

# A fény kölcsönhatásai 2.

A fény elnyelődése és szóródása

2020. 10. 05.

*Liliom Károly*

# A fény kölcsönhatása az anyaggal

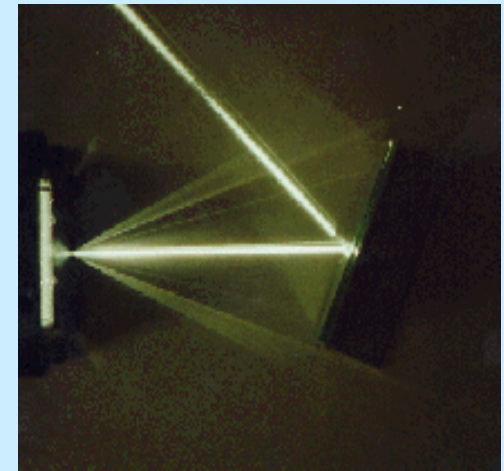
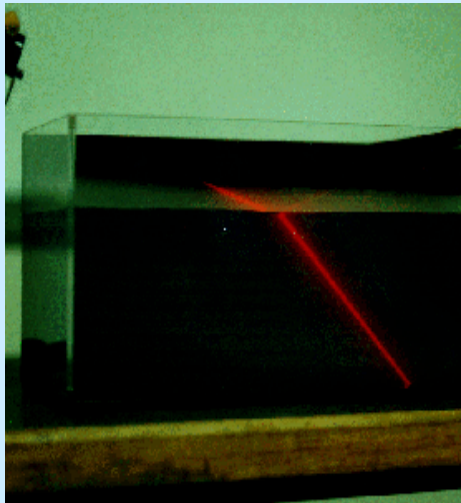
beeső fénysugár

visszaverődés

fénytörés

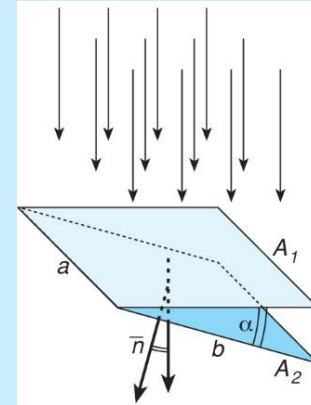
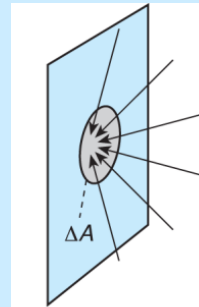
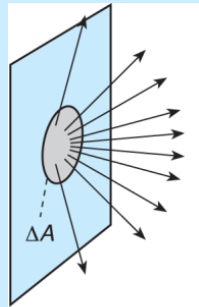
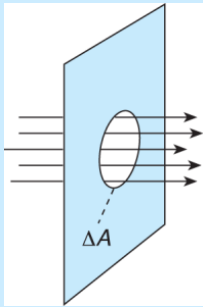
szóródás

elnyelődés



# Fényintenzitás

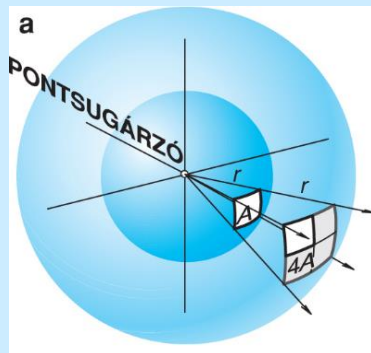
(a fény sugárzás, amelyben energia áramlik)



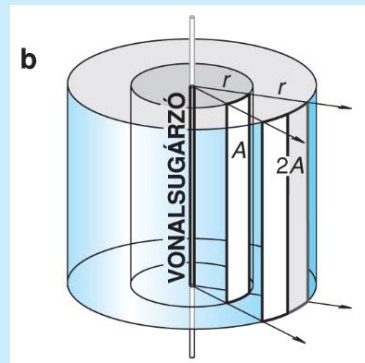
Energia-áram erőssége:  $I_E = \Delta E / \Delta t$  [W]

Intenzitás = energia-áram sűrűsége:  $J = \Delta I_E / \Delta A$  [W/m<sup>2</sup>]

