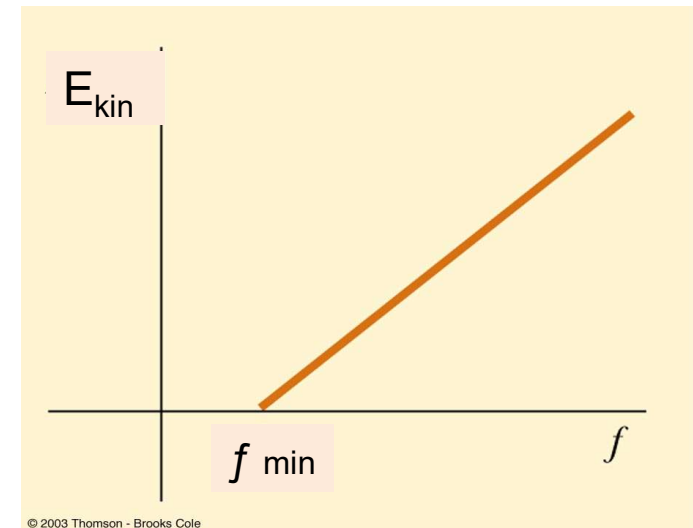
## A jelenség értelmezése a hullámtermészettel nem lehetséges

Planck – a kvantumfizika kezdetei - hullámoknak az energiája csak diszkrét értékeket vehet fel

### Einstein – magyarázata a kvantumelmélet alapján:

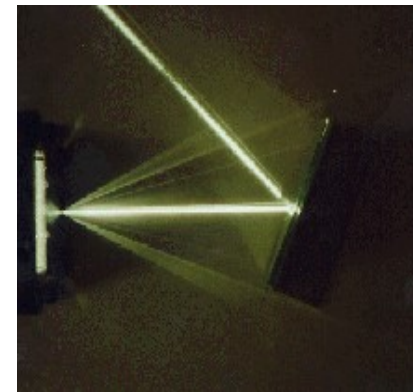
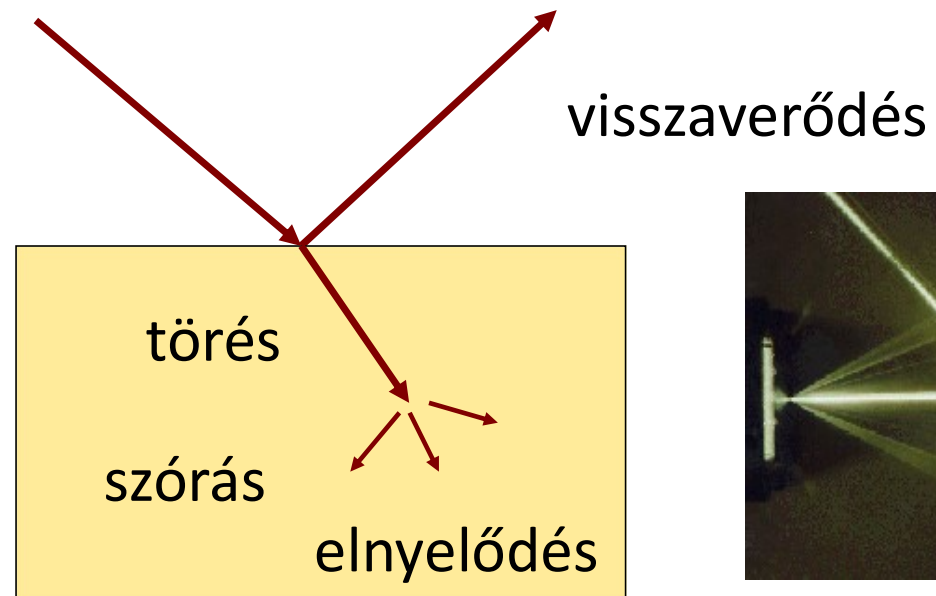
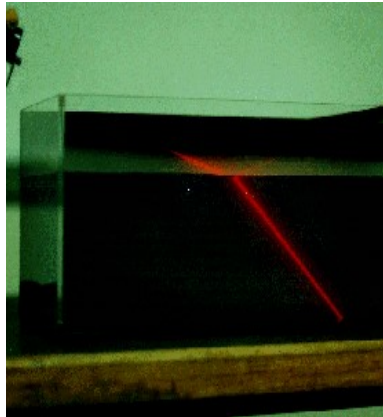
- A fény kvantált természetű, energia csomagokban terjed
- A foton energiája:  $E = hf$
- A foton az elektronnal való ütközéskor annak átadja teljes energiáját, ha ez az energia *legalább akkora*, mint az elektron kilépési munkája (A).
- Ha az energia kisebb, mint a kilépési munka (v. ionizációs energia), nincs kölcsönhatás
- 1 foton – 1 elektron kölcsönhatás
- A kilepő elektron mozgási energiája:

$$E_{kin} = hf - A$$



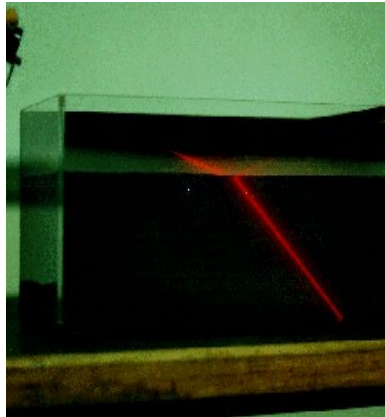


# A fény kölcsönhatása az anyaggal

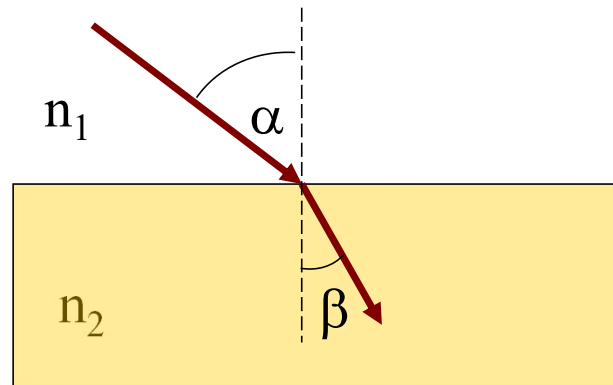




# Fénytörés



Fermat-elv a legrövidebb időről



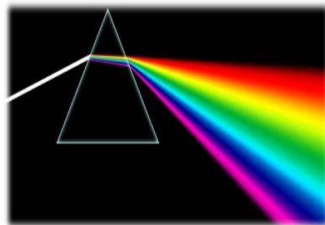
$$n_1 < n_2$$

$$\alpha > \beta$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$

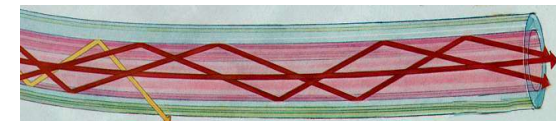
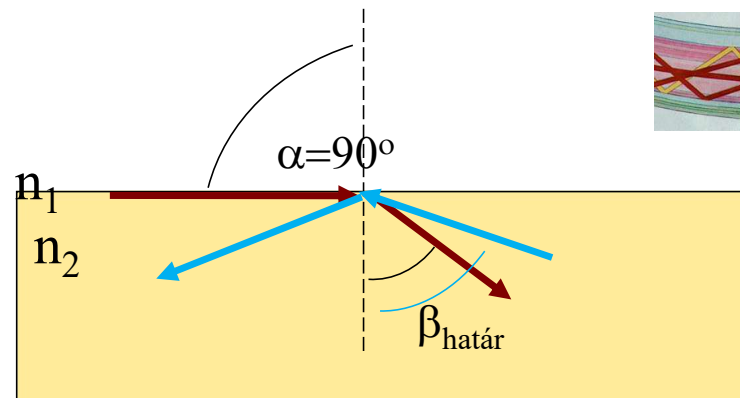
## Snellius –Descartes törvény

Fehér fény felbontása



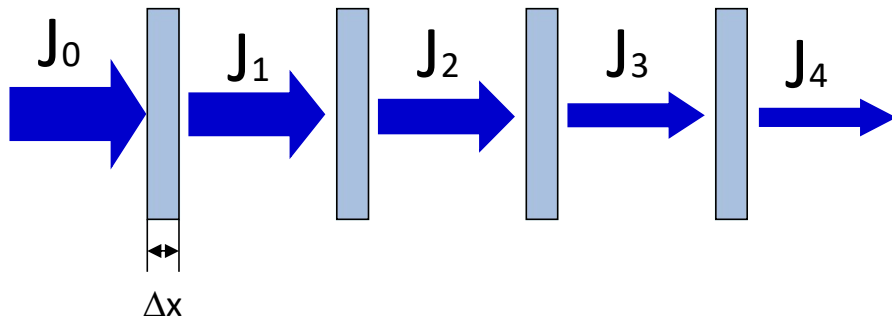
Határszög – **teljes visszaverődés**

$$\beta > \beta_{\text{határ}}$$



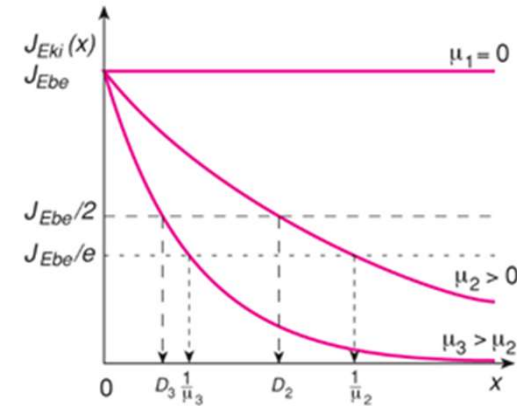
Optikai szál

# Az intenzitás gyengülésének törvénye



$$\frac{\Delta J}{\Delta x} = -\mu \times J$$

megoldása



A közegen áthaladó sugárzás intenzitása a rétegvastagság exponenciális függvénye

$$J = J_0 e^{-\mu x}$$

**Integrált alak**

A gyengítési állandó (lineáris gyengítési együttható) függ:

- a foton energiájától
- az abszorbens anyagi minőségétől
- az abszorbens sűrűségétől

$J_0$ : a rétegbe belépő intenzitás [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]  
 $J$ : intenzitás  $x$  [m] rétegvastagság után  
 $\mu$ : gyengítési állandó [ $1/\text{m}$ ]

# A fényabszorpció gyakorlati alkalmazása

$$J = J_0 \cdot e^{-\mu x}$$

$$\lg \frac{J_0}{J} = \mu \cdot x \cdot \lg e$$

Híg oldatok esetén:  
 $\mu \sim$  koncentráció

$$\mu \lg e = \varepsilon_{(\lambda)} c$$

$$\lg \frac{J_0}{J} = \varepsilon_{(\lambda)} \cdot c \cdot x$$

**Lambert – Beer törvény**

Abszorbanca

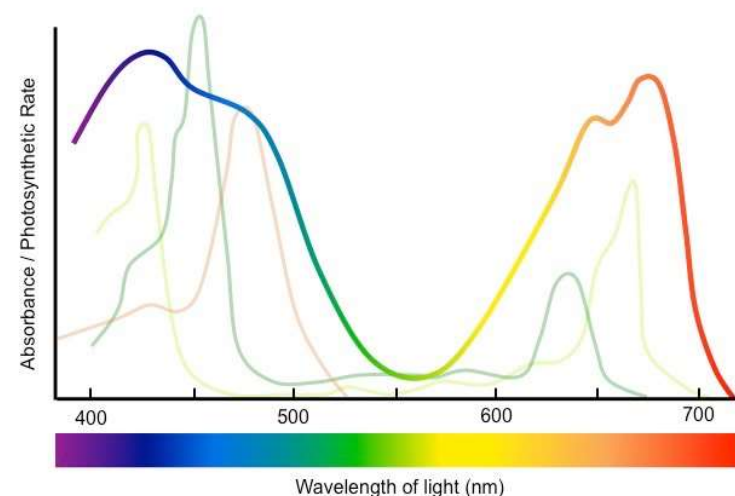
v.

Optikai denzitás

dekadikus

molaris extinkciós állandó  
[l mol<sup>-1</sup>cm<sup>-1</sup>]

koncentráció



**Diagnosztikában kiemelt  
jelentőség!!!**

**Pl.: Élő szervezetből  
származó folyadék minták  
koncentráció  
meghatározása**

# Szóródás

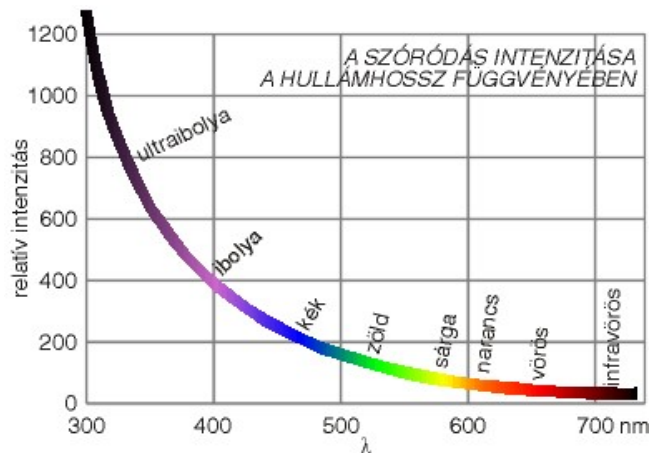
Spektrális szóródási tényező

$$\sigma(\lambda) = \frac{J_{szórt}}{J_{beeső}}$$

Rugalmas szóródás:  $\lambda$ ,  $f$ ,  $\varepsilon$  változatlan

Rayleigh-szóródás

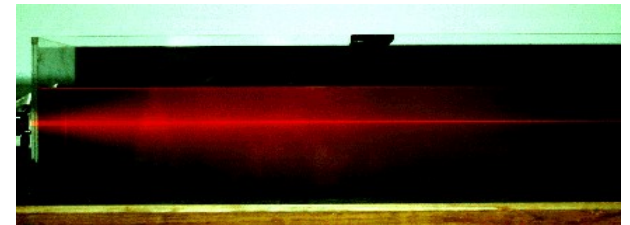
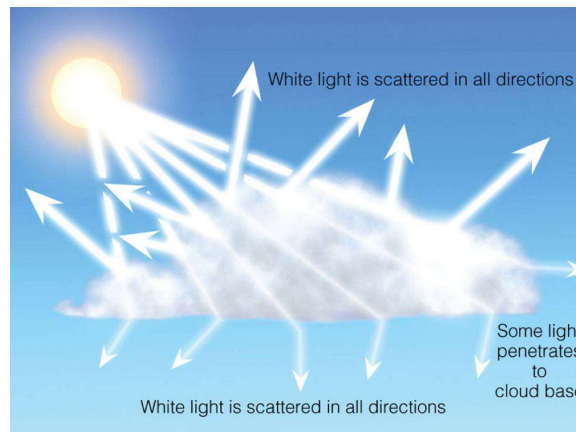
$$d \ll \lambda$$



$$\sigma(\lambda) \sim \frac{d^6}{\lambda^4}$$

$$d \geq \lambda$$

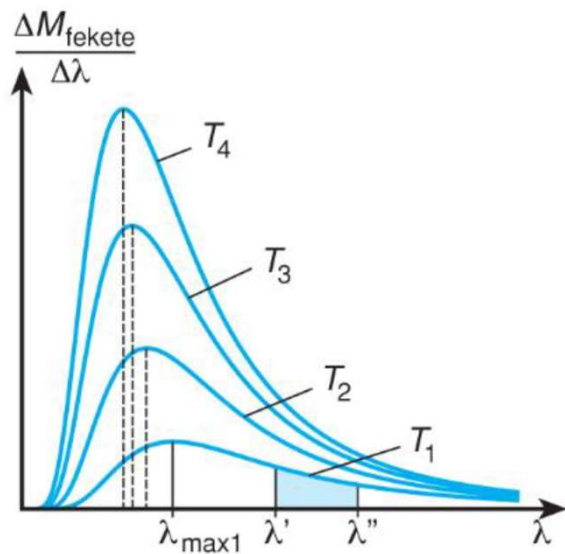
Mie-szóródás  
 $\sigma$  független  $\lambda$



**Diagnosztika!!**  
(sejtszámlálás,  
azonosítás-áramlási  
citometria -  
**GYAKORLAT,**  
nanorészecskék  
karakterizálása)

## Fényemisszió formái (fény keletkezése)

- Hőmérsékleti (feketetest) sugárzás → múlt heti előadásban
- Lumineszcencia
- Lézer fény létrehozása



# Hőmérsékleti feketetest sugárzás

Környezetének hőfokától függetlenül **minden test** az abszolút nulla foktól különböző **hőmérsékleten** elektromágneses sugárzást bocsát ki.

