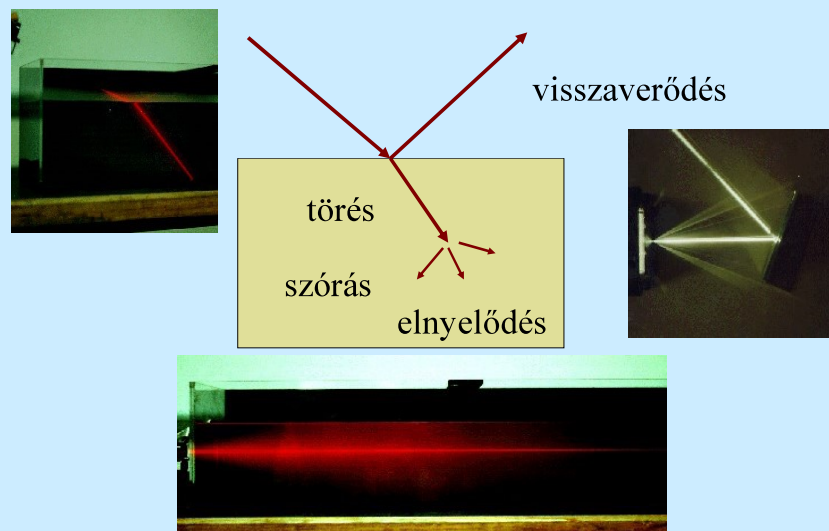


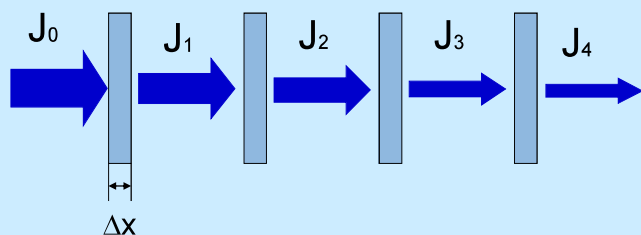
## Az elektromágneses sugárzás kölcsönhatása az anyaggal

### A fény kölcsönhatása az anyaggal 2.

## A fény kölcsönhatása az anyaggal



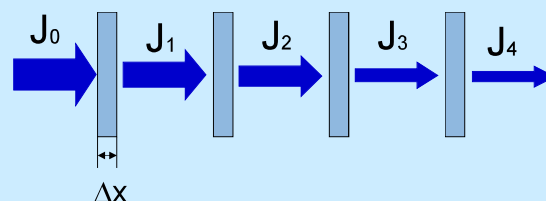
## Elnyelődés



A közegen áthaladó sugárzás intenzitása csökken

## Az intezitás gyengülésének törvénye

$$\Delta J = J_0 - J_1 = J_1 - J_2 = \dots$$



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

**Differenciális alak**

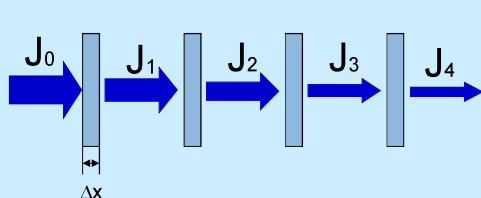
$J$  : a közegbe belépő sugárzás intenzitása [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]

$\Delta J$  : az intenzitás megváltozása  $\Delta x$  rétegen  
való áthaladáskor

$\mu$  : gyengítési állandó [ $1/\text{m}$ ]

A közegen áthaladó sugárzás intenzitásának megváltozása  
arányos a közegbe belépő intenzitással

## Az intezitás gyengülésének törvénye

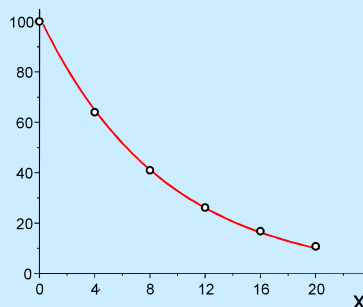


$$\frac{\Delta J}{\Delta x} = -\mu \times J$$

megoldása

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

**Integrált alak**



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

A közegen áthaladó sugárzás intenzitása a rétegvastagság exponenciális függvénye

$J_0$ : a rétegbe belépő intenzitás [ $\text{W/m}^2$ ]

$J$ : intenzitás  $x$  [m] rétegvastagság után

$\mu$ : gyengítési állandó [ $1/\text{m}$ ]