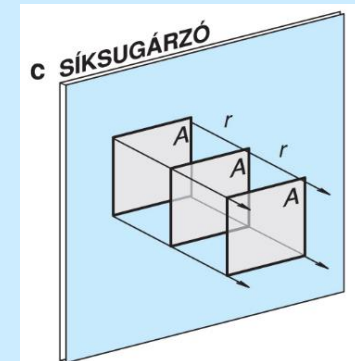
(a sugárzásra merőleges irányban egységnyi felületen egységnyi idő alatt átáramló energia mennyisége)



$$J \sim 1/r^2$$

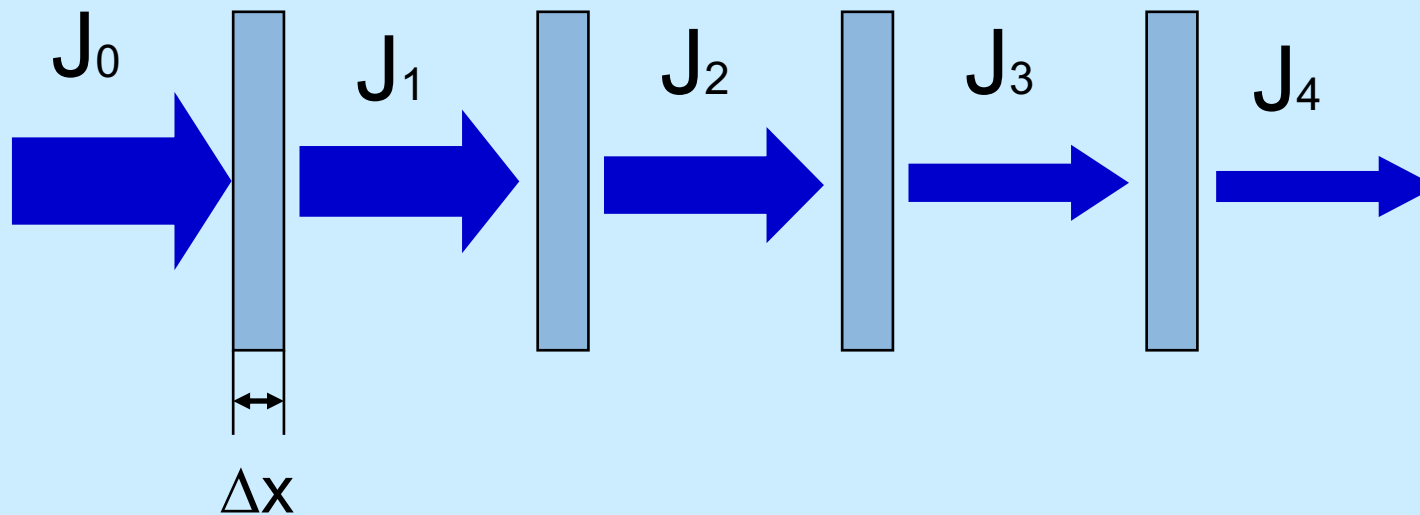
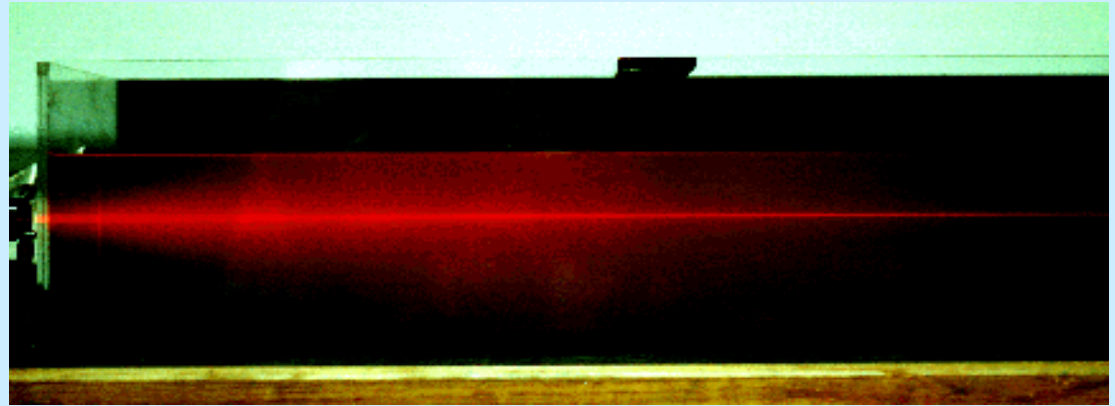