**Abszolút fekete test:** minden rá eső energiát elnyel  $\alpha = 1$

$$\alpha = \frac{J_{\text{absz}}}{J_{\text{össz}}}$$

Test által elnyelt/  
Testet ért összes  
sugárzás intenzitása



**Kirchhoff megfigyelése:** ha egy test „erősebben” sugároz, akkor jobban el is nyel

**Az emberi test kb. 95%-os fekete testnek tekinthető.**

$$\frac{M_{\lambda i}}{M_{\lambda j}} = \frac{\alpha_{\lambda i}}{\alpha_{\lambda j}}$$

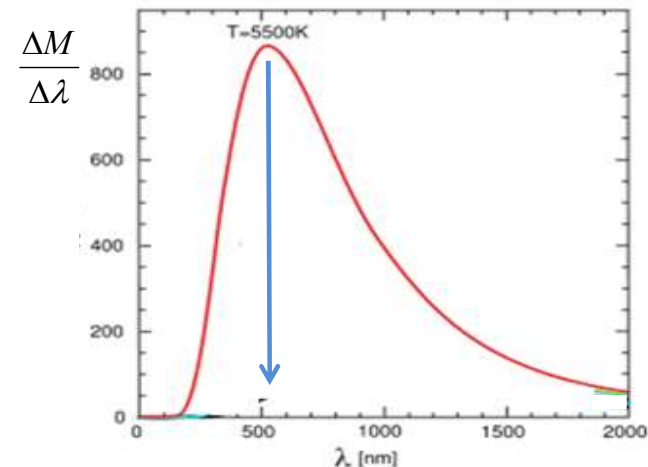
$M$ : kisugárzott felületi teljesítmény [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]

$$M_i < M_{\lambda(\text{fekete})}$$

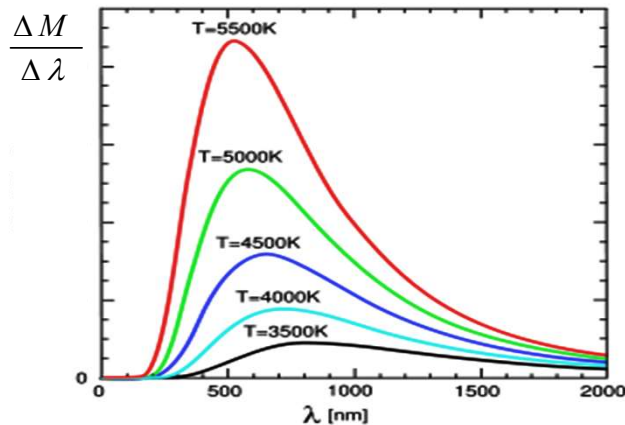
## A hőmérsékleti sugárzás emissziós spektruma

- a spektrum folytonos
- egy maximuma van :  $\lambda_{\text{max}}$
- a görbe alatti terület:  $M = \sigma T^4$

**Stefan –  
Boltzmann  
törvény**



# Hőmérsékleti feketetest sugárzás



$$T \times \lambda_{\max} = \text{állandó}$$

Wien-féle eltolódási törvény

Alkalmazások: Stefan Boltzmann törvény  
alapján intenzitásokat mérünk

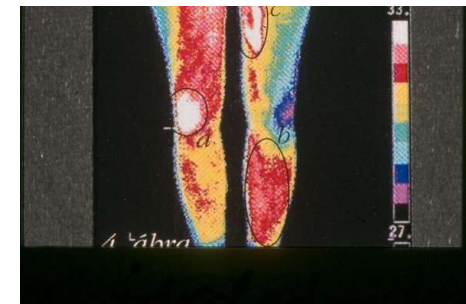
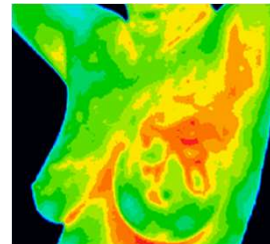
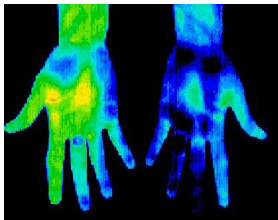
## Hőmérsékleti sugárzás detektálása teletermográfia - infradiagnosztika

A köpeny hő térképe – daganatok, gyulladások, érszűkületek diagnosztikája

Wien-féle eltolódás alapján az emberi test spektrumának maximuma

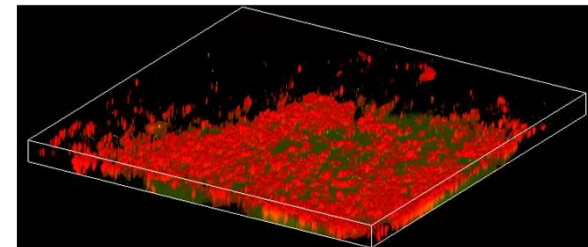
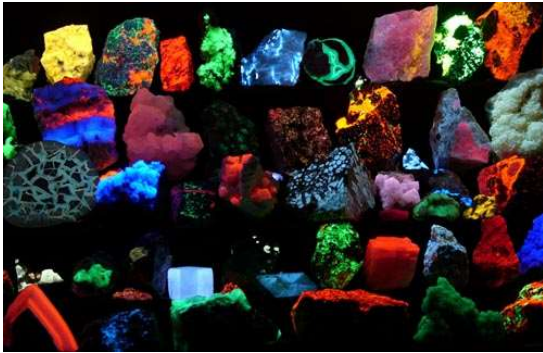
$$\lambda_{\text{peak}} = \frac{2.898 \times 10^6 \text{ K} \cdot \text{nm}}{305 \text{ K}} = 9500 \text{ nm}$$

Emberi hő térképek készítésében alkalmazott  
készülékek érzékenységi maximuma: **7-14**  
microméter





# Lumineszcencia



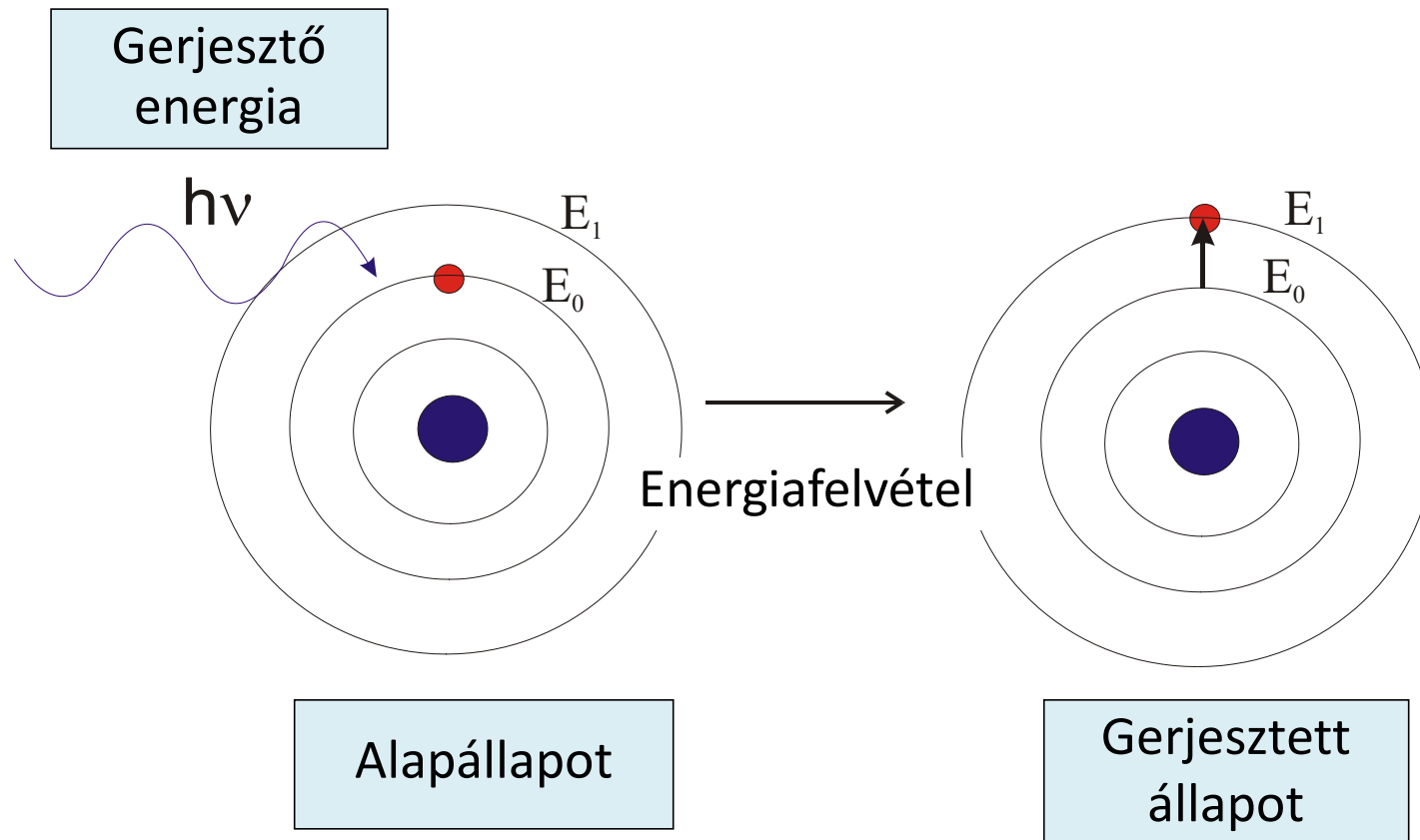
<https://www.youtube.com/watch?v=7RxnIriKLRk>

# Ismétlés

- Az atomban az elektronok energiaállapotai kvantáltak
- A lehetséges legalacsonyabb energiájú állapotot töltik be
- Pauli-féle tilalmi elv

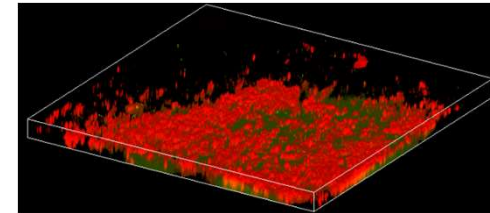
Egy atomon belül nem létezhet két olyan kötött elektron, amelynek mind a négy kvantumszáma megegyezik.

# Tekintsünk egy atomot

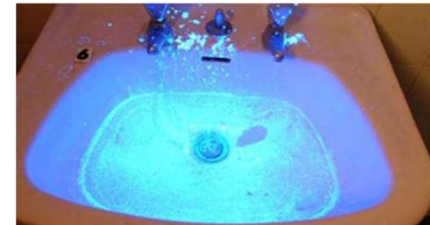


# Gerjesztés sokféleképpen lehetséges

-(fény) foton elnyelése: *fotolumineszcencia*



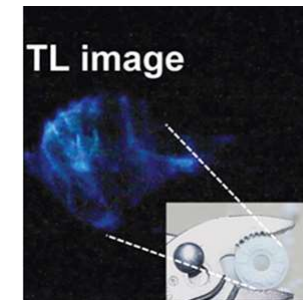
-kémiai reakció energiája: *kemo/bio-lumineszcencia*