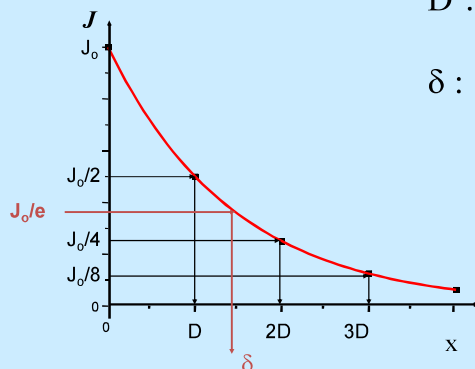
A gyengítési állandó függ: a foton energiájától  
az abszorbens anyagi minőségétől  
az abszorbens sűrűségétől

## Grafikus megoldás

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

$D$  : felező rétegvastagság

$\delta$  :  $e$ -edelő rétegvastagság



Mind a kettő  
-jellemző az adott sugárzás és az  
adott anyag kölcsönhatására  
-függ a sugárzás frekvenciájától,  
az abszorbens anyagi minőségétől  
és aktuális sűrűségétől

## A gyengítési állandó definíciója

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

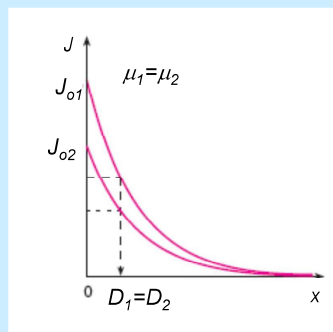
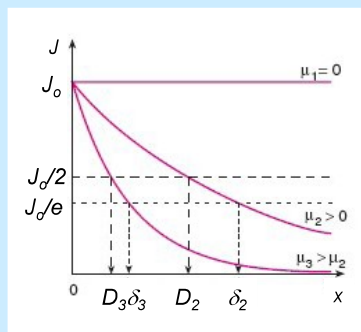
Ha  $x = D \longrightarrow J_0 / 2 = J_0 e^{-\mu D}$

$$\mu = \frac{\ln 2}{D} = \frac{0.693}{D}$$

Ha  $x = \delta \longrightarrow J_0 / e = J_0 e^{-\mu \delta}$

$$\mu = \frac{1}{\delta}$$

$\mu$  függ mindazoktól a tényezőktől, amelyektől  $D$  és  $\delta$ .



Az izom gyengítési együtthatója a CO<sub>2</sub> lézer hullámhosszán 800 cm<sup>-1</sup>. Milyen vastag szövetréteg nyeli el a beérkező fényintenzitás 90 %-át?

$$\mu = 800 \text{ cm}^{-1}$$

$$J_0 = 100\%$$

$$J = 100\% - 90\% = 10\%$$

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

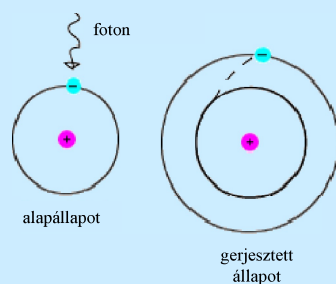
$$10 = 100 e^{-800x}$$

$$\lg 10 = 800 \cdot x \cdot \lg e$$

$$x = 2.9 \cdot 10^{-3} \text{ cm}$$

## A fényabszorpció mechanizmusa

(Ismétlés: atomszerkezet)

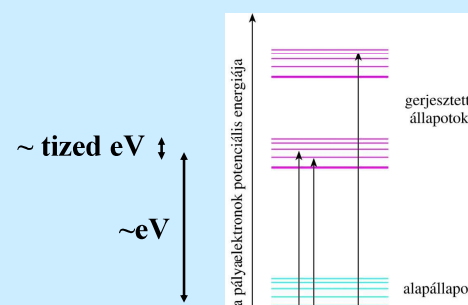


$$hf = \Delta E = E_{n+1} - E_n$$

$$E_{\text{VIS}} = 1.6 - 3.1 \text{ eV}$$

külső héjon lévő elektronok gerjesztési energiáját fedezheti

## Molekula pályaelektronok energiaállapotai a rezgési szintekkel



Egy adott molekula különböző, egymáshoz „közeli” energiával rendelkező fotonokat is képes elnyelni

