

# FÉNY KÖLCSÖNHATÁSA

## AZ ANYAGGAL:

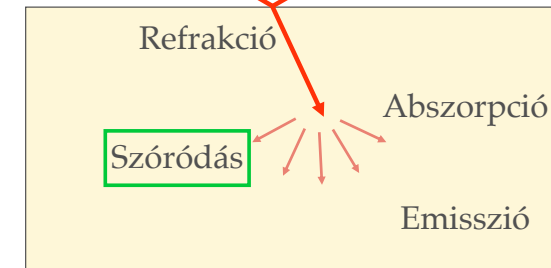
### SZÓRÁS, ABSZORPCIÓ

KELLERMAYER MIKLÓS

# FÉNY KÖLCSÖNHATÁSA AZ ANYAGGAL

Beeső nyaláb

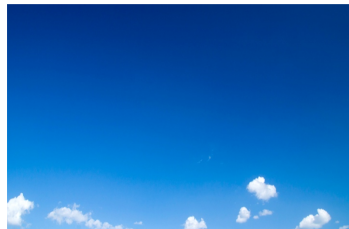
Reflexió



## FÉNYSZÓRÁS



Vajon mik ezek a sugarak? Képuszkuláris sugarak (Szent Péter bazilika)



Miért kék az ég?



Mitől vörös a naplemente?

## FÉNYSZÓRÁS

Magyarázat - klasszikus fizika

Fény mint elektromágneses hullám ( $E$ ,  $B$ : elektromos és mágneses térerősség)

Molekula mint dipól

Dipólmomentum ( $p_0$ ):

$$p_0 = Qd$$

A változó elektromos tér a dipólokat rezgésre kényszeríti, és így azok - mint oszcillátorok - fényt bocsátanak ki.

A változó elektromos tér által indukált, időben változó dipólmomentum:

$$p = p_0 \sin \omega t$$

Dimenziója:  $Qd t^{-1}$

Vajon mekkora a szórt ("újrassugárzott") fény teljesítménye? ( $P_{szórt}$ ; dimenziója  $W = Fd t^{-1}$ )

N.B. - Coulomb törvény:

$$F \sim \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad (\text{dimenziója } Q^2 d^{-2})$$

Dimenzionális levezetés

Fizikai kifejezés	Dimenzió	Művelet
$p_0^2$	$Q^2 d^2$	Négyzetre emelés
$p_0^2 / c^3$	$Q^2 d^2 d^4 = F d^4$	Bővítés $d^2 d^{-2}$ -nel
$(p_0^2 / c^3) \omega^4$	$F d t^{-3}$	Osztás $c^3$ -nal ( $d^3 t^{-3}$ )
	$F d t^{-1} = W$	Szorzás $\omega^4$ -nel ( $t^{-4}$ )

$$P_{szórt} \sim \frac{p_0^2}{c^3} \omega^4$$

# FÉNYSZÓRÁS



Rayleigh szórás  
( $d < \lambda / 10$ )



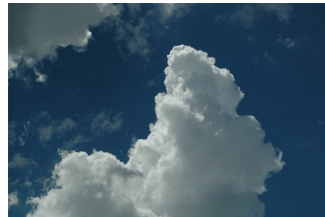
- Emisszió rezonáló diopólusok által
- Szóró centrumok egymástól távol (nincs interferencia)
- Rugalmas ütközés: fotonenergia nem változik

$$J_s = J_0 \frac{8\pi^4 N \alpha^2}{\lambda^4 R^2} (1 + \cos^2 \Theta)$$

$J_s$  = szórt fénny intenzitása  
 $J_0$  = beeső fénny intenzitása  
 $N$  = szóró részecskék száma  
 $\alpha$  = polarizálhatóság ( $E/d$ )  
 $\lambda$  = hullámhossz  
 $R$  = távolság a vizsgált és szóróközeg között  
 $\Theta$  = megfigyelő - sugárforrás közötti szög



Erős hullámhosszfűgges → a szórt fényben a rövid hullámhosszak dominálnak → kék ég