$$J \sim 1/r$$



$$J \sim \text{állandó}$$

# A fény elnyelődése

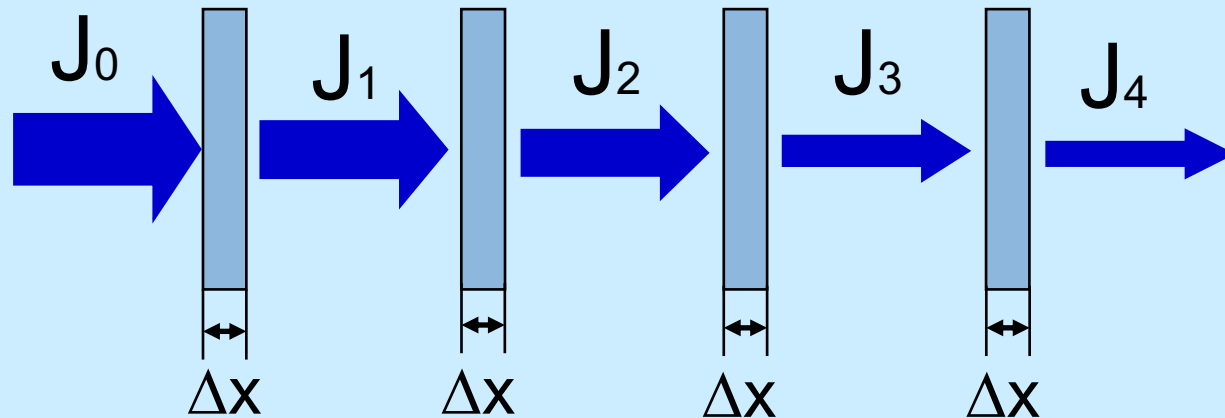


A közegen áthaladó sugárzás intenzitása csökken.



# 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**

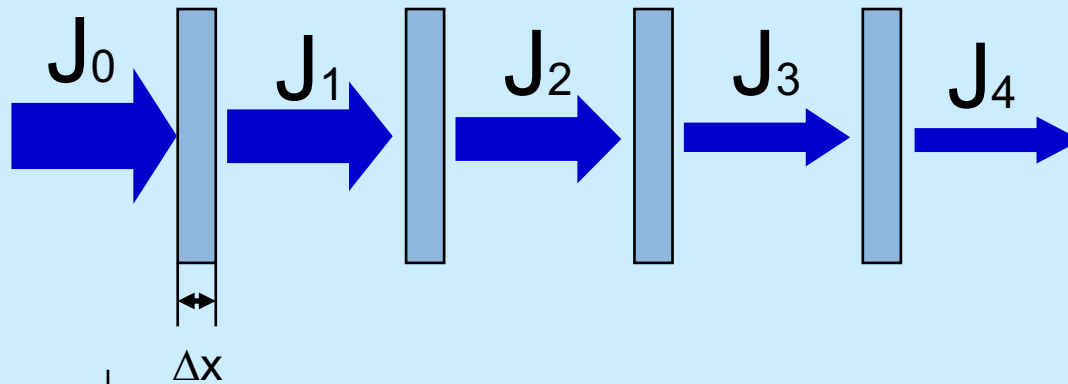
$J_i$  : a közegbe belépő sugárzás intenzitása [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]

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

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

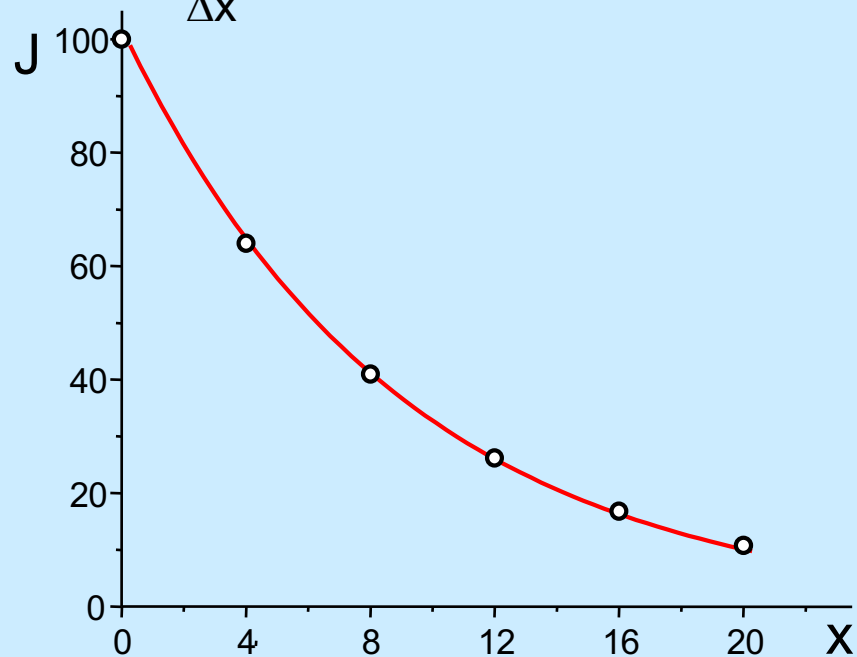
A közegen áthaladó sugárzás intenzitásának megváltozása  
arányos a közegbe belépő intenzitással

# Az intezitás gyengülésének törvénye



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

az egyenlet  
megoldása



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

**Integrális alak**

$e$  = Euler szám = 2,71828...