-ütközés elektromos térrel gyorsított töltésekkel: *elektrolumineszcencia*

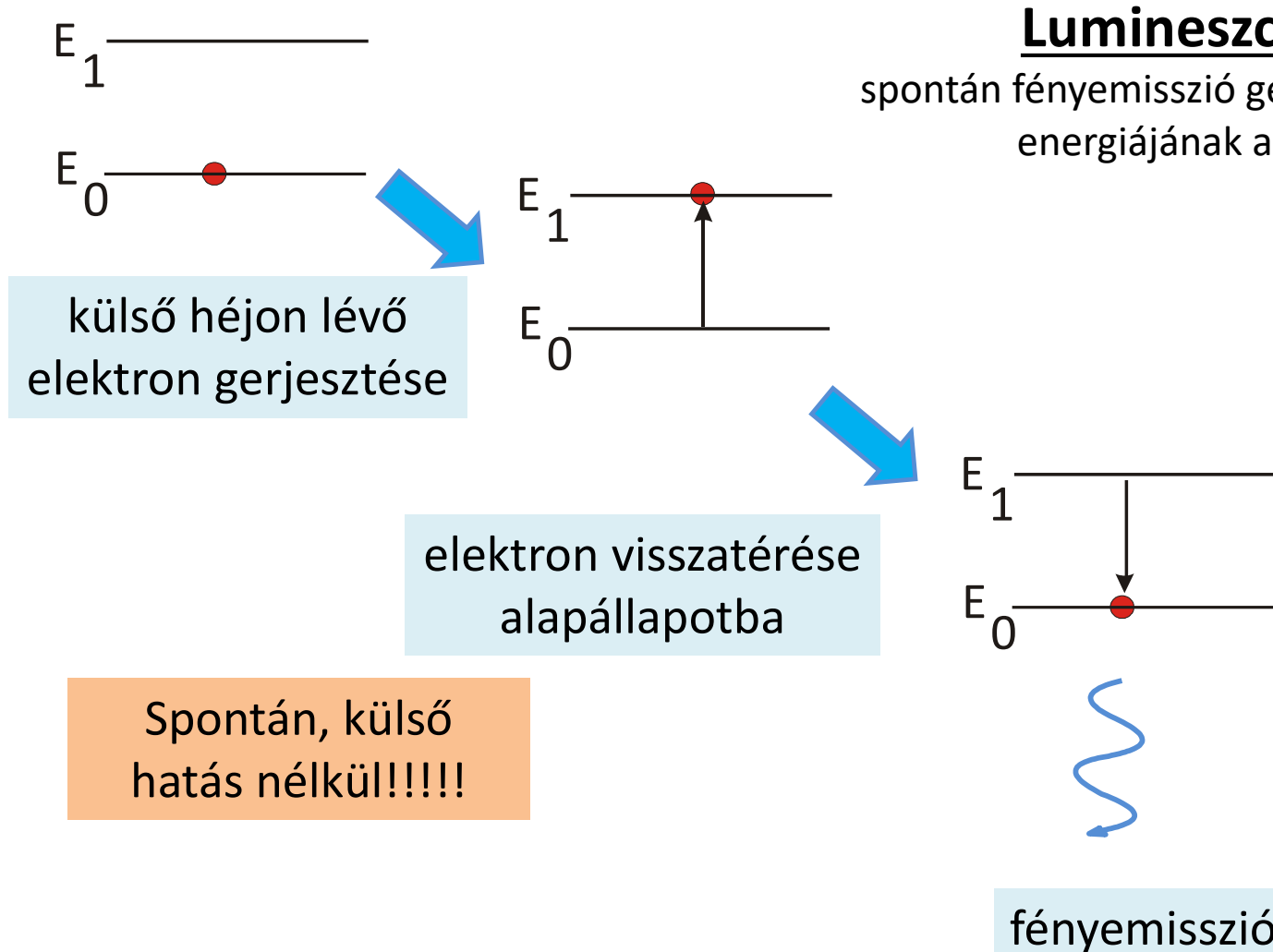


-mechanikai deformáció: *tribolumineszcencia*



-hőközlés: *termolumineszcencia*





## Lumineszcencia:

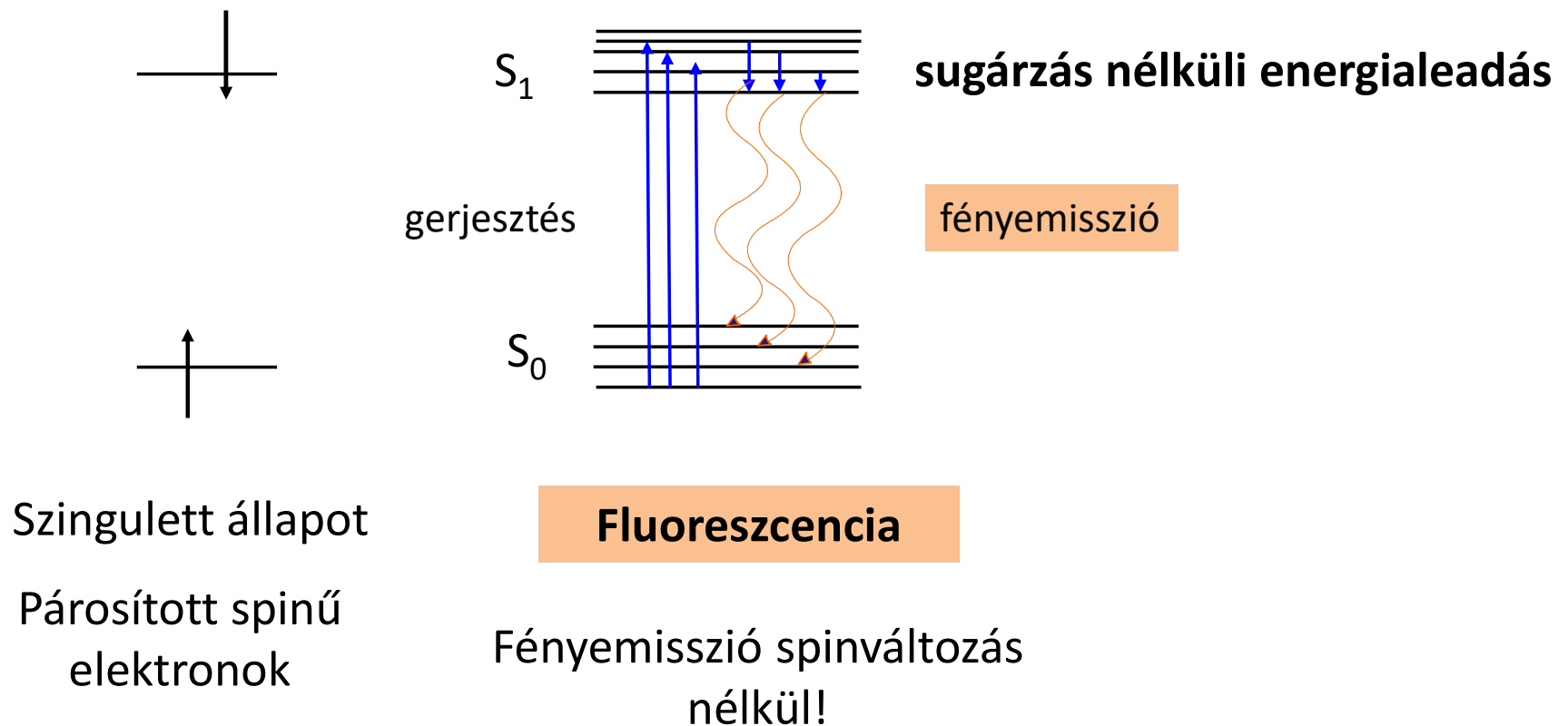
spontán fényemisszió gerjesztett elektron energiájának a rovására

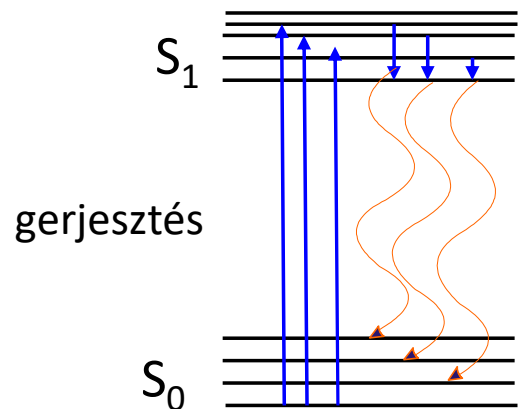
### Lépései:

- külső héjon lévő elektron gerjesztése
- elektron spontán visszatérése alapállapotba

$$hf = E_1 - E_0$$

Tekintsük az atomok sokaságát kölcsönhatásban egymással és a környezetükkel





## Kasha-szabály:

a fényemisszió a legalsó gerjesztett elektronállapot legalsó rezgési nívójáról történik



## Fluoreszcencia

Fényemisszió spinváltozás nélkül

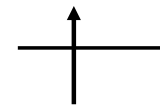
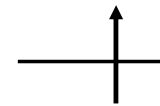
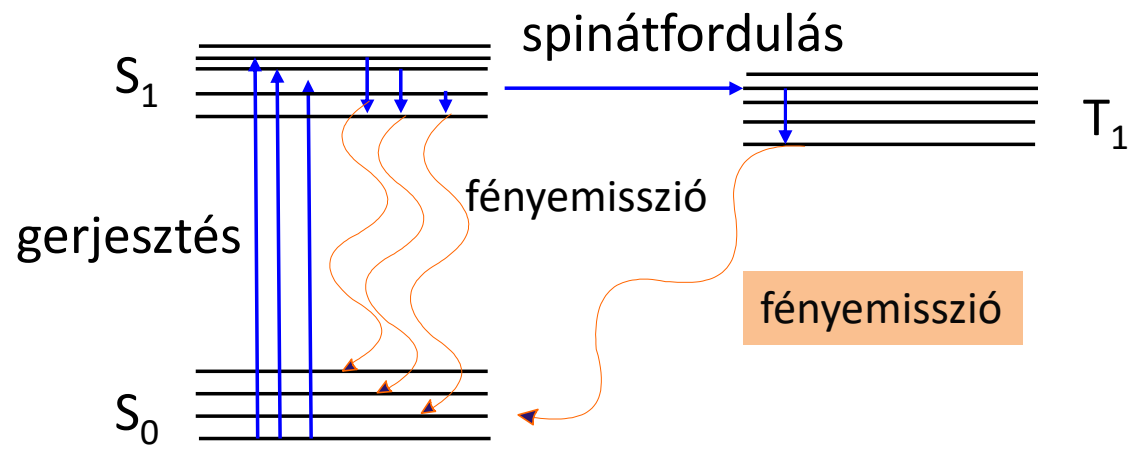
$$E_{\text{gerjesztés}} \geq E_{\text{fluoreszcencia}}$$

$$\lambda_{\text{gerjesztés}} \leq \lambda_{\text{fluoreszcencia}}$$

## Stokes-eltolódás







Triplett állapot

Párosítatlan  
spinű elektronok

**Metastabil állapot**

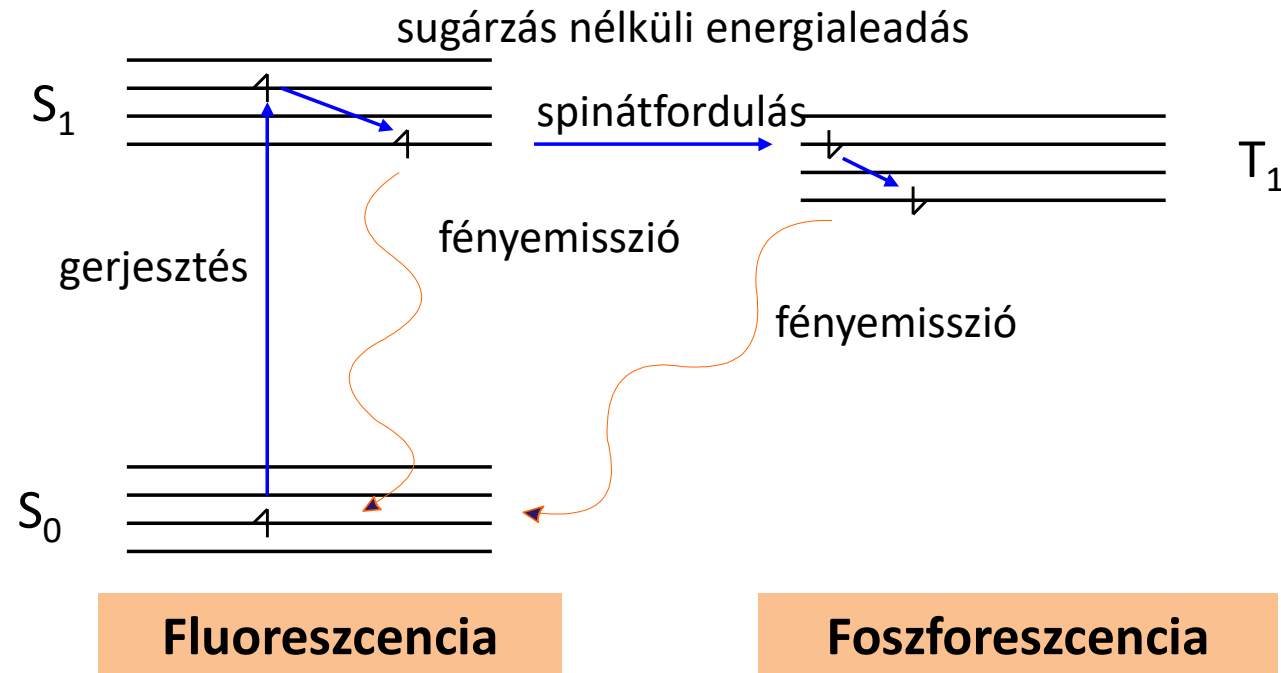
hosszú élettartamú, közbülső állapot

**Jablonski diagramm**

**Foszforeszcencia**

Fényemisszió spinváltozás  
után

## Emittált foton energiájának jellemzése



### Stokes-eltolódás

$$E_{\text{gerjesztés}} \geq E_{\text{fluoreszcencia}} > E_{\text{foszforeszcencia}}$$

$$\lambda_{\text{gerjesztés}} \leq \lambda_{\text{fluoreszcencia}} < \lambda_{\text{foszforeszcencia}}$$

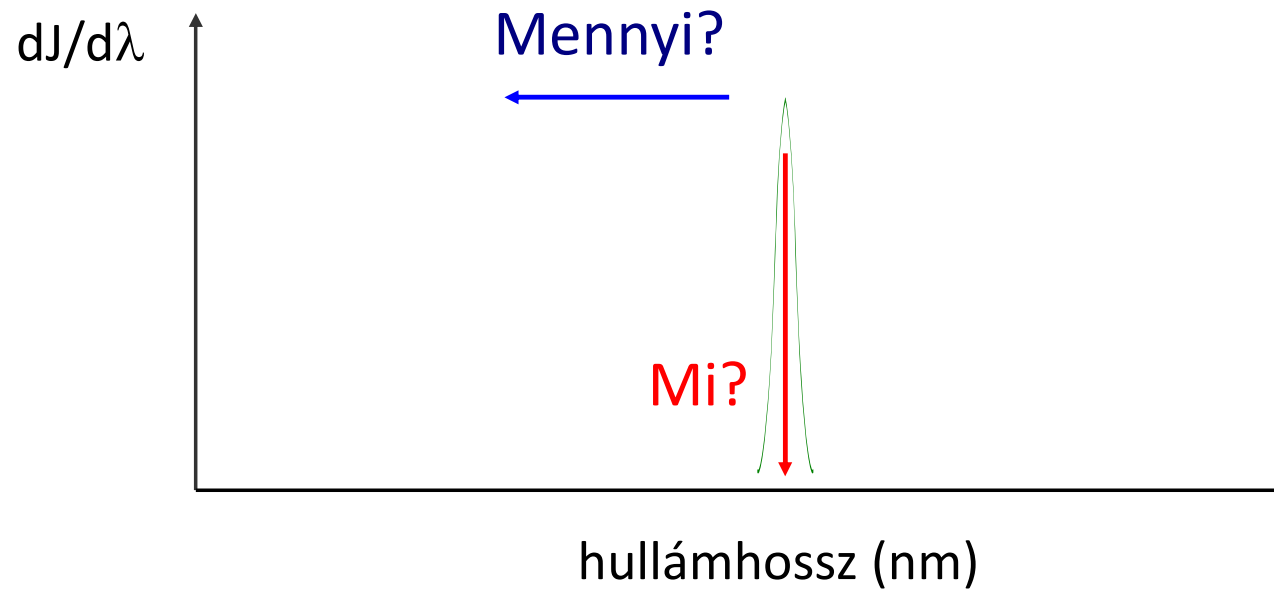
# Emisszió jellemzése

Emittált intenzitás hullámhossz szerinti eloszlása

Emissziós spektrum

Atomok esetében:

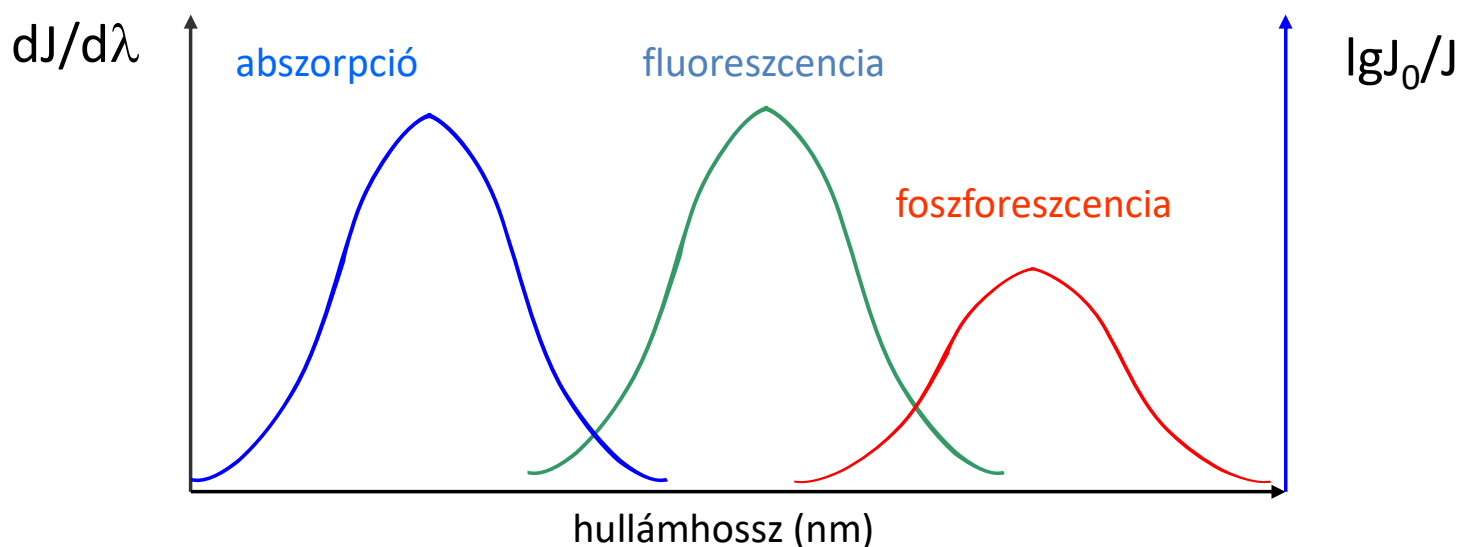
vonalas spektrum



# Emittált intenzitás hullámhossz szerinti eloszlása

## Emissziós spektrum

Molekulák esetében: sávos spektrum



$$\lambda_{\text{gerjesztés}} \leq \lambda_{\text{fluoreszcencia}} < \lambda_{\text{foszforeszcencia}}$$

**Stokes-eltolódás**

## Pl.: A triptofán megfelelő spektrumai

77 K

Fluoreszcencia  
gerjesztési spektrum

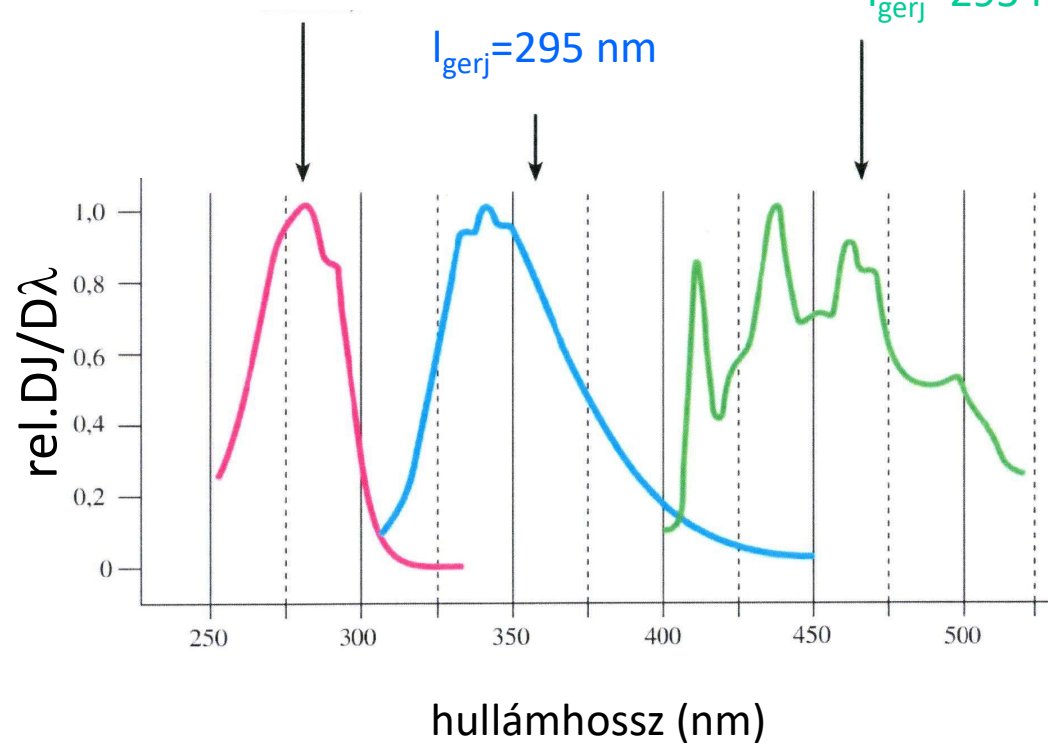
$\lambda_{em}=340\text{ nm}$

Fluoreszcencia  
emissziós spektrum

$\lambda_{gerj}=295\text{ nm}$

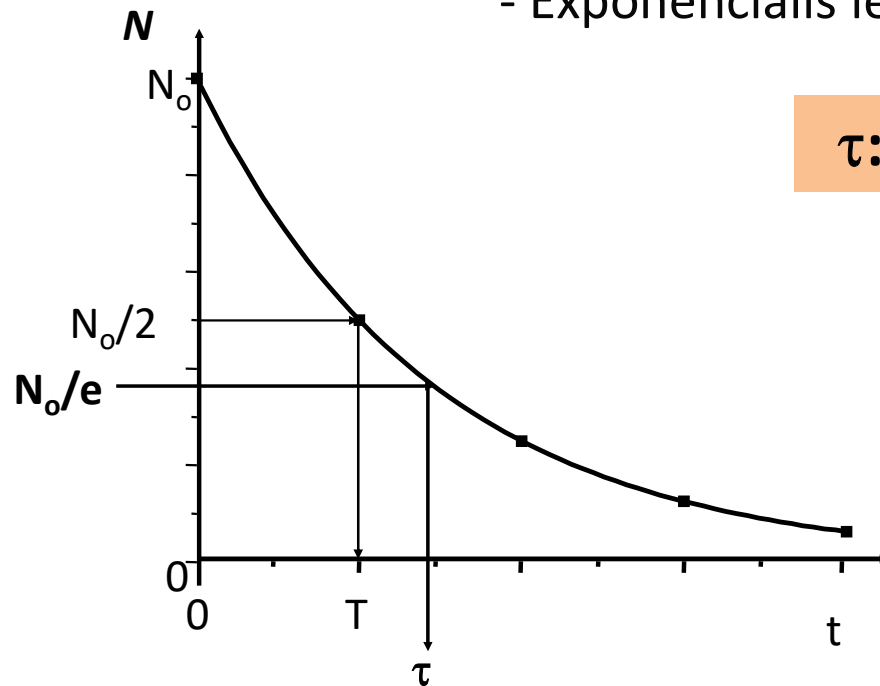
Foszforeszcencia  
emissziós spektrum

$\lambda_{gerj}=295\text{ nm}$



Gerjesztett elektronok száma  $\longrightarrow N = N_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$

- Exponenciális lecsengés



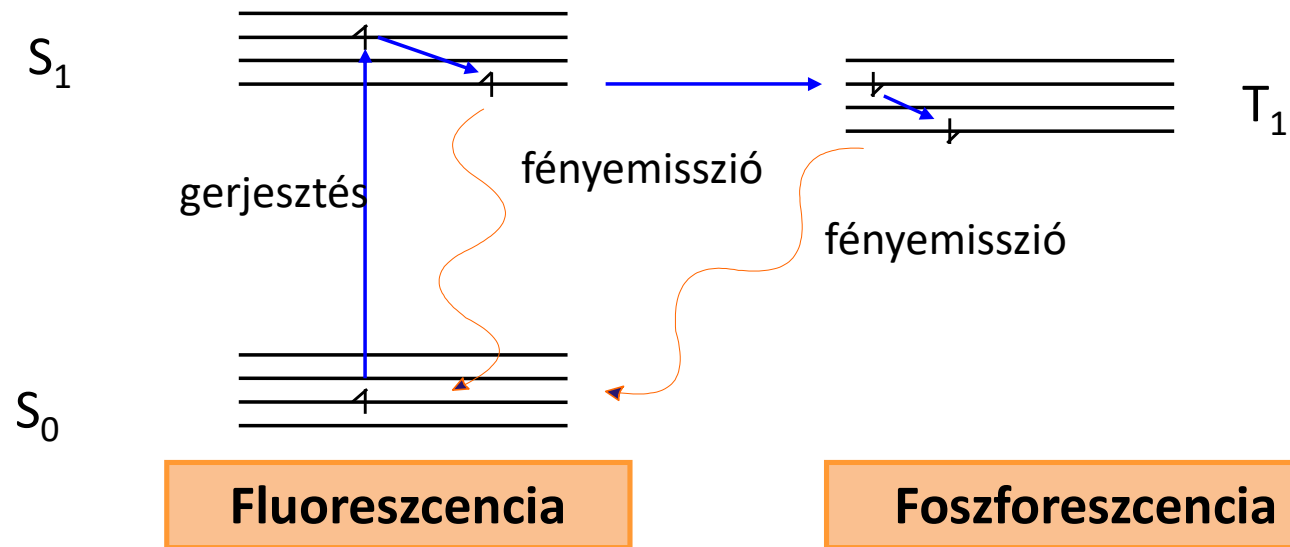
**$\tau$ : Élettartam**

az az idő, ami alatt a gerjesztett elektronok száma a gerjesztés megszűnése után  $e$ -ed részére csökken

# Gerjesztett állapot időtartamának jellemzése

## Élettartam

az az idő, ami alatt a gerjesztett elektronok száma a gerjesztés megszűnése után  $e$ -ed részére csökken



**Fluoreszcencia**

**Foszforeszcencia**

rövid

hosszú

$10^{-9} - 10^{-7} \text{ s}$

$10^{-3} - 10^2 \text{ s}$



## Minden gerjesztést fényemisszió követ?

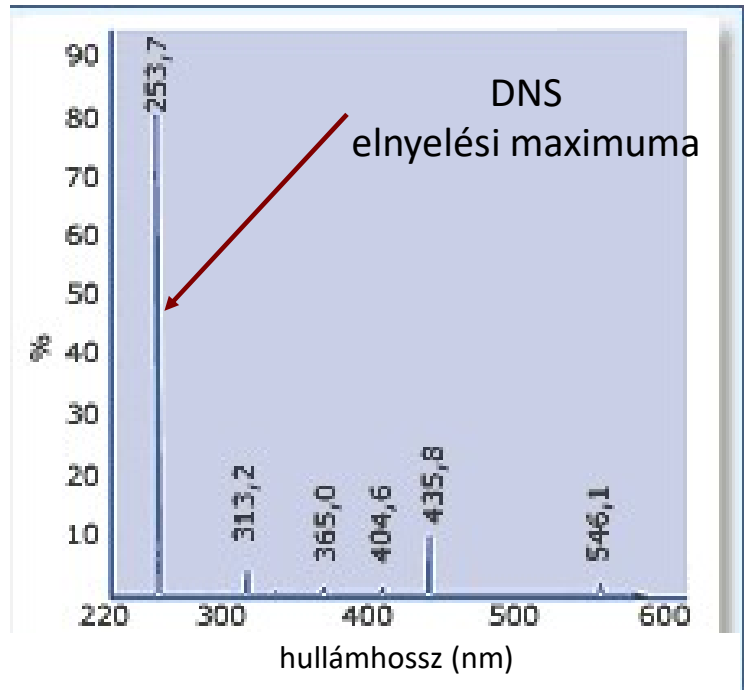
- Környezetükkel kölcsönhatásban levő molekulák (oldatban, sejtekben, szövetekben) elektronjai igen ritkán adják le *fotonemisszióval* a gerjesztéskor felvett energiájukat.
- Sokkal valószínűbb, hogy az energialeadás sugárzás nélkül, vagyis hő keltésével vagy kémiai reakciók útján történik.

## A lumineszcencia alkalmazási területei

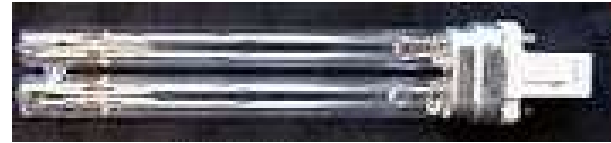
- fényforrások (világítás, sterilizálás, szolárium, terápiás alkalmazások, stb.)
- koncentráció meghatározása (pl. lángfotométer)
- lumineszcencia spektroszkópia
- lumineszcencia mikroszkópia
- diagnosztika
- dózismérés
- régészeti kormeghatározás