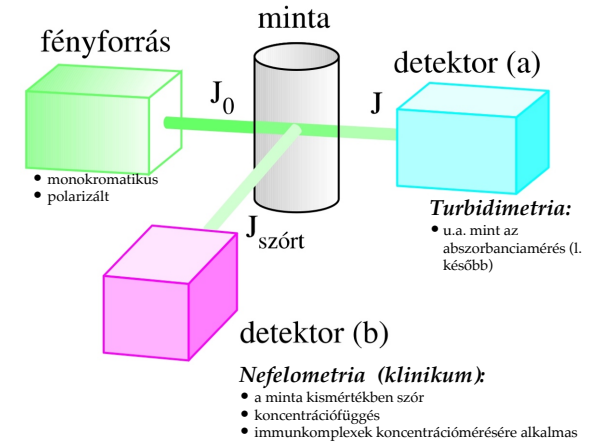


Mie szórás  
( $d \sim \lambda$ )  
( $J_s$   $\lambda$ -független)

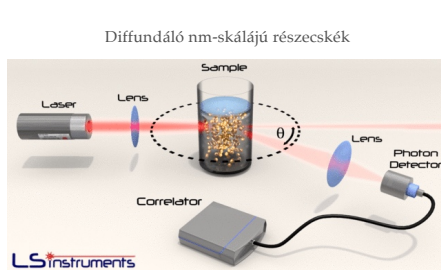


Ha a szóró centrumok egymással kölcsönható atomok hullámhossz-méretű halmazai → interferencia, kioltás → esőcseppek kiszürkülnek (felhők)

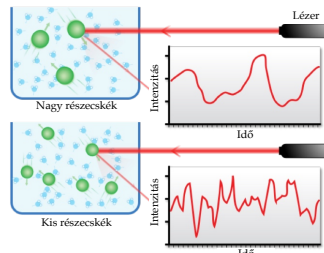
# A FÉNYSZÓRÁS MÉRÉSE, ORVOSI ALKALMAZÁSAI



# DINAMIKUS FÉNYSZÓRÁS



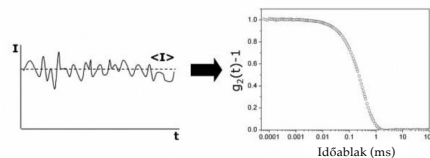
Szórt fény intenzitása időben fluktuál



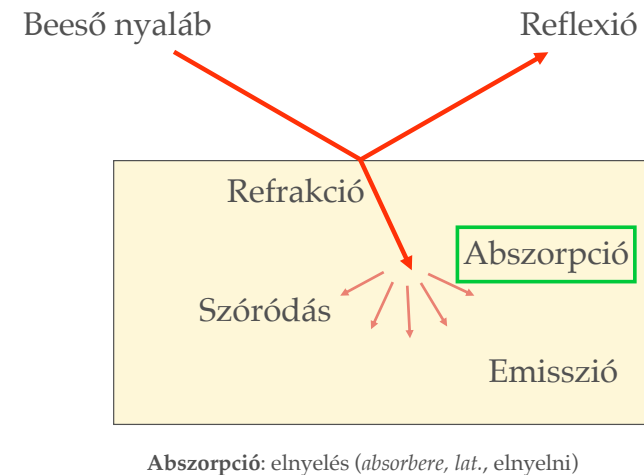
A fluktuáció sebessége a részecskemérettől függ

- Az intenzitás fluktuáció autokorreláció függvényéből (önhasonlóság időbeli lecsengése) kiszámítható a diffúziós állandó ( $D$ )
- A diffúziós állandó segítségével kiszámítható a gömb alakú részecske sugara (Stokes-Einstein)