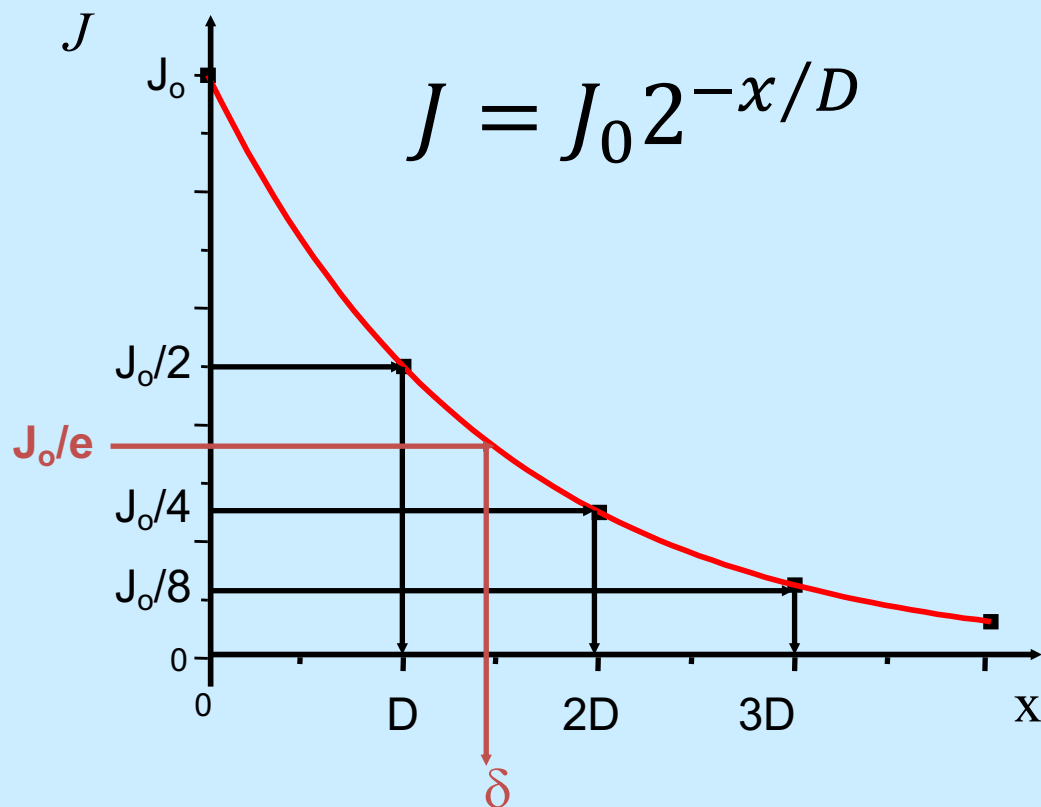


# Gyengülési törvény szemléltetése

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

D: felező rétegvastagság

$\delta$ : e-edelő rétegvastagság



Mind D és  $\delta$

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

# A gyengítési állandó definíciója

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

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

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

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

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

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

*Példaszámolás:*

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?

$$J_0=100\%, \quad J=100\%-90\% =10\%, \quad \mu=800 \text{ cm}^{-1}$$

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

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

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

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

$$x = 29 \text{ } \mu\text{m}$$

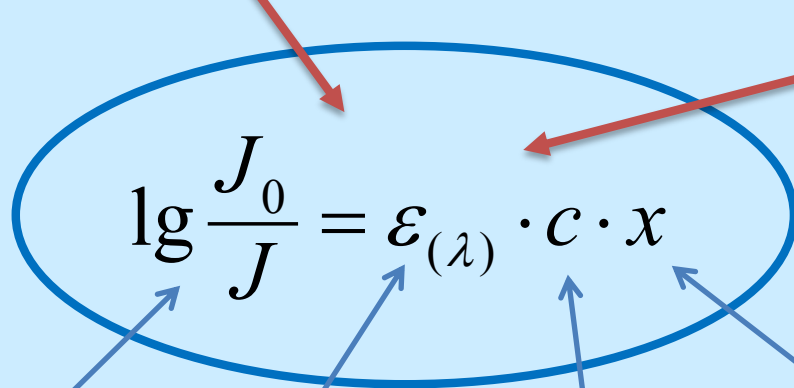
# A fényabszorpció gyakorlati alkalmazása