# Fényforrások

Kisnyomású Hg-gőz lámpa



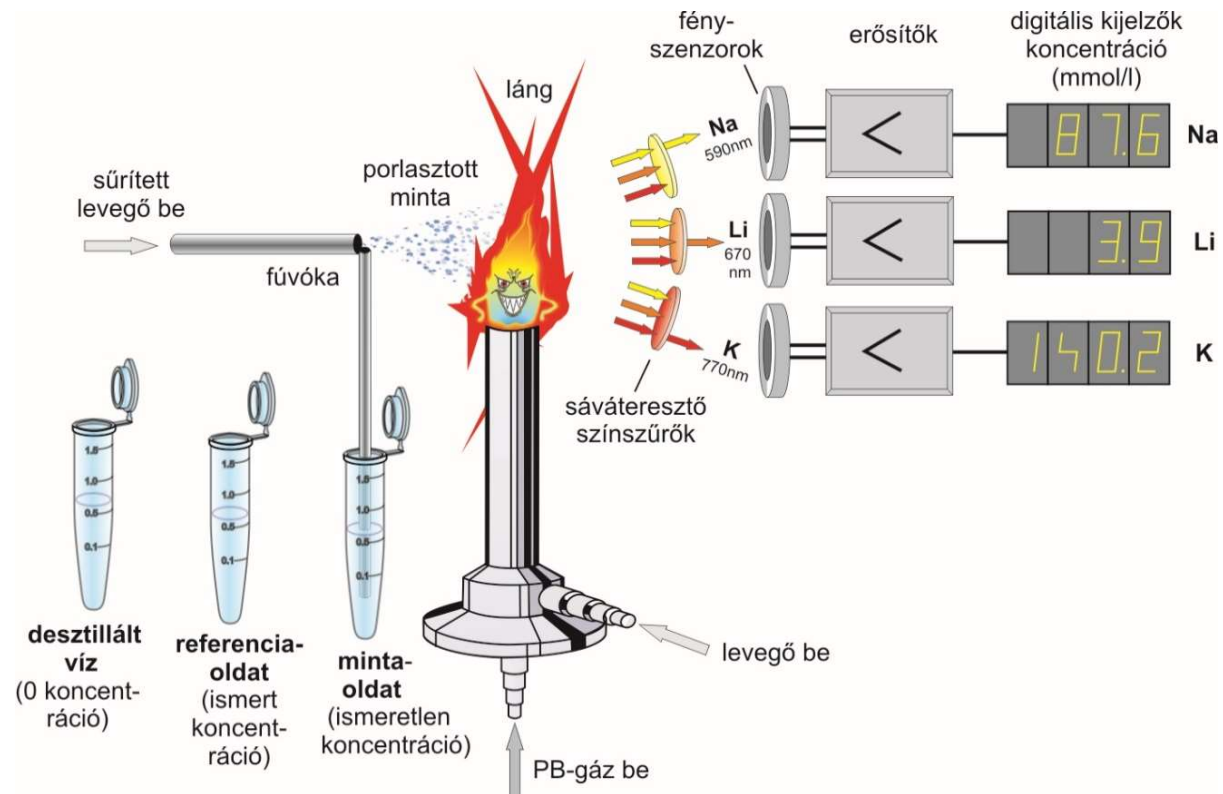
emissziós  
spektruma



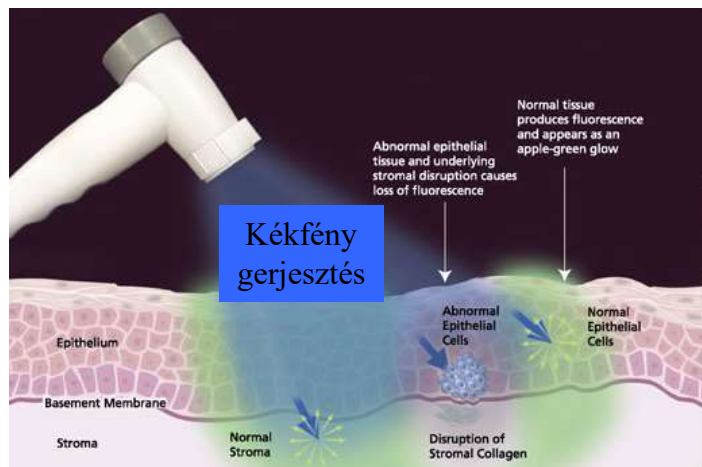
Sterilizálás  
„germicid lámpa”



# Diagnosztika-Lángfotométer



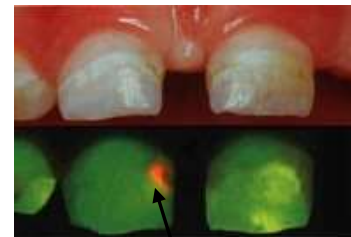
$K^+$ ,  $Li^+$  és  $Na^+$  mennyiségi meghatározása



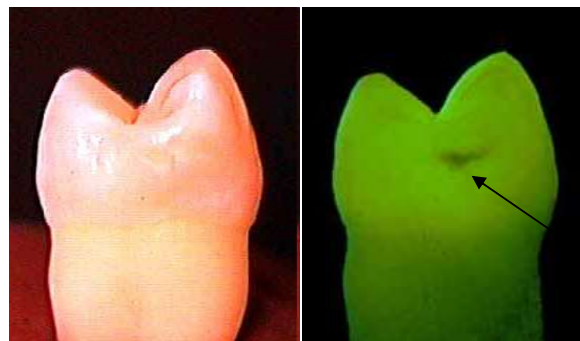
Egészséges és malignus szövetek eltérő fluoreszcens tulajdonságai

## Diagnosztika

Tejfogak felszíne  
natív állapotban és fluoreszcens  
festés után



*Aktív caries*



Fog felszíne  
natív állapotban és fluoreszcens festés után

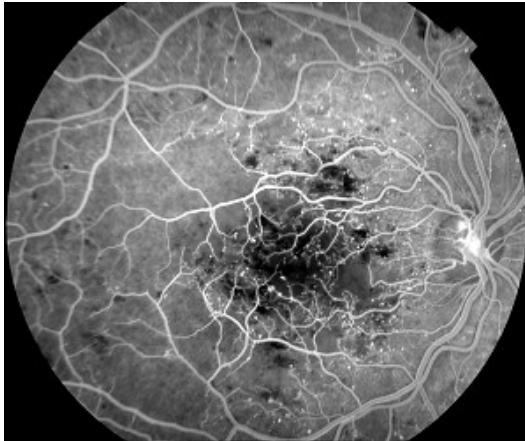
*Kezdődő  
caries*

## ***Fluoreszcencia az orvosi gyakorlatban***

Fluoreszcens jelzés lehetősége

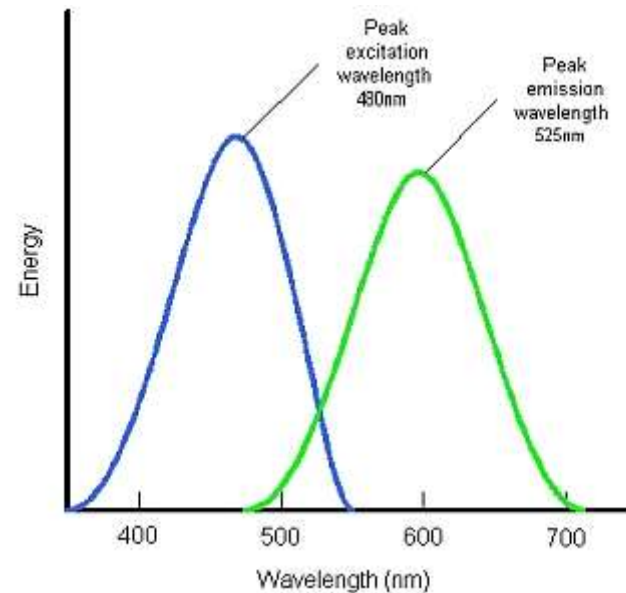
- Alapja: a szövetekben igen kevés fluoreszkáló molekula van → szelektíven kötődő fluoreszcens festés után a kötődés helyét fluoreszcencia alapján leképezhetjük
- A festék gerjesztéséhez megfelelő fotonenergiájú (hullámhosszú) fényforrás szükséges

### ***Angiográfia fluoreszcens festéssel***

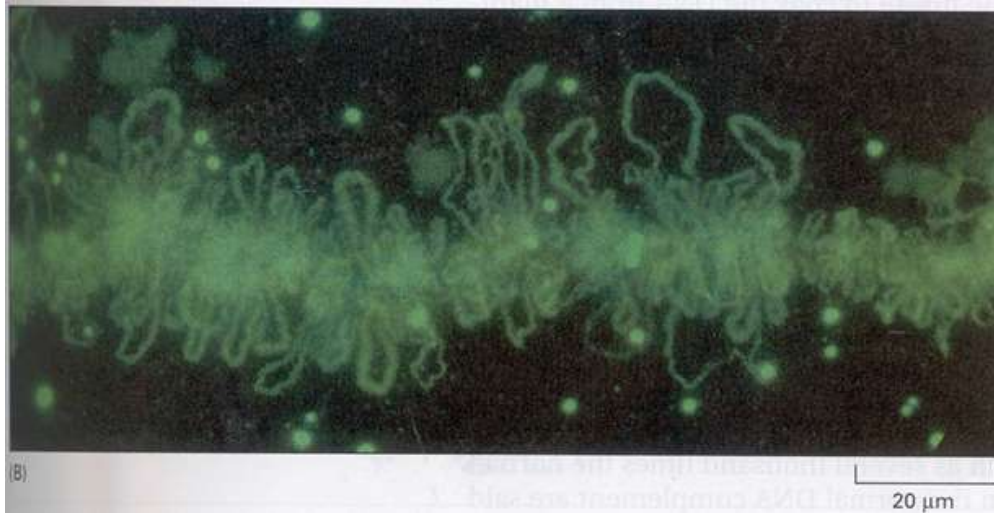


Vérerek jelölése a retinán fluoreszcein-festéssel, vizsgálat reflexióban. A megvilágító fény filterrel kiszűrhető a Stokes shift alapján

Fluoreszcein abszorpciós és emissziós spektruma



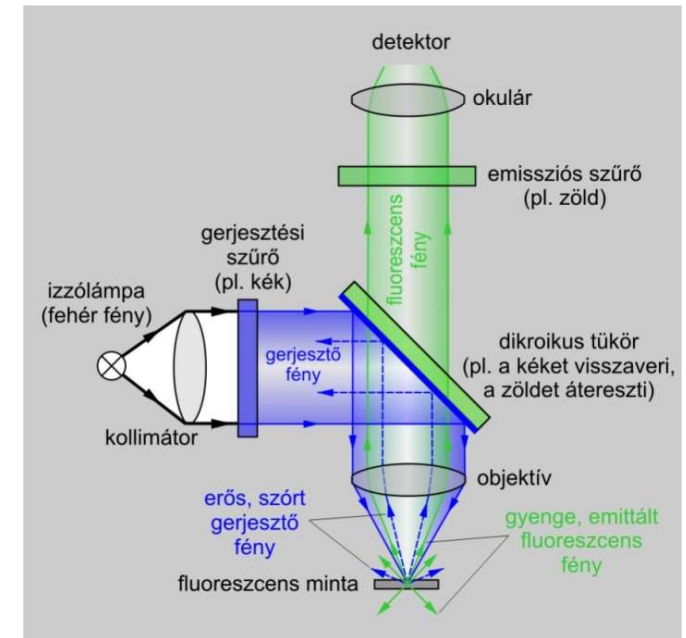
# Fluoreszcencia-mikroszkópia → élettudományi kutatások

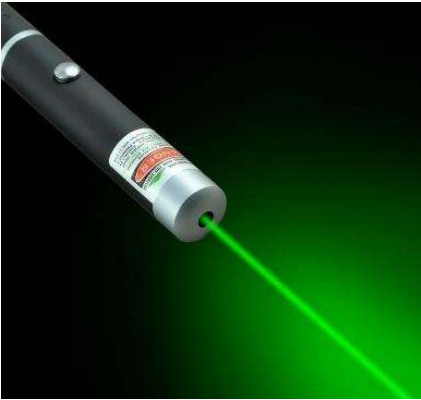


A gén-expresszió egy állapota: az RNS-re kötődő fehérjék zöld fluoreszcenciája alapján az RNS kirajzolódik.

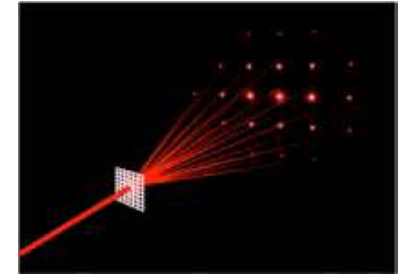
Konfokális Mikroszkóp: mélységbeli felbontás

*Kellermayer professzorúr előadása  
Haluszka Dóra- gyakorlaton*





# Laser / lézer



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

**Fényerősítés a sugárzás indukált emissziója révén**

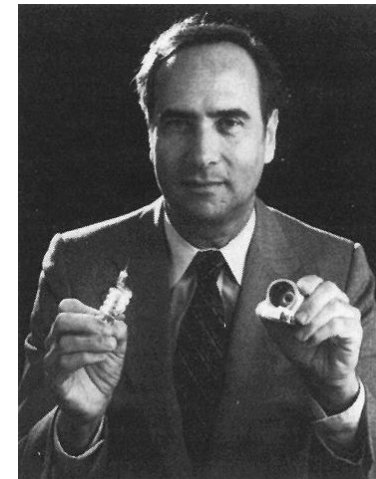
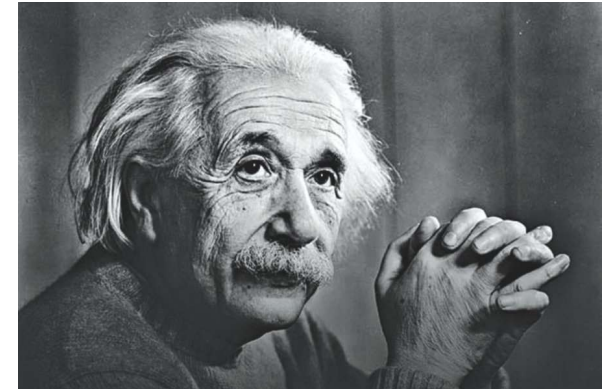


## Egy kis történelem

**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

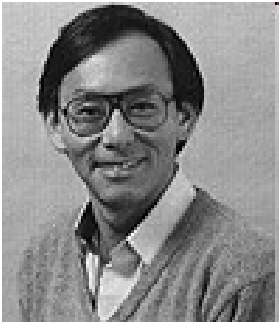


[https://people.inf.elte.hu/reluaai/GABOR\\_DENES/gd.html](https://people.inf.elte.hu/reluaai/GABOR_DENES/gd.html)

[XI. kerület](#), Magyar tudósok körútja 2.