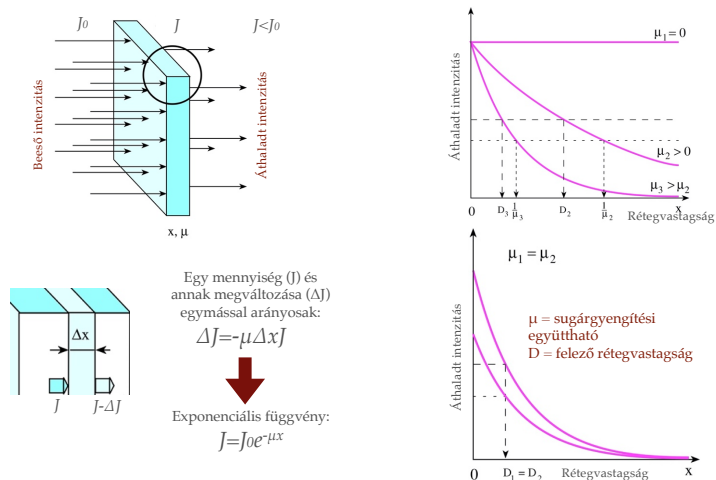
$$D = \frac{k_B T}{6\pi\eta r}$$



# FÉNY KÖLCSÖNHATÁSA AZ ANYAGGAL



# ÁLTALÁNOS SUGÁRGYENGÍTÉSI TÖRVÉNY



# AZ ABSZORPCIÓ PARAMÉTEREI ÉS MÉRÉSE

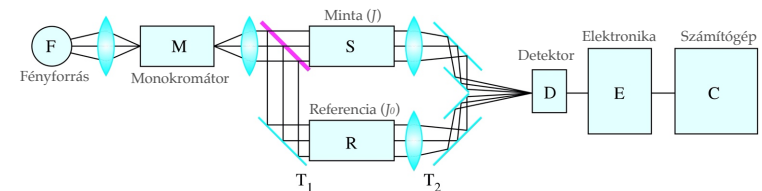
Abszorbancia ( $A$ ):  $A = \lg \frac{J_0}{J} = \lg e \cdot \mu \cdot x$

Dimenzió nélküli szám  
 Szinonimák: extinkció, optikai denzitás (OD), optikai sűrűség

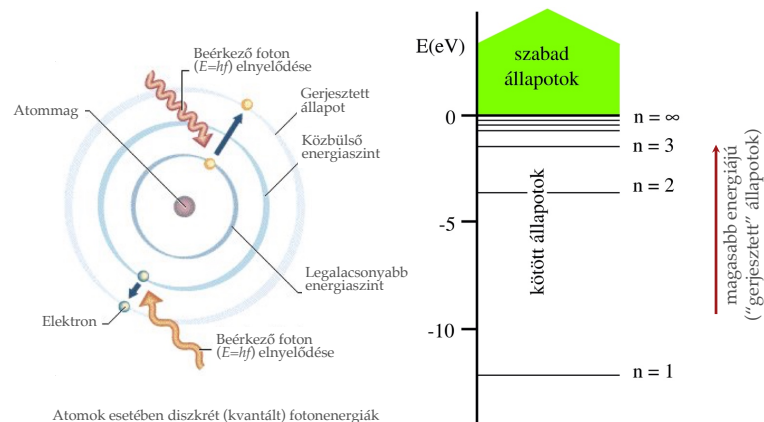
Transzmittivitás ( $T$ ):  $T = \frac{J}{J_0} \cdot 100$

Százalékban (%) fejezzük ki  
 Szinoníma: transzmissziós tényező

Fotometria ("fénymérés"):

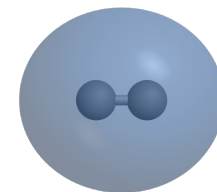


# FÉNYABSORPCIÓ ATOMI ÉS MOLEKULÁRIS MECHANIZMUSAI



# MOLEKULASZERKEZET

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



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

**Vibráció:** kovalens kötés *mentén* történő periodikus mozgás  
**Rotáció:** kovalens kötés *tengelye körüli* periodikus mozgás

Példák a vibrációs mozgásra háromatomos (metilén) csoportban ( $-\text{CH}_2-$ ):



# MOLEKULA ENERGÍÁJA



Max Born  
(1882-1970)



J. Robert Oppenheimer  
(1904-1967)

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:

$$E_e \sim 100 \times E_v \sim 100 \times E_r$$

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

# ENERGIA ÁLLAPOTOK ÁBRÁZOLÁSA

Jabłoński-féle termséma:

egy molekula elektronállapotait, és a közöttük végbemenő átmeneteket (nyilakkal) mutatja

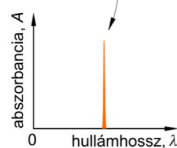
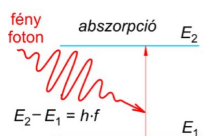


Alexander Jabłoński  
(1898-1980)



# A SÁVOS SZÍNKÉP EREDETE

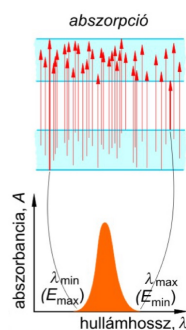
Egyedülálló atomok



Vonalas abszorpciós színekép

A fényforrás spektrumában megjelenő keskeny eloszlású hiányok: abszorpciós vonalak

Molekulák

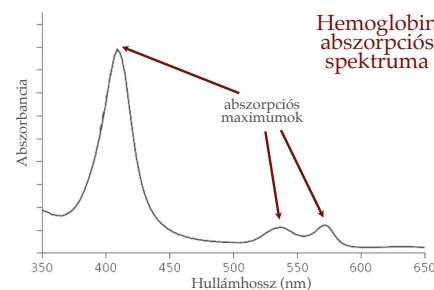


Sávos színekép - eredete:

- kémiaiilag ugyanolyan molekulák eltérő energiaállapotban vannak
- hőmozgás
- oldatkörnyezet

# A FÉNYABSZORPCIÓ HULLÁMHOSSZFÜGGŐ

Magyarázat: atom és molekulaszerkezet!