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

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

Híg oldatok esetén  $\mu$  arányos az oldat koncentrációjával:

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


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

*Lambert – Beer törvény*

Abszorbancia

rétegvastagság (általában 1 cm)

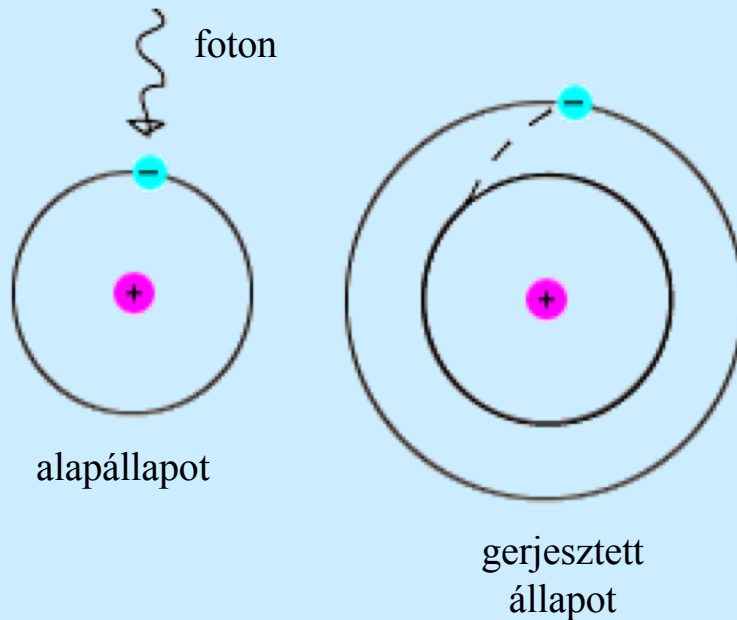
moláris koncentráció [mol/l]

moláris extinkciós együttható  
[l mol<sup>-1</sup>cm<sup>-1</sup>]

Transzmissziós tényező,  $T = J/J_0 \cdot 100$  (%)  
Abszorbancia, ill. optikai denzitás,  $A = OD = \lg J_0/J$

# A fényabszorpció mechanizmusa

Atomokban, molekulákban az elektronok energiája diszkrét értékeket vehet fel:



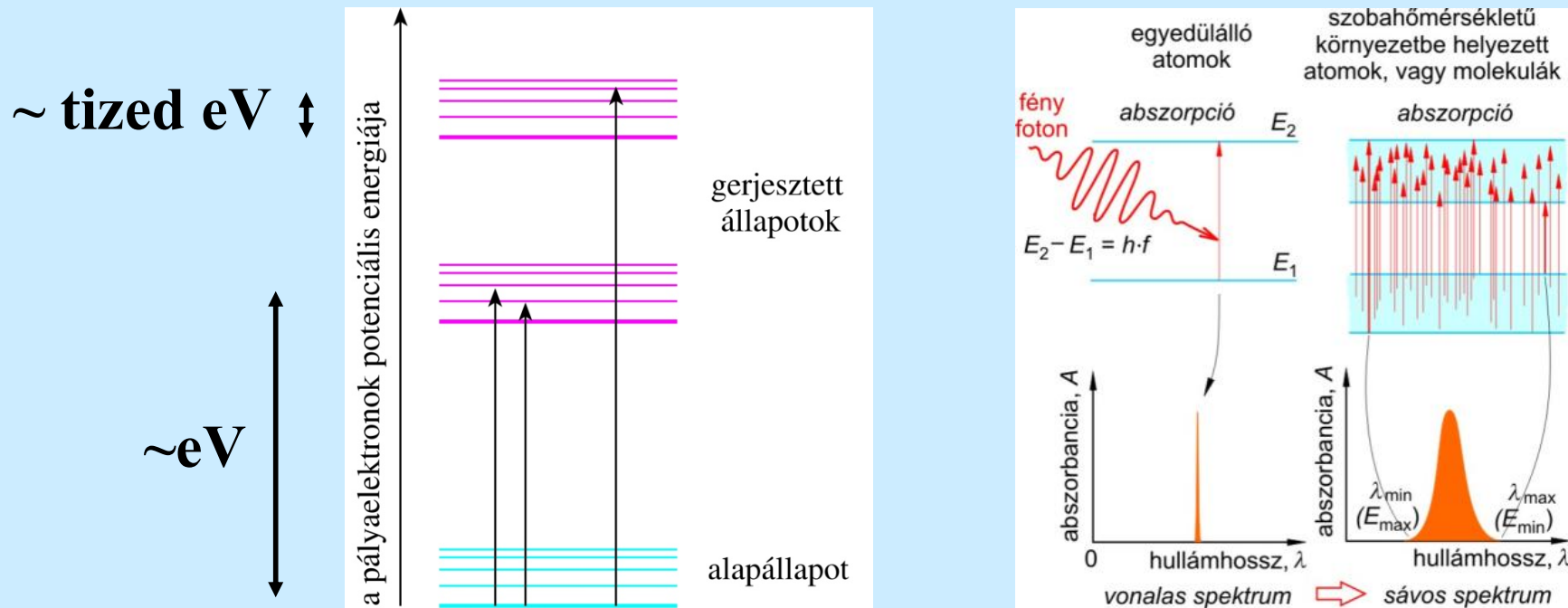
$$hf = \Delta E = E_{n+1} - E_n$$

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

külső héjon lévő elektronok gerjesztési energiáját fedezheti



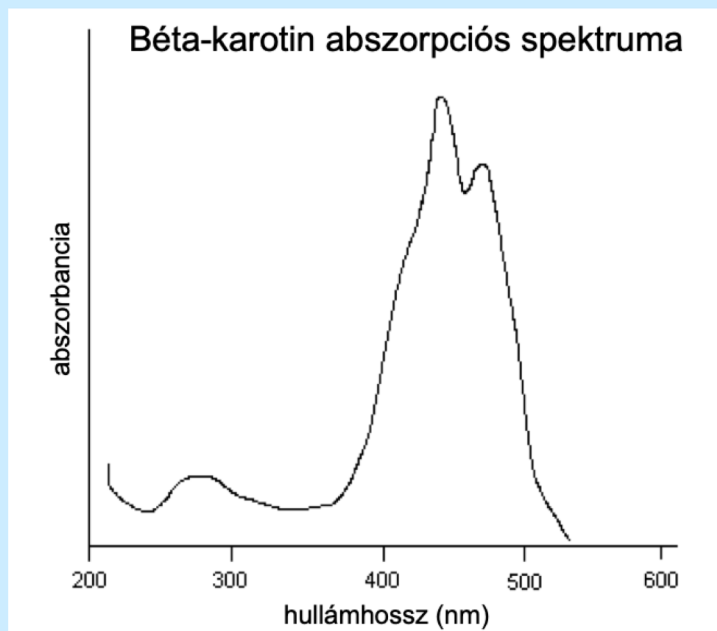
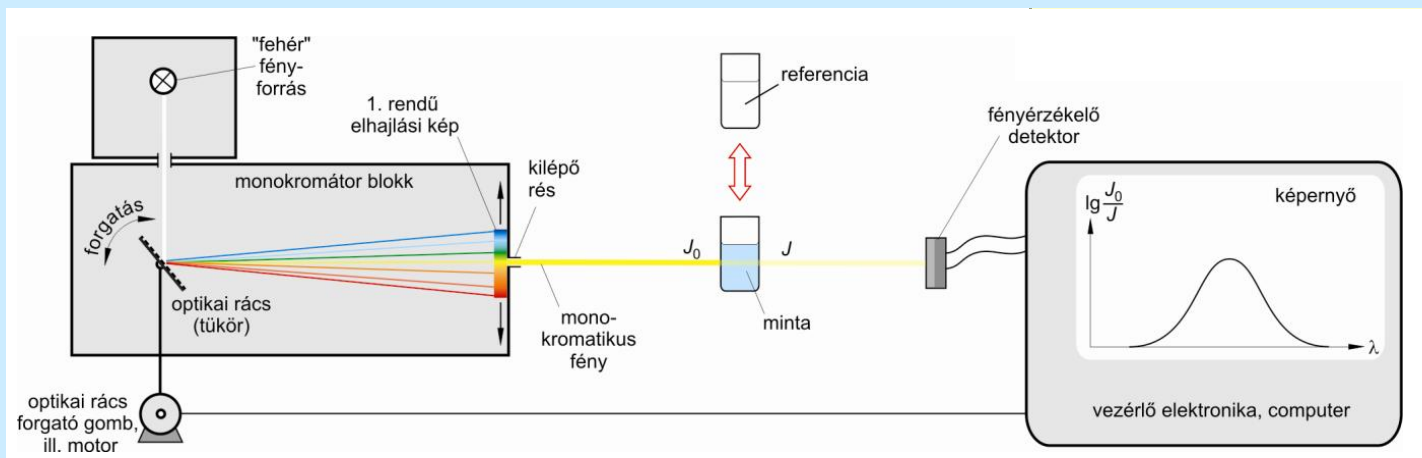
# Molekula energiaállapotai rezgési szintekkel:



Adott molekula különböző, egymáshoz „közeli”  
energiával rendelkező fotonokat is képes elnyelni  
→ sávos elnyelési spektrum

# Az abszorpciós spektrum

Az abszorbancia függ a hullámhossztól:  $A = \varepsilon_{(\lambda)} \cdot c \cdot x$

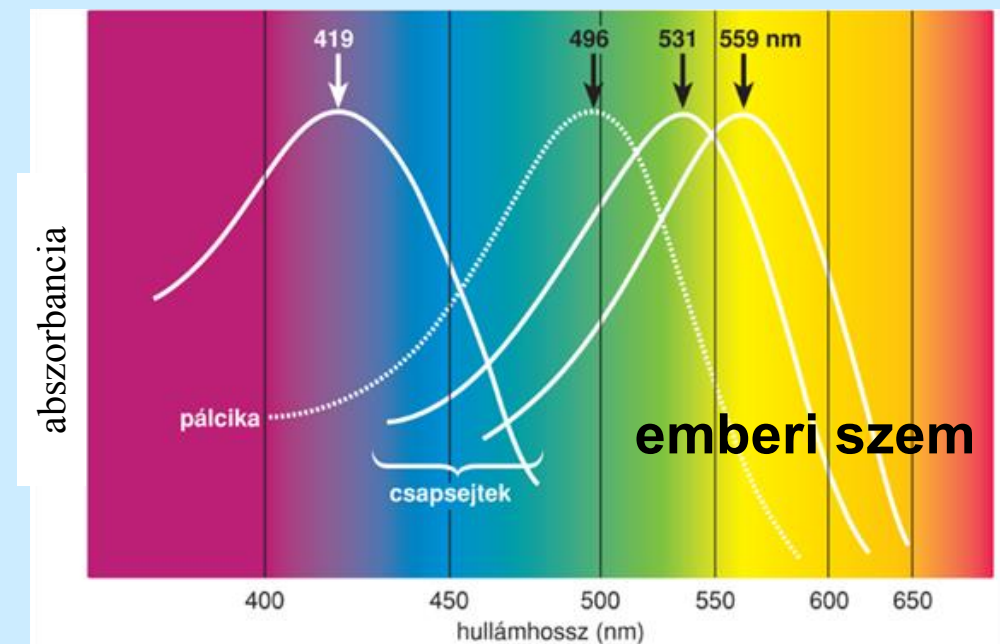