# Egy kis történelem

**William D. Phillips**



**Steven Chu**



**Claude Cohen-Tannoudji**



**Zhores Ivanovich Alferov**



**Herbert Kroemer**

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

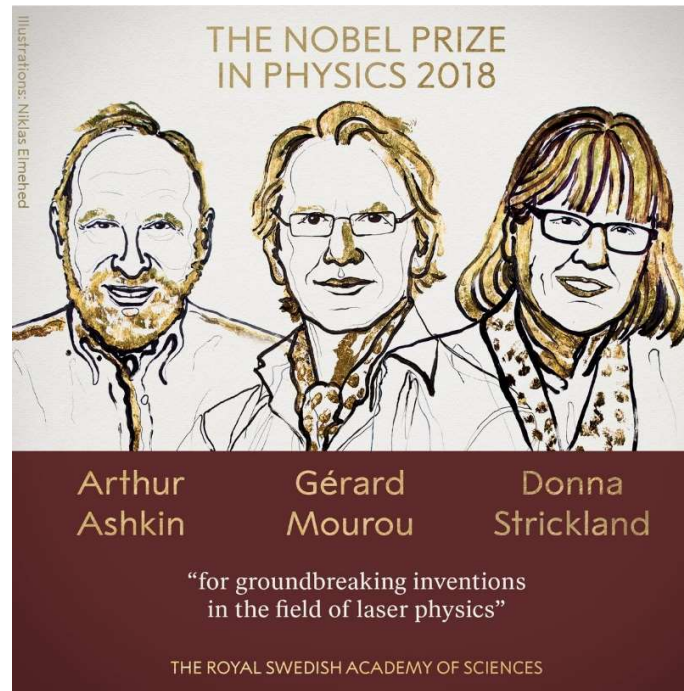
Fizikai Nobel-díj 2000  
A félvezető lézerdiódákért

## 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 bevágásokat ejteni és lyukakat fúrni a különböző anyagokon.

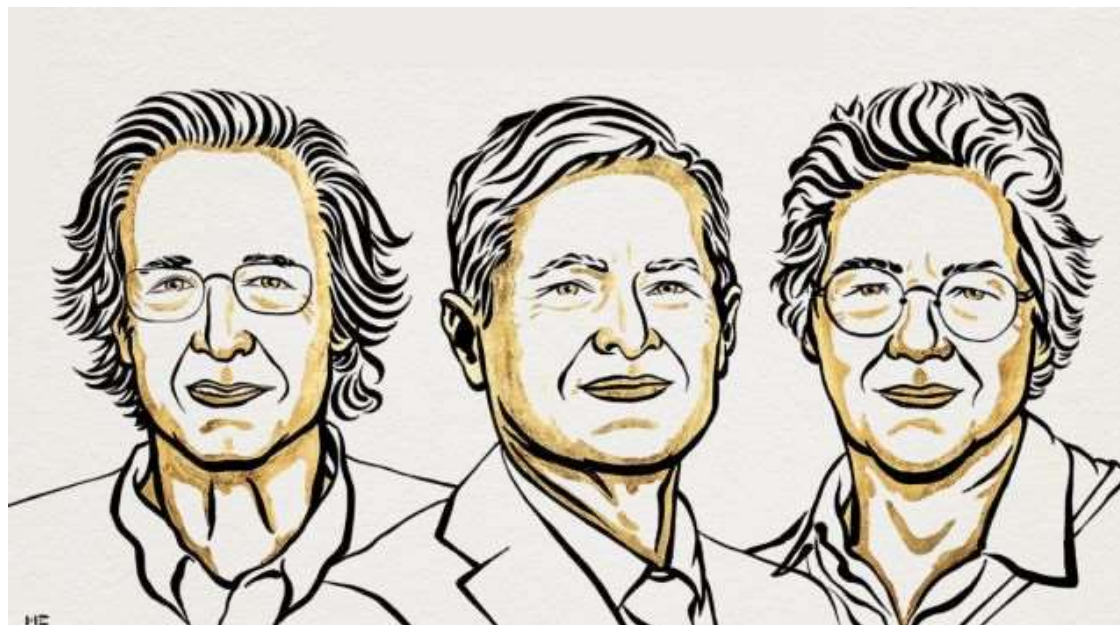
**2023-ban**

**Pierre Agostini és Anne L'Huillier**

kutatókkal megosztva

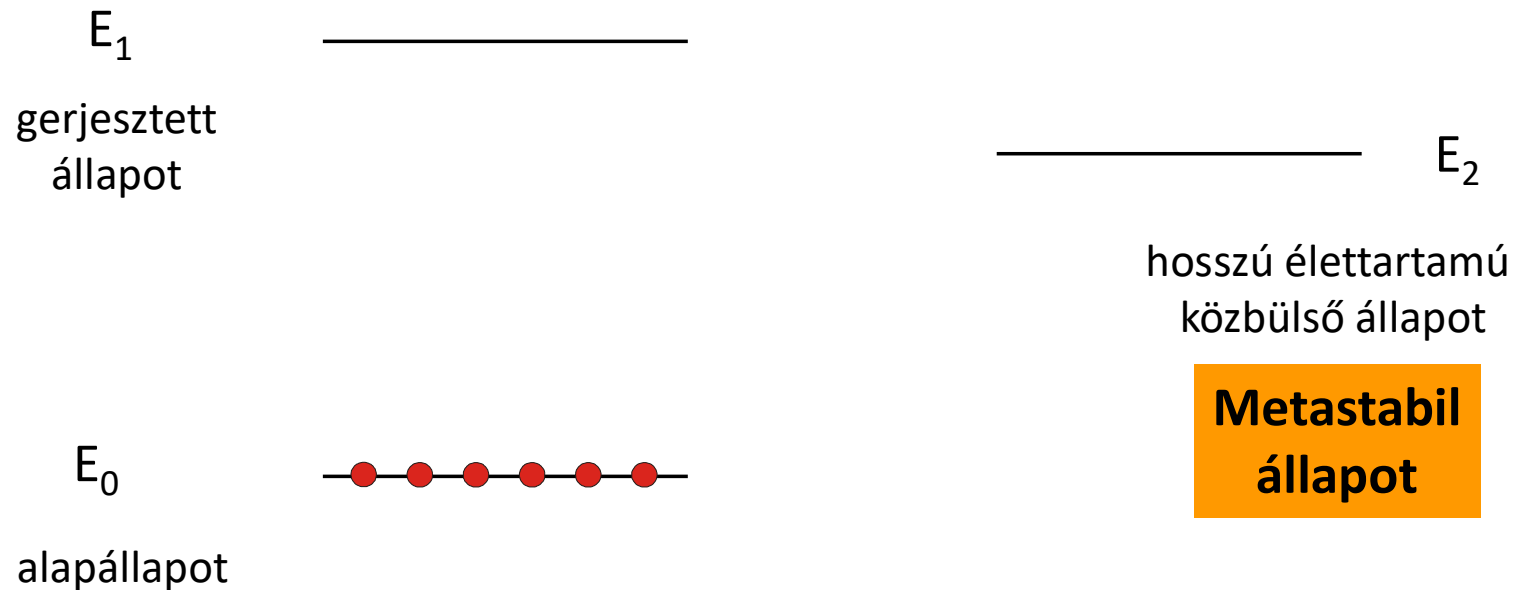
**Krausz Ferenc**

fizikai Nobel-díjat kapott az  
általuk kifejlesztett, „az elektronok  
anyagbeli viselkedésének  
tanulmányozására szolgáló,  
attoszekundumos  
fényimpulzusokat létrehozó  
kísérleti módszerekért”.



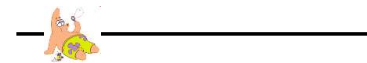
# A lézerfény előállításának feltételei és lépései

## Speciális elektron energia állapotok



Kicsi az átmeneti valószínűség

# Elektronállapotok betöltöttsége



*Termikus egyensúly*

***Populáció inverzió***

Boltzmann eloszlás szerint:

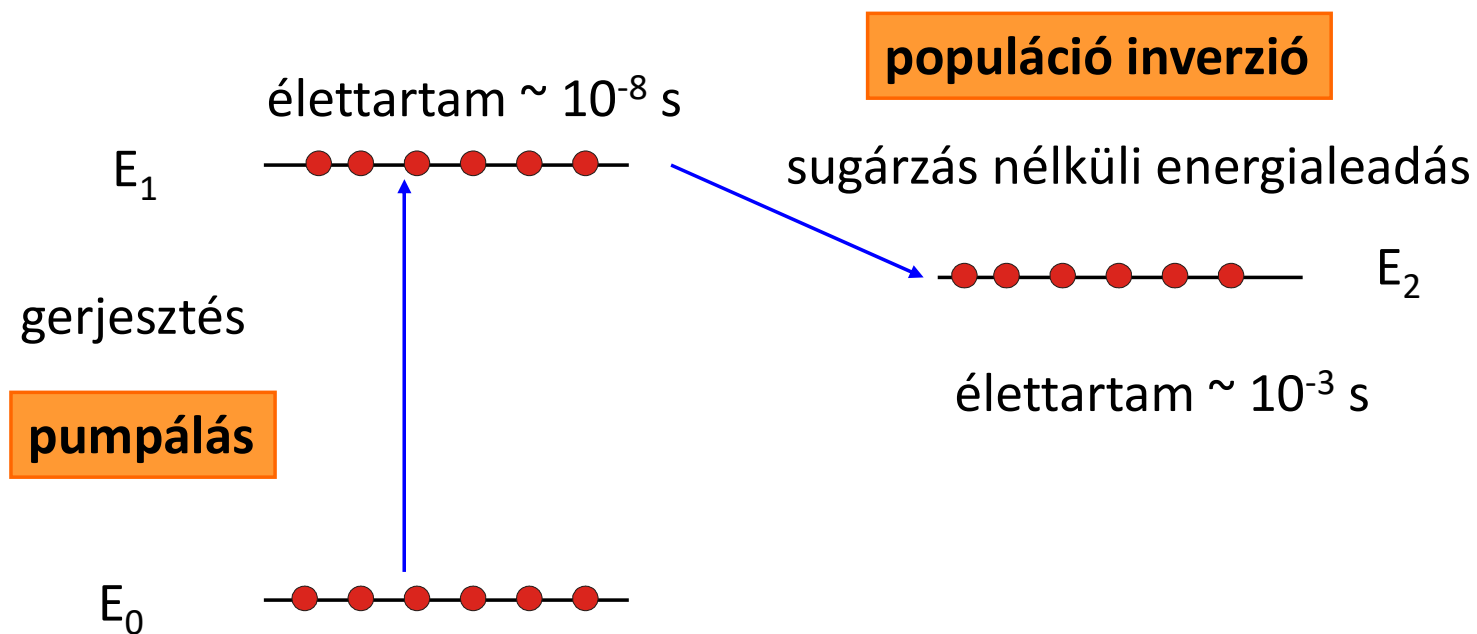
“fordított” betöltöttség

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

Boltzmann eloszlásról részletesebben jövőheti előadáson.



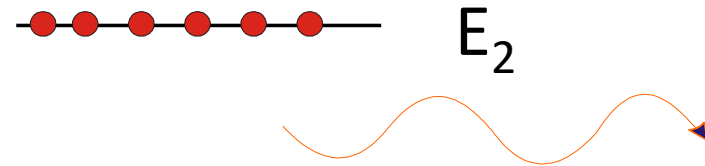
# A lézerfény keletkezésének lépései



## Spontán emisszió

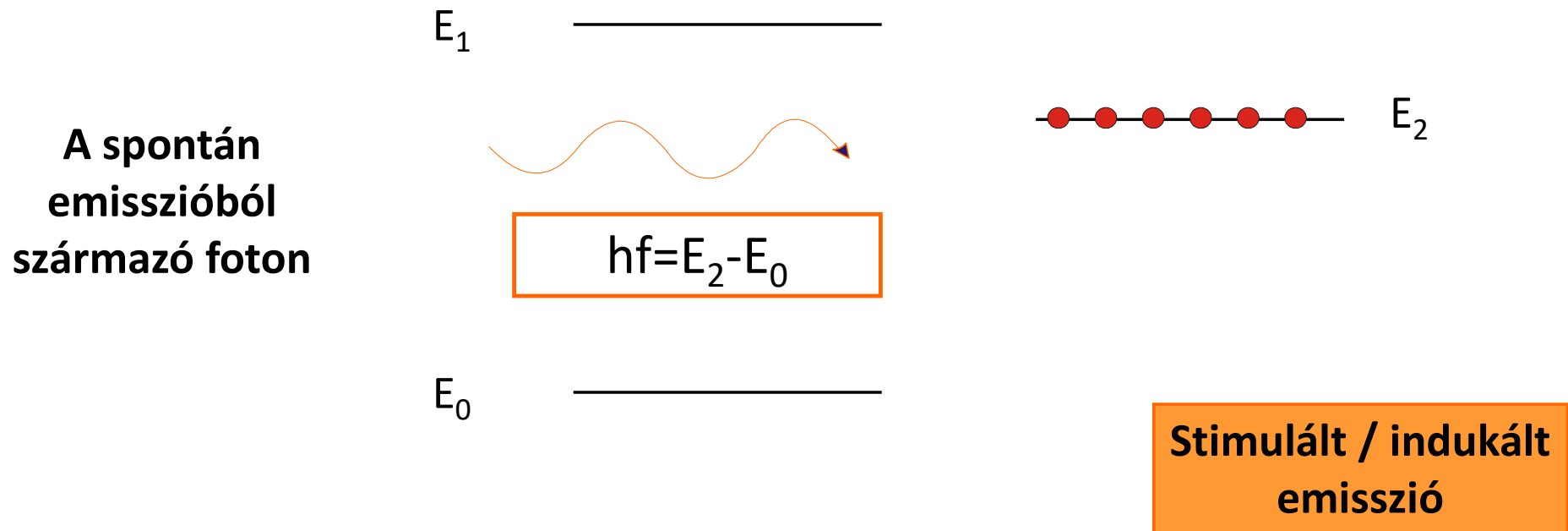
$E_1$  \_\_\_\_\_

$E_0$  \_\_\_\_\_ ●

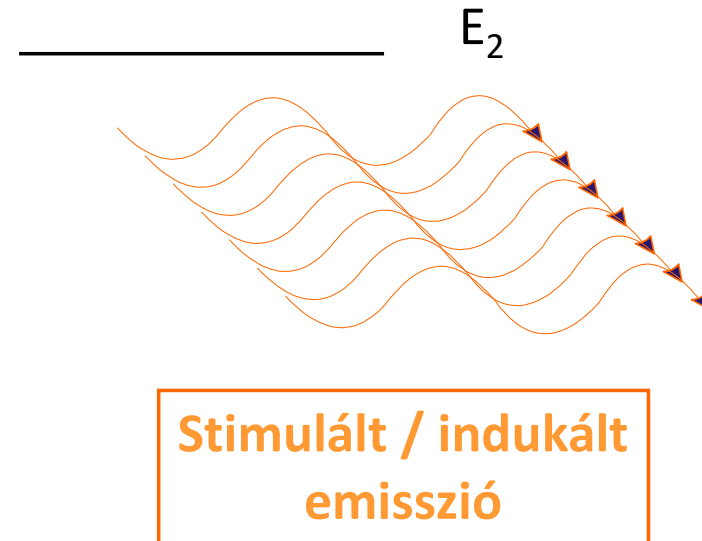
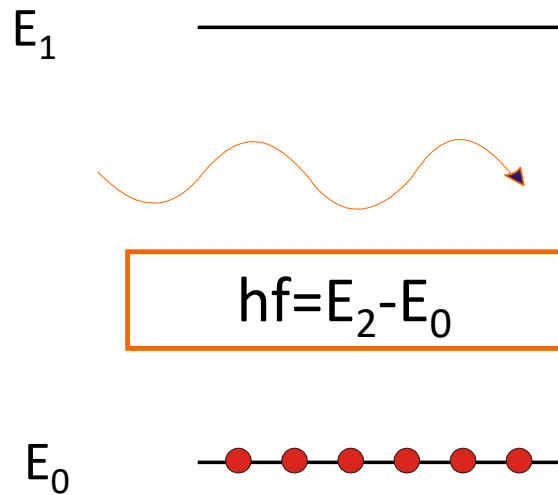


