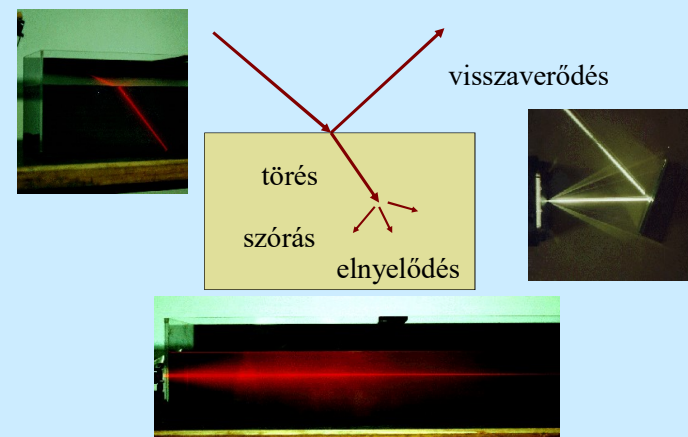


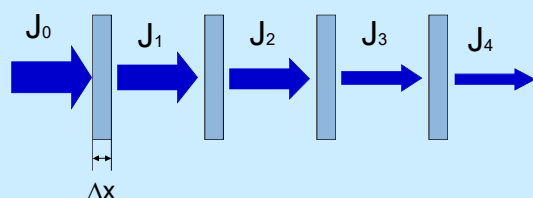
## Az elektromágneses sugárzás kölcsönhatása az anyaggal

A fény kölcsönhatása az anyaggal  
2.

## A fény kölcsönhatása az anyaggal



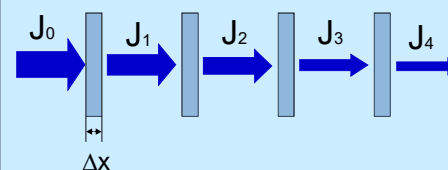
## Elnyelődés



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

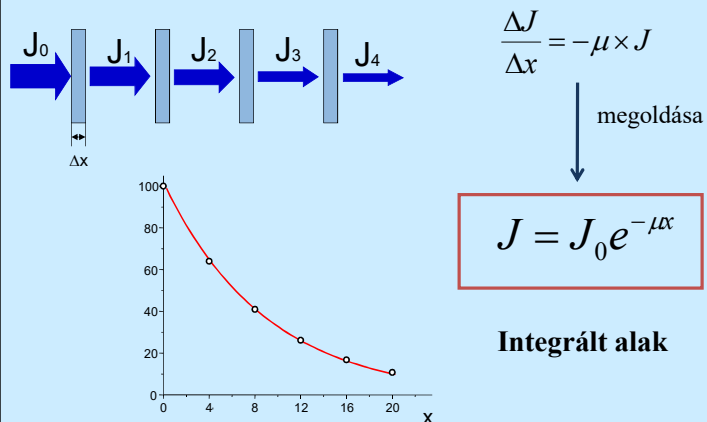
$J$  : a közegbe belépő sugárzás intenzitása [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]

$\Delta J$  : 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



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

A közegen áthaladó sugárzás intenzitása a rétegvastagság exponenciális függvénye

$J_0$ : a rétegbe belépő intenzitás [W/m<sup>2</sup>]

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

$\mu$ : gyengítési állandó [1/m]

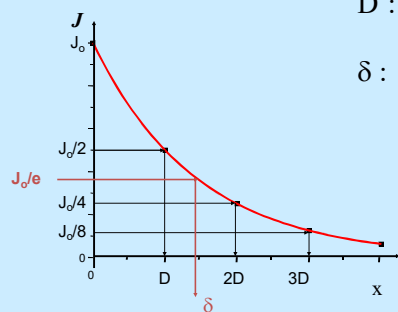
A gyengítési állandó függ: a foton energiájától  
az abszorbens anyagi minőségétől  
az abszorbens sűrűségétől