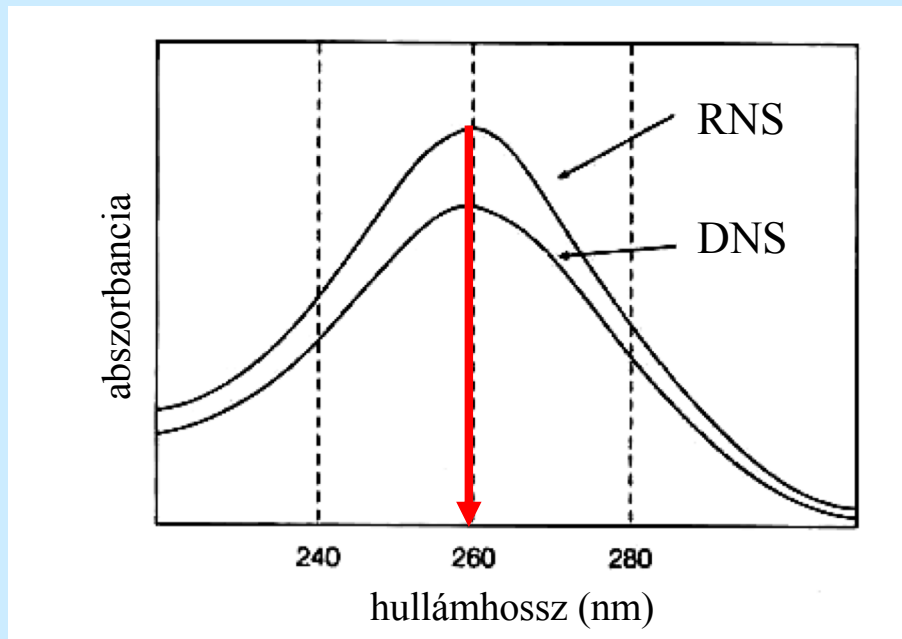
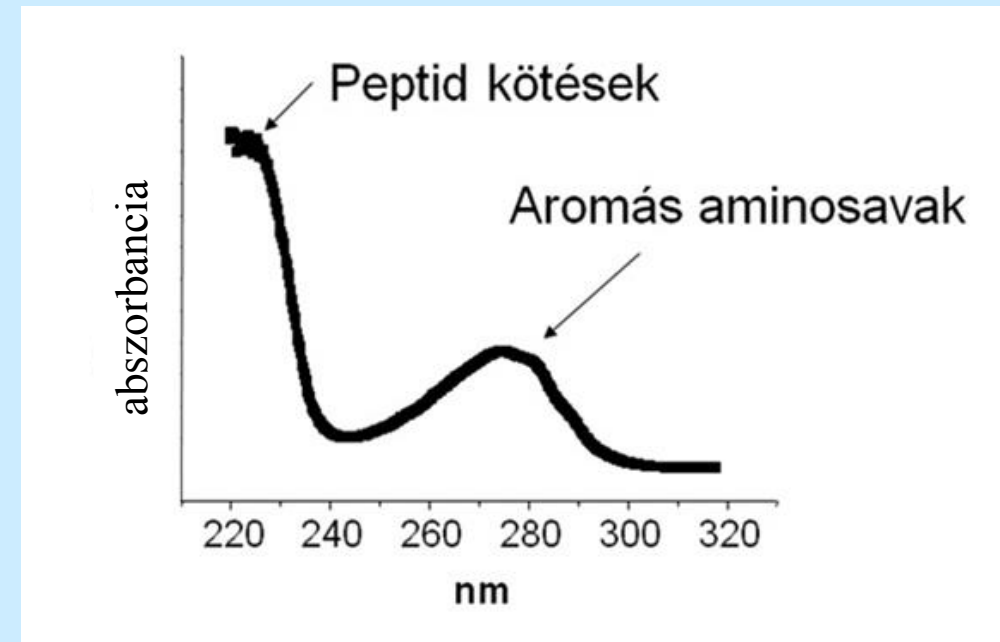
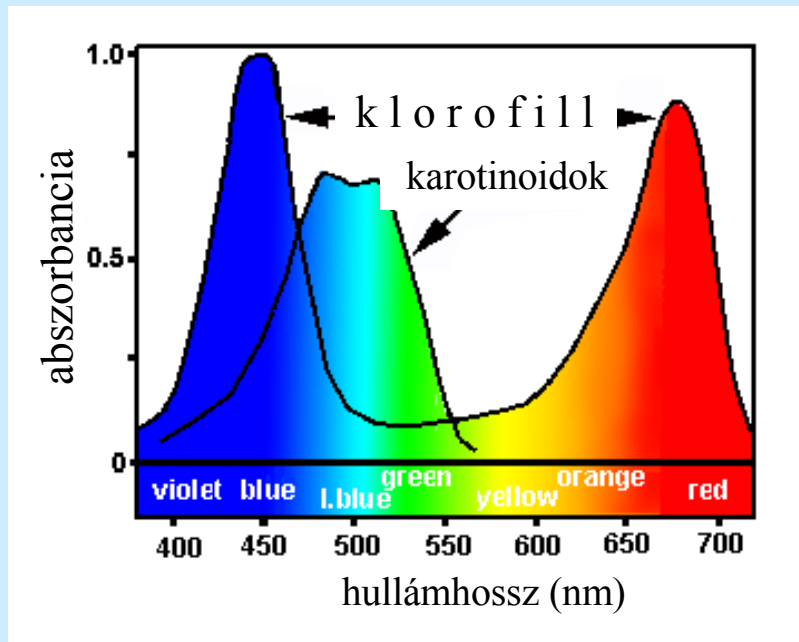


Az abszorbancia változása a hullámhossz függvényében az adott anyagra jellemző

→ **karakterisztikus spektrum**

(elhelyezkedése, alakja az anyag elektronszerkezetének függvénye)