Hemoglobin abszorpciós spektruma

Általános sugáryengítési törvény:

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

Híg oldatokra - Lambert-Beer törvény:

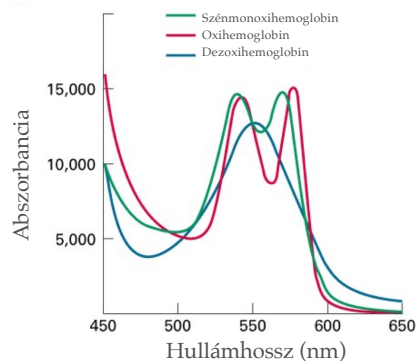
$$A_\lambda = \lg \frac{J_0}{J} = \epsilon_\lambda \cdot c \cdot x$$

$\epsilon_\lambda$  = moláris extinkciós együttható  
 $c$  = koncentráció

- A moláris extinkciós együttható ( $\epsilon_\lambda$ ) mértékegysége (SI):  $\text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$
- Koncentrációmérésre alkalmas módszer
- A hullámhossz alapján az energiaátmenet nagysága kiszámítható:

$$E_2 - E_1 = E_{foton} = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

# ABSZORPCIÓS SPEKTROSZKÓPIA

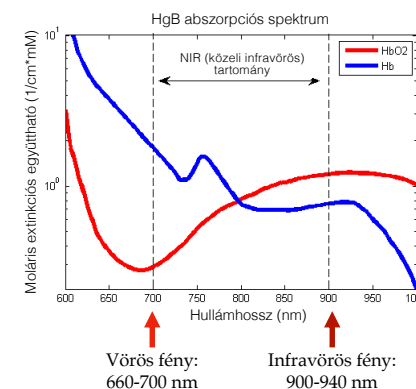
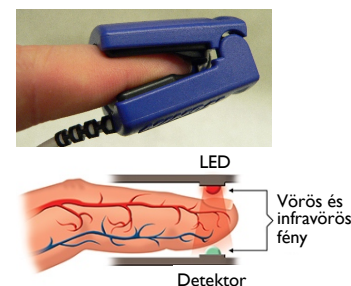


- **Spektrum:** intenzitás (vagy származtatott mennyiségek, pl. OD) a fotonenergia (vagy származtatott mennyiségek, pl. frekvencia, hullámhossz) függvényében.
- **Spektroszkópia:** a spektrum kvalitatív elemzése.
- **Spektrometria, spektrofotometria:** a spektrum kvantitatív elemzése.
- **Alkalmazások:** kémiai szerkezetvizsgálat, koncentrációmérés, stb.

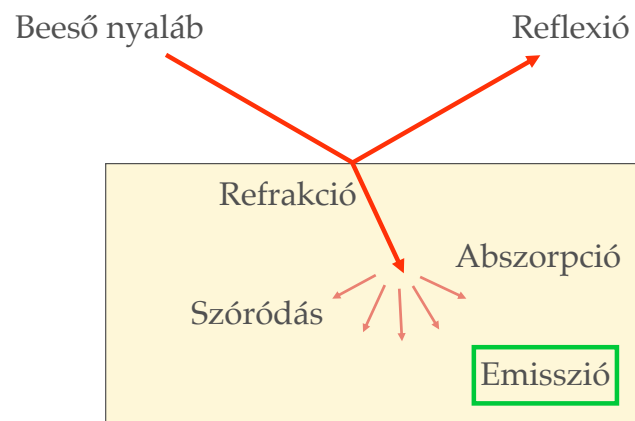
# PULZOXIMETRIA

Az oxigen szaturáció („telítettség”,  $SO_2$ ) noninvaszív mérése

- $O_2$ -t szállító HgB %-os részarányának mérése
- Az artériás oxigénszaturációt ( $SO_2$ ) a perifériásból ( $SpO_2$ ) becsüljük
- Normálérték: 95-99%
- Abszorpciós aránymérés (vörös/infravörös)



# FÉNY KÖLCSÖNHATÁSA AZ ANYAGGAL



# OMHV



<http://report.semmelweis.hu/linkreport.php?qr=H3UD6TANA7Q8FQ39>

pin: HP7