spontán  
fényemisszió  
*kis valószínűséggel*

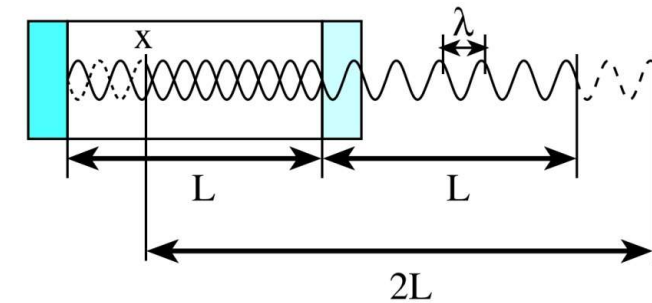
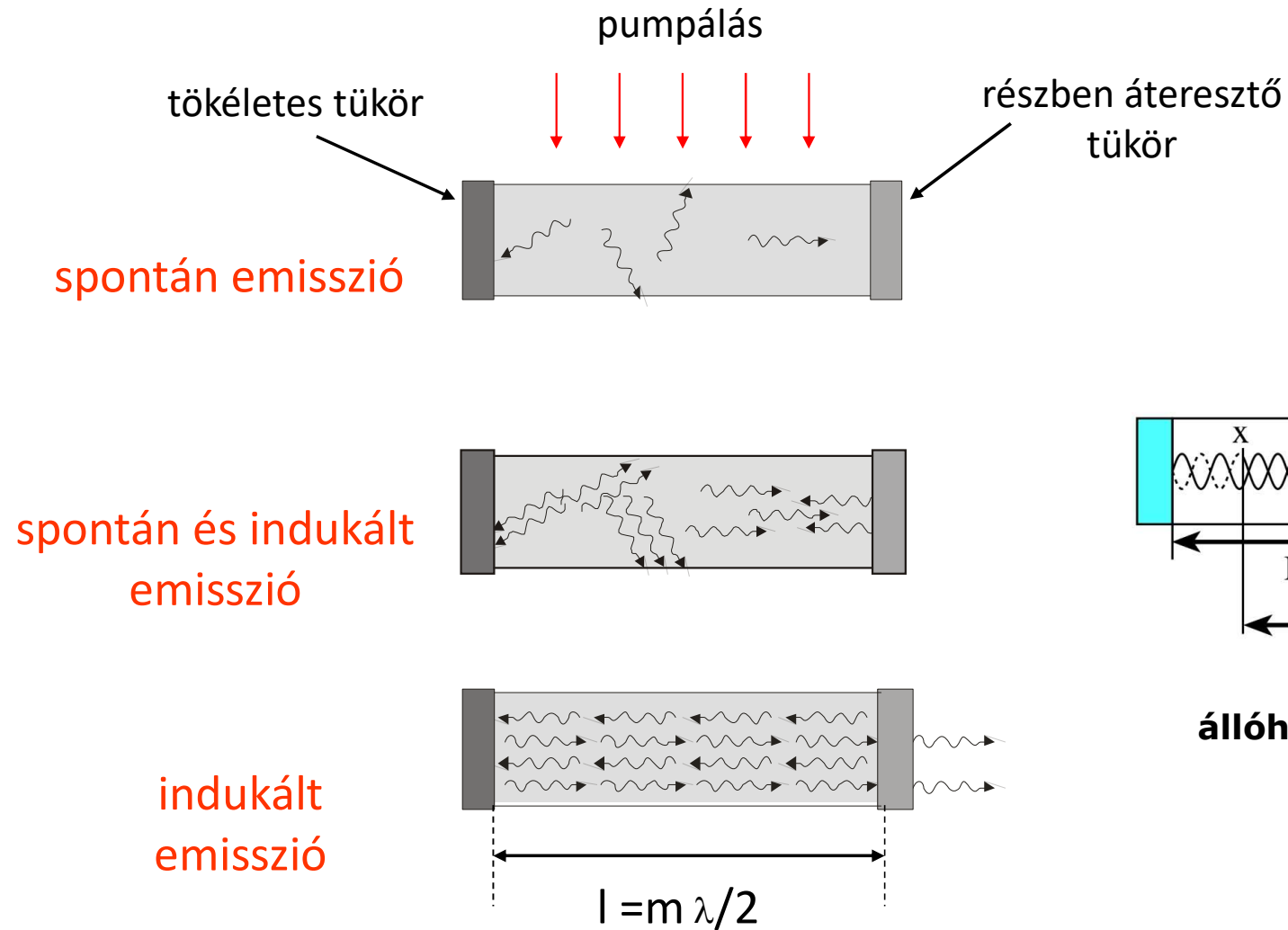
## A metastabil nívón lévő elektronok relaxációjának stimulálása



# A metastabil nívón lévő elektronok relaxációjának stimulálása



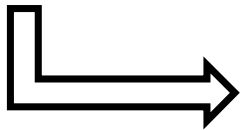
# Lézerek működéseinek feltétele: Lézercső – optikai rezonátor



állóhullámok kialakulása

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



Rövid impulzusidő lehetséges –  $ps$ ,  $fs$

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

Nagy teljesítménysűrűség lehetséges

## A lézerek típusai

Anyaguk szerint:

szilárd

gáz

festék

félvezető

Működésük szerint:

impulzus

folyamatos

Teljesítményük szerint:

nagy teljesítményű

kis teljesítményű

*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

# A lézerek típusai

**Teljesítményük szerint:**

5 mW – CD-ROM drive

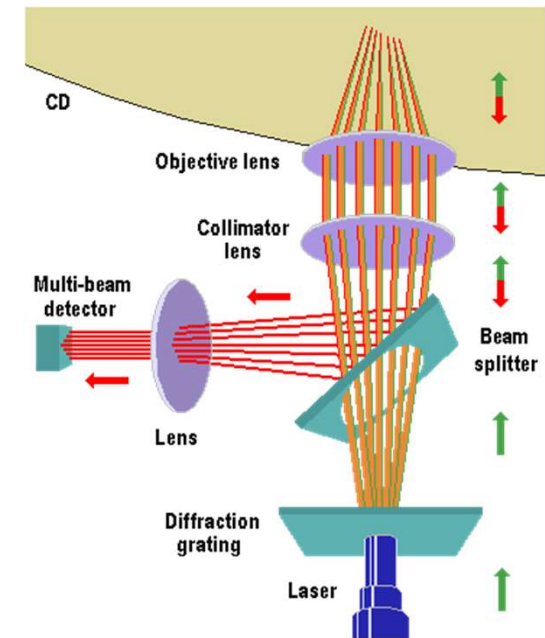
5 - 10 mW – DVD lejátszó

100 mW – CD-író

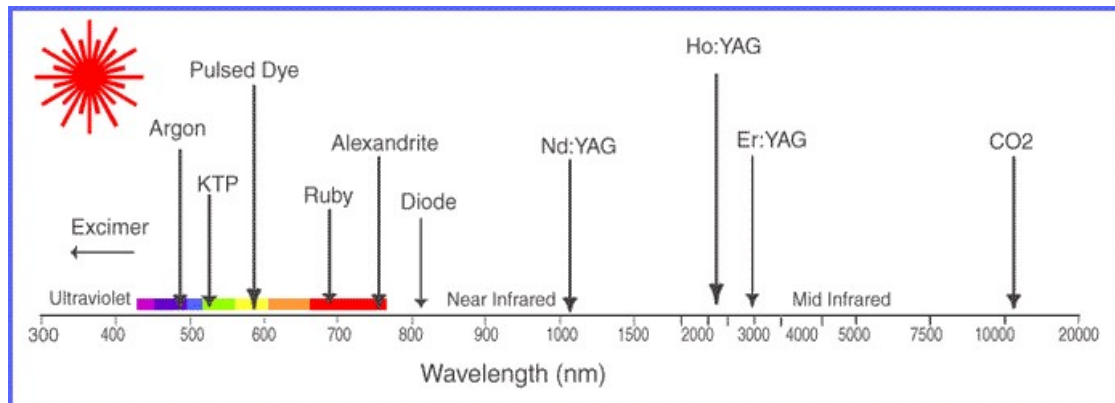
250 mW – DVD-író

1-20 W – mikro-megmunkálásban használt szilárdtest lézerek

**30-100 W – tipikus sebészeti lézerek**



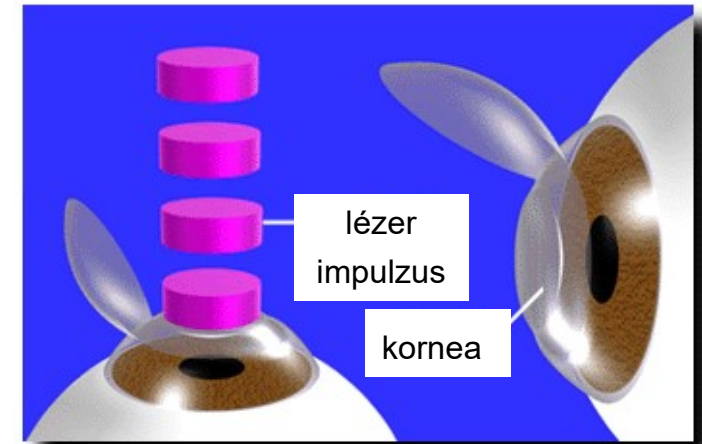
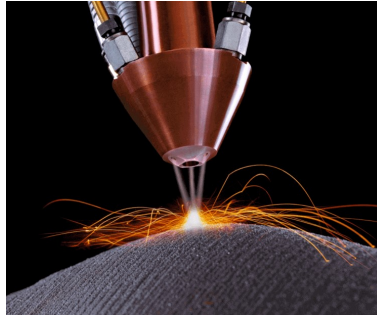
<https://www.youtube.com/watch?v=j0T8Fd9iQqs>





# A lézerek alkalmazása

*A kiválasztás szempontjai:*  
hullámhossz  
teljesítmény  
üzemmód

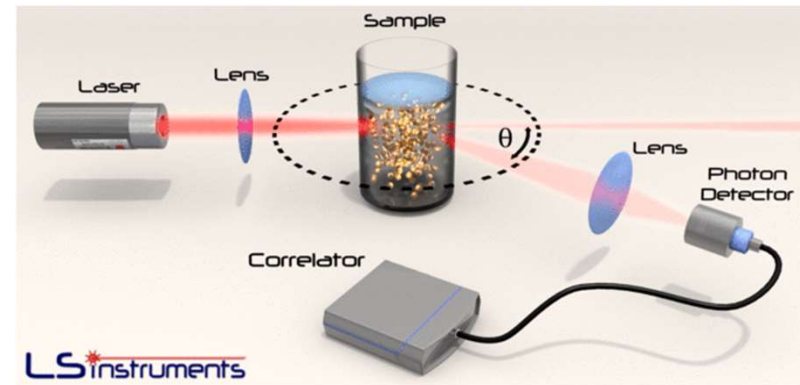


## Felhasználási területek

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

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

technika, ipar  
jelátvitel, kommunikáció  
**kutatás**, szerkezetvizsgálat

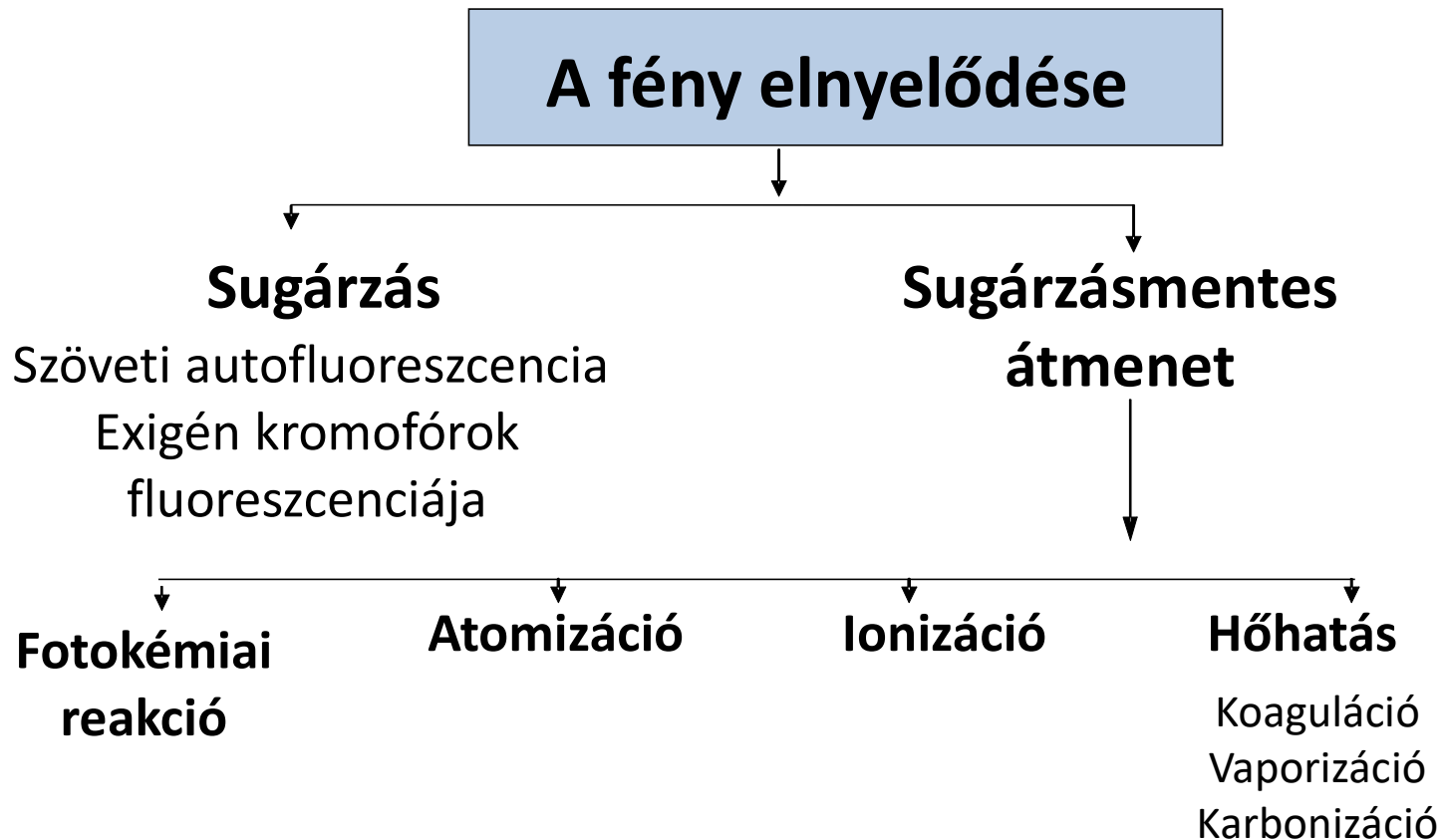




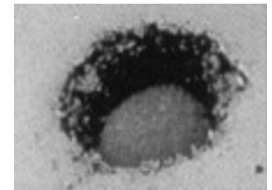
## Leggyakoribb lézerek az orvosi gyakorlatban

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

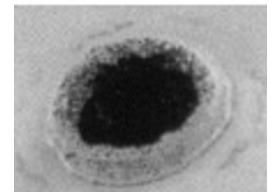
# Fény által indukált folyamatok a szövetekben