### 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

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

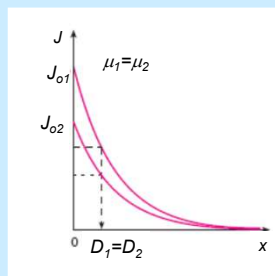
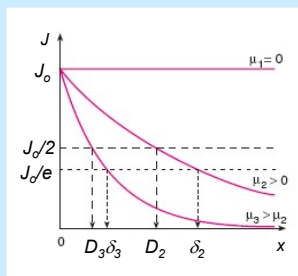
Ha  $x = D \longrightarrow J_0 / 2 = J_0 e^{-\mu D}$

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

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  $\text{CO}_2$  lézer hullámhosszán  $800 \text{ cm}^{-1}$ . Milyen vastag szövetréteg nyeli el a beérkező fényintenzitás 90 %-át?

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

$$J_0 = 100\%$$

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

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

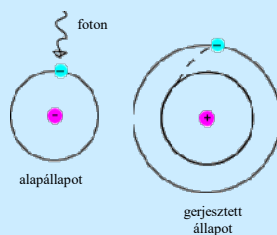
$$10 = 100 e^{-800x}$$

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

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

## A fényabszorpció mechanizmusa

(Ismétlés: atomszerkezet)

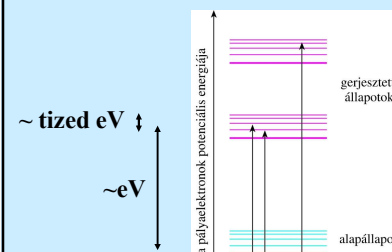


$$hf = \Delta E = E_{n+1} - E_n$$

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

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*

Abszorbania  
v. Optikai denzitas

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

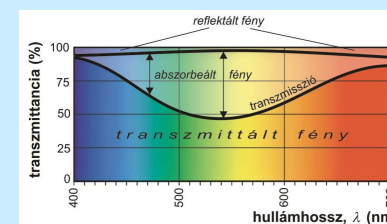
moláris koncentráció

Abszorbania  
v.  
Optikai denzitas

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

Transzmisszió

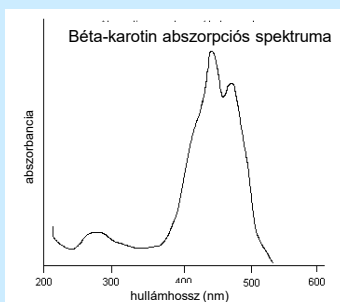
$$\tau = \frac{J_{\text{transmittált}}}{J_{\text{beeső}}}$$



Vörös színű üveg spektrumai

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

Abszorbania – függ a hullámhossztól



Béta-karotin abszorpció spektruma

**Abszorpció spektrum:**

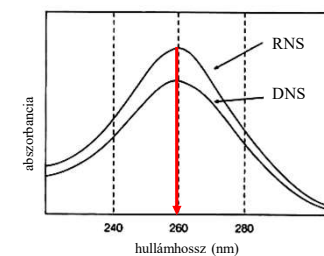
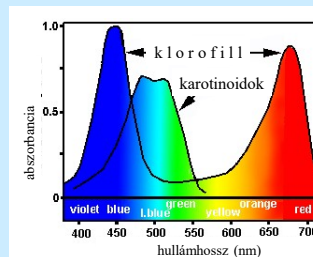
az abszorbania a hullámhossz  
függvényében

“Sávos” spektrum

Elhelyezkedése, alakja jellemző az  
elnyelő anyag elektronszerkezetére

## Biológiailag fontos molekulák

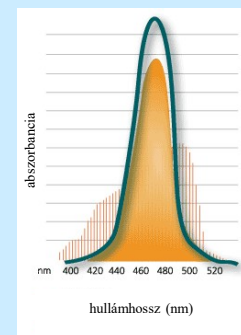
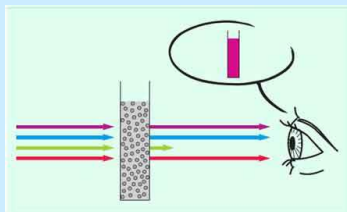
abszorpció spektruma