*A gerjesztett elektronok további sorsára még visszatérünk*

## 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*

Abszorbancia  
v.  
Optikai densitás

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

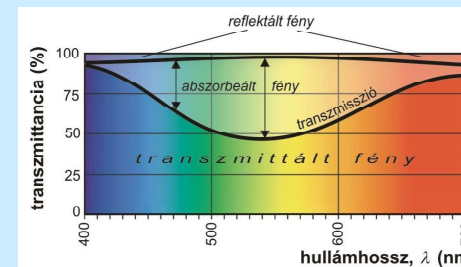
moláris koncentráció

Abszorbancia  
v.  
Optikai densitás

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

Transzmisszió

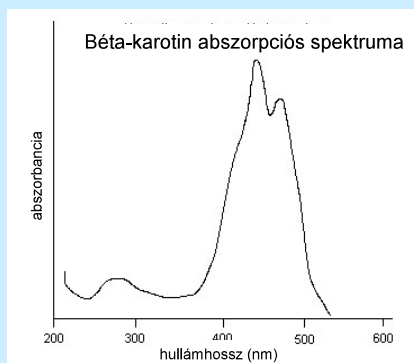
$$\tau = \frac{J_{\text{transmittált}}}{J_{\text{beeső}}}$$



Vörös színű üveg spektrumi

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

Abszorbancia – függ a hullámhossztól



**Abszorpciós spektrum:**

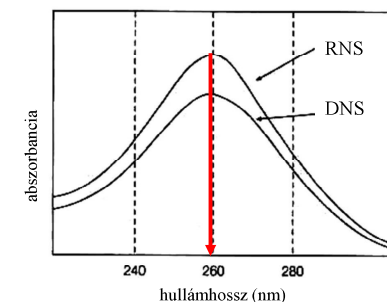
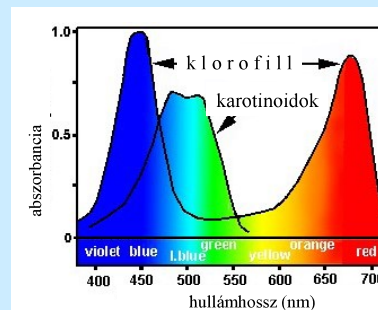
az abszorbancia a hullámhossz  
függvényében

“Sávos” spektrum

*Elhelyezkedése, alakja jellemző az  
elnyelő anyag elektronszerkezetére*

Biológiailag fontos molekulák

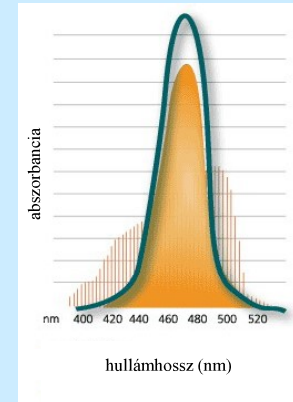
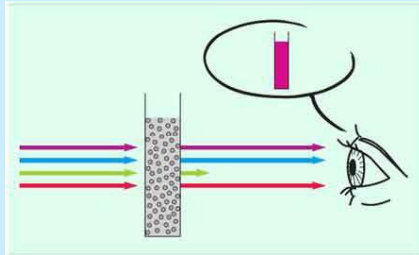
abszorpciós spektruma



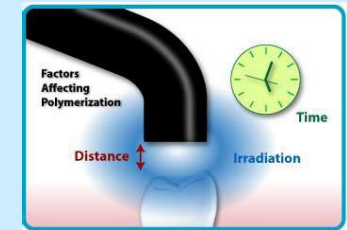
# Abszorpció és szín

## Komplementer színek

Wavelength [nm]	Absorbed color	Complementary color
650-780	red	blue-green
595-650	orange	greenish blue
560-595	yellow-green	purple
500-560	green	red-purple
490-500	bluish green	red
480-490	greenish blue	orange
435-480	blue	yellow
380-435	violet	yellow-green



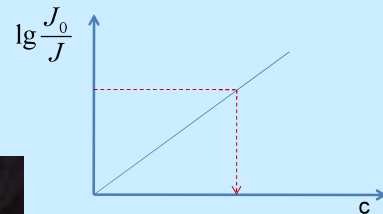
Példa a fogászati alkalmazásra



Kámfor-kinon  
fényabszorpció hatására keményedő fogászati kötőanyag

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

Az abszorbania – híg oldatok esetén –  
egyenesen arányos a koncentrációval



Abszorbania mérése koncentráció  
meghatározását teszi lehetővé

## Visszaverődés

diffúz visszaverődés



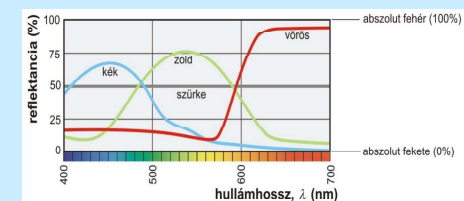
reflexiós tényező vagy reflektancia  
spektrális reflektancia