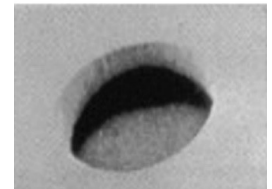
vaporizáció



karbonizáció

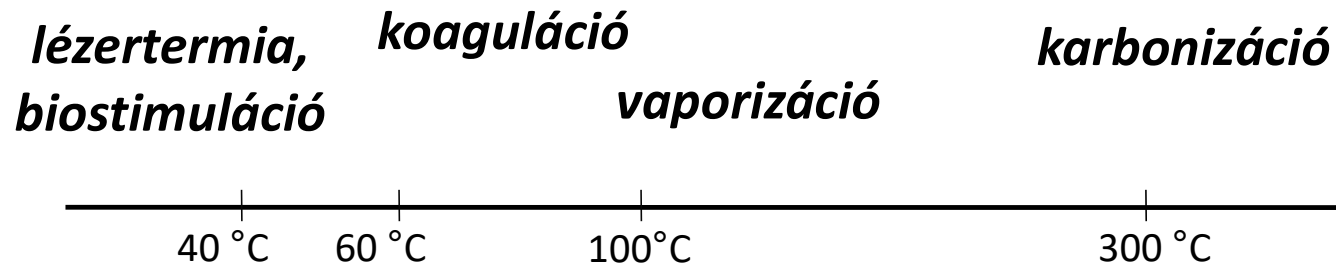


Atomizáció  
távoli UV  
fényvel

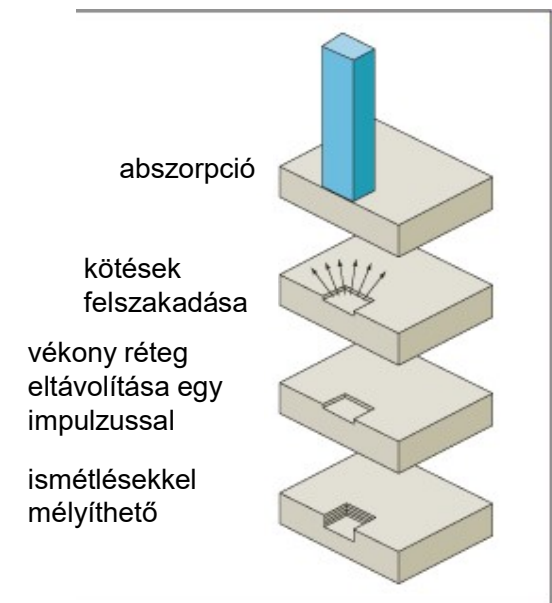


**Fénynek el kell nyelődnie**

# Termikus hatások



- 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)

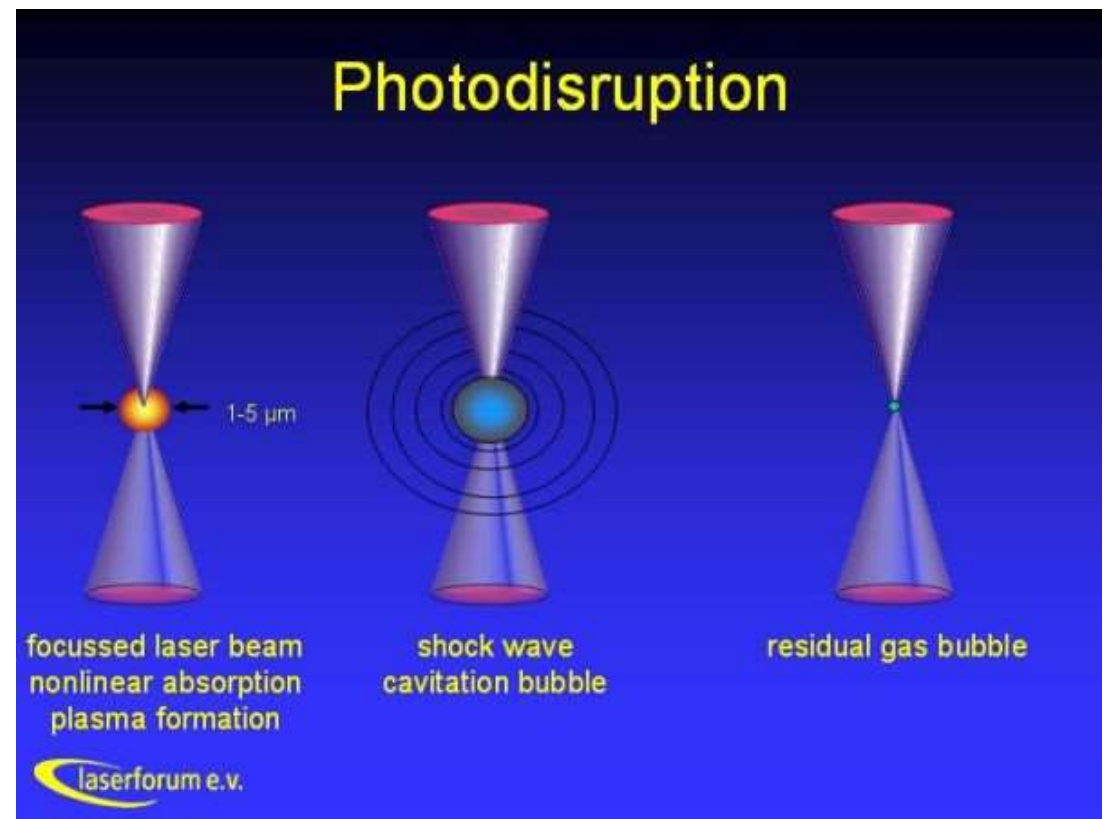


# Fotodisrupció

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

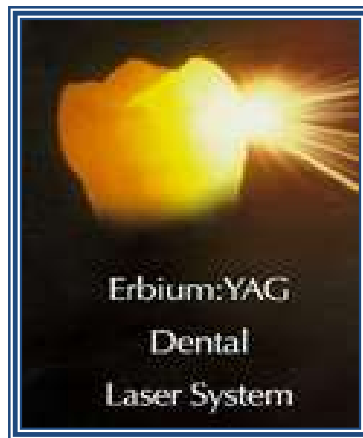


- Lökéshullám roncsolja a szöveteket
- Kavitáció
- Vízgőz és CO<sub>2</sub> tölti ki az üreget
- A lökéshullám következtében ez szétáramlik a környező szövetekbe



Er:YAG lézer

2940 nm



Maximális elnyelődés a vízben és  
a hidroxiapatitban



Vaporizáció és mechanikai hullám



caries eltávolítása

kemény szövetek módosítása

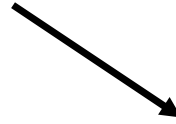
lágyszövetek módosítása



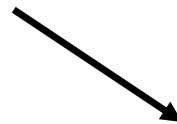




Argon lézer



fogfehérítés



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



Er:YAG lézer

2940 nm

vagy

CO<sub>2</sub> lézer

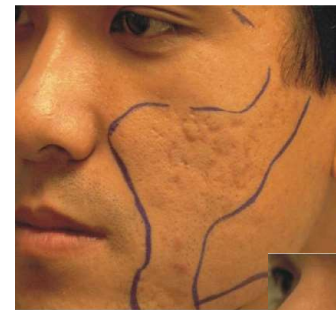
10600 nm

„*resurfacing*” – ablációs technika

az epidermisz megújítására



Ráncok,  
sérülések,  
aknék stb.  
kezelésére



## Nd:YAG lézer

1064 nm

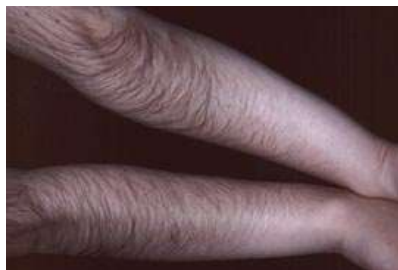
Felszíni erek fotokoaguláción alapuló  
korrekciója



Vénák fotokoaguláción  
alapuló korrekciója

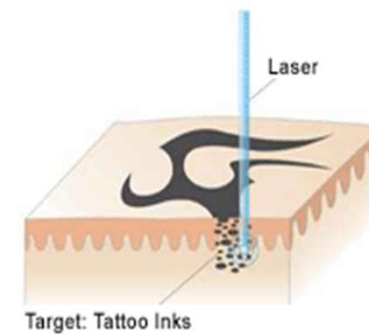


## Esztétikai megoldások

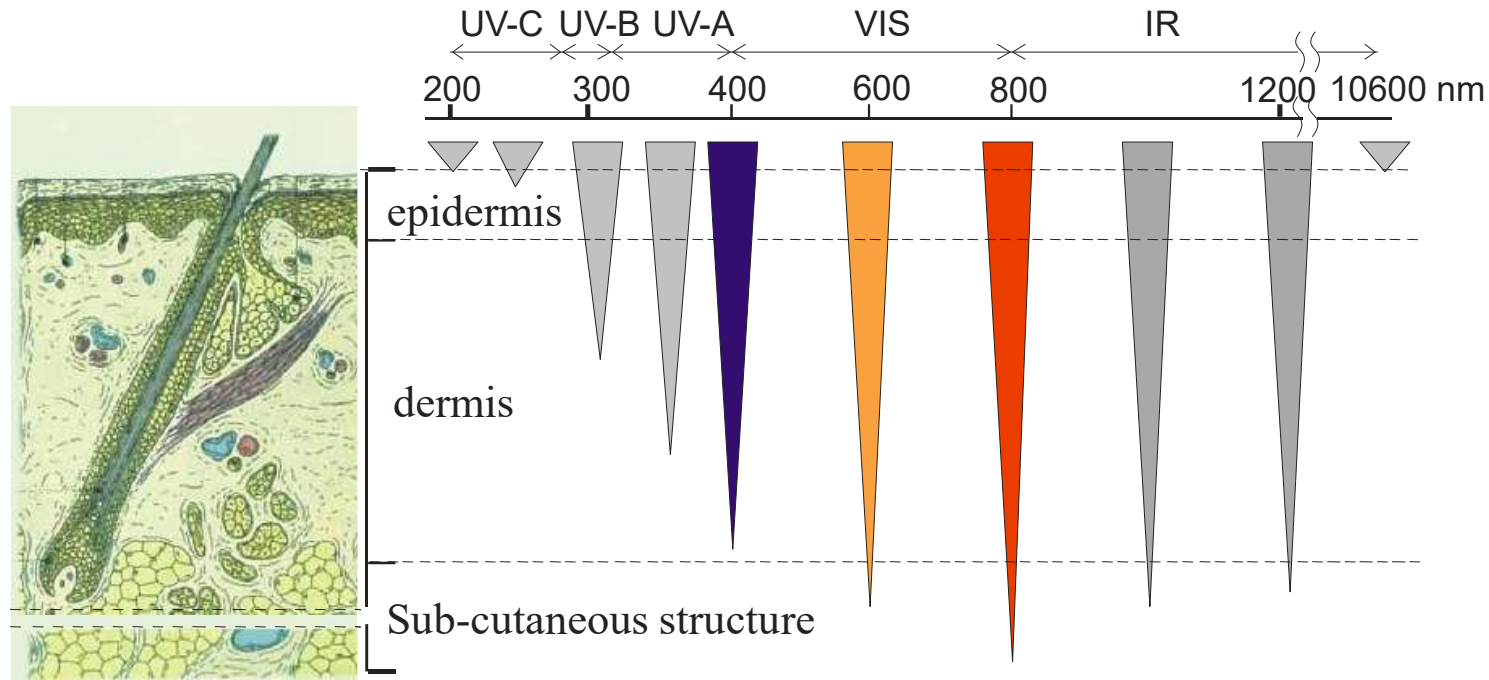


before

after



# Fény behatolási mélysége a bőrbe

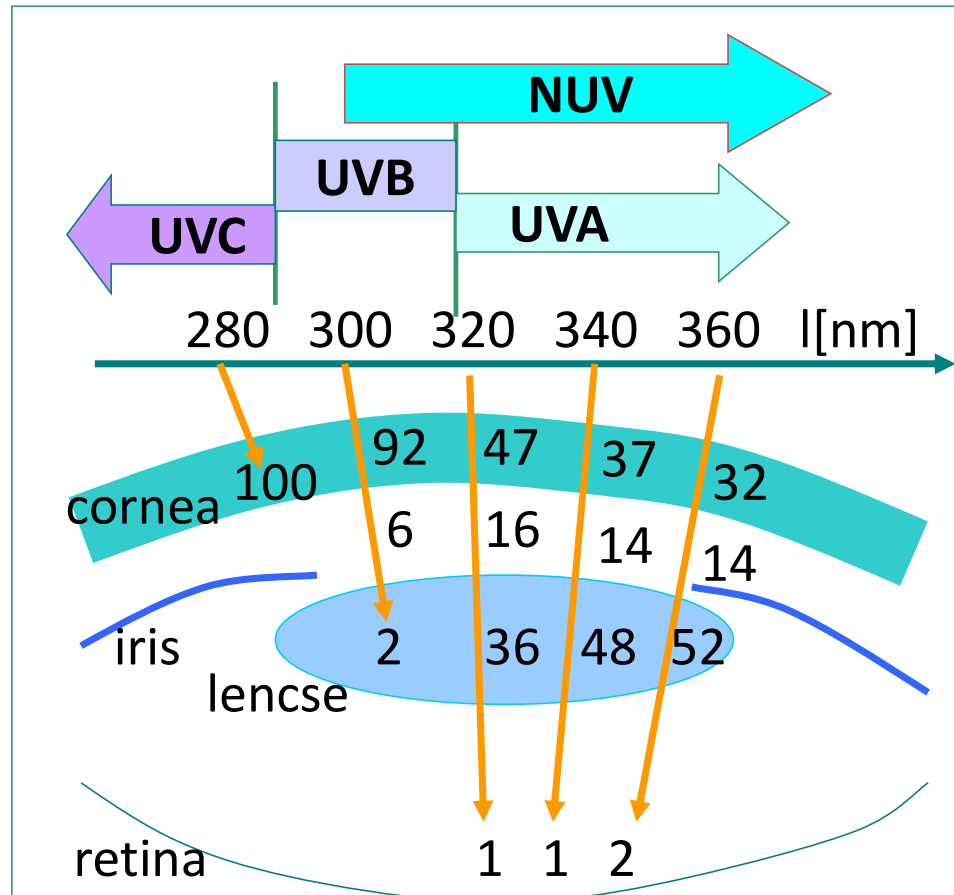


A fény intenzitás gyengülése elnyelődés, fénytörés és visszaverődéssel egyaránt megvalósul.

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

## Behatolási mélység?

Szem: fontos szempont az UV sugárzás káros hatásának elkerülése



1. A közeli UV-A tartományú fény a szemlencsében nyelődik el → cataracta
2. A távoli UV-C tartomány a szemfelszínen hat → látáskorrekciós műtétek a szaruhártyán