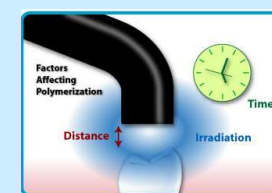
## Abszorpció és szín

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



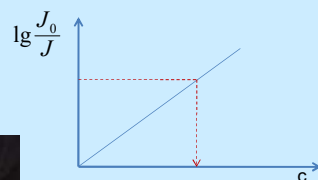
Példa a fogászati alkalmazásra



Kámfor-kinon  
fényabszorpció hatására keményedő fogászati kötőanyag

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

Az abszorbancia – híg oldatok esetén –  
egyenesen arányos a koncentrációval



Abszorbancia mérése koncentráció  
meghatározását teszi lehetővé

## Viisszaverődés

diffúz visszaverődés



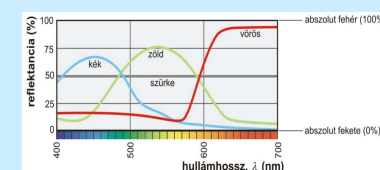
reflexiós tényező vagy reflektancia  
spektrális reflektancia

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

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



reflexiós spektrum



## Szóródás

Spektrális szóródási tényező

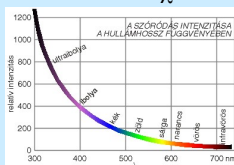
$$\sigma(\lambda) = \frac{J_{\text{szórt}}}{J_{\text{beeső}}}$$

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

Rayleigh-szóródás

$$d \ll \lambda$$

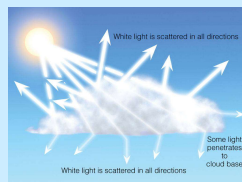
$$\sigma(\lambda) \sim \frac{d^6}{\lambda^4}$$



Mie-szóródás

$$d \geq \lambda$$

$\sigma$  független  $\lambda$



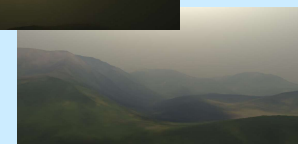
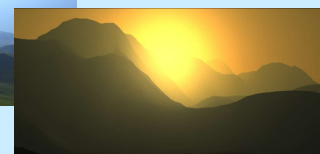
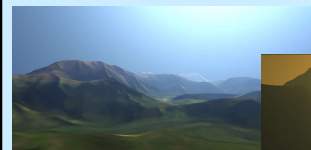
## Szóródás

Rayleigh-szóródás

$$d \ll \lambda$$

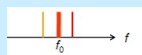
Mie-szóródás

$$d \geq \lambda$$



## Szóródás

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



Raman-szóródás

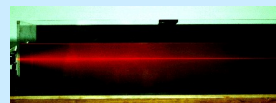


**Sir Chandrasekhara Venkata Raman**

Fizikai Nobel-díj 1930

a fényszórással kapcsolatos munkájáért és a róla elnevezett hatás felfedezéséért

Fény és anyag közötti energiaátadás



## A szín kialakulása

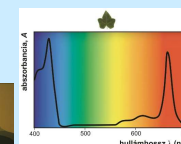
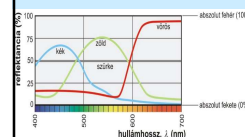
Komplex folyamat

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

### Ellenőrző kérdések

gyengítési törvény - differenciális és integrális alak  
 gyengítési együttható – definíció, az értéket befolyásoló tényezők  
 a fény elnyelődésének mechanizmusa  
 Lambert-Beer törvény  
 abszorbancia  
 abszorpciós spektrum  
 az abszorbancia mérése  
 fényvisszaverődés  
 fényszórás és típusai

### 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