$$\rho(\lambda) = \frac{J_{\text{reflektált}}}{J_{\text{beeső}}}$$

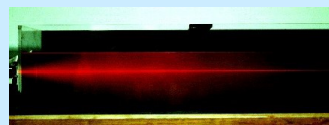
$$\rho = \left( \frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2$$



reflexiós spektrum



# Szóródás



Spektrális szóródási tényező

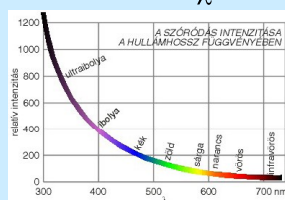
$$\sigma(\lambda) = \frac{J_{szórt}}{J_{beeső}}$$

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

Rayleigh-szóródás

$$d \ll \lambda$$

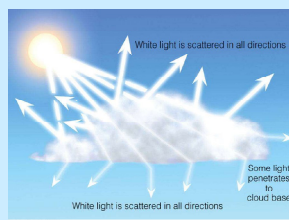
$$\sigma(\lambda) \sim \frac{d^6}{\lambda^4}$$



$$d \geq \lambda$$

Mie-szóródás

$\sigma$  független  $\lambda$



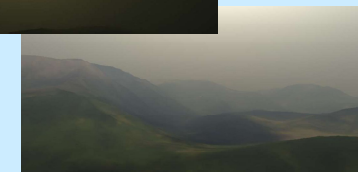
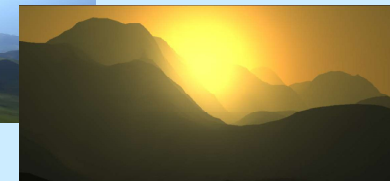
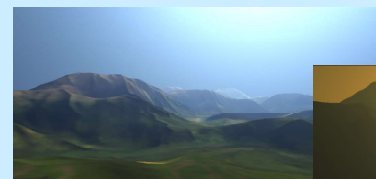
# Szóródás

Rayleigh-szóródás

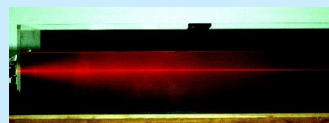
$$d \ll \lambda$$

Mie-szóródás

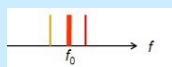
$$d \geq \lambda$$



# Szóródás



Rugalmatlan szóródás:  $\lambda$ ,  $f$ ,  $\epsilon$  változik



Raman-szóródás



**Sir Chandrasekhara Venkata Raman**

Fizikai Nobel-díj 1930

a fényszórással kapcsolatos munkájáért és a róla elnevezett hatás felfedezéséért

Fény és anyag közötti energiaátadás

# A szín kialakulása

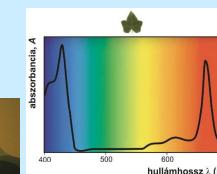
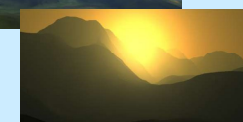
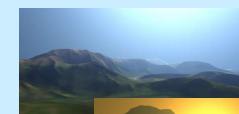
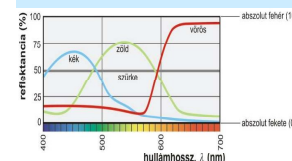
Komplex folyamat

Visszaverődés

Szóródás

Elnyelődés

$$\rho(\lambda) + \sigma(\lambda) + \alpha(\lambda) = 1$$



Pl. vörös reflexió

↓  
vörös

Befolyásolja a fényforrás és szemlélő relatív helyzete, szóró részecskék mérete stb.

Pl. vörös abszorpció

↓  
átmenő fényben zöld

*A hét kérdése:*

**Grafikus úton** határozza meg, hogy a bemutatott kísérletben hány darab fólia adja a felezési rétegvastagságot! (Az eredmény lehet nem egész szám is.)

Kapcsolódó fejezetek:

*Damjanovich, Fidy, Szöllősi: Orvosi Biofizika*

II. 1.1.

1.1.1

1.1.3

II. 2. 1.

2.1.1

2.1.2

2.1.3

2.1.4

2.1.5

2.1.8

VI.3

3.1.1

3.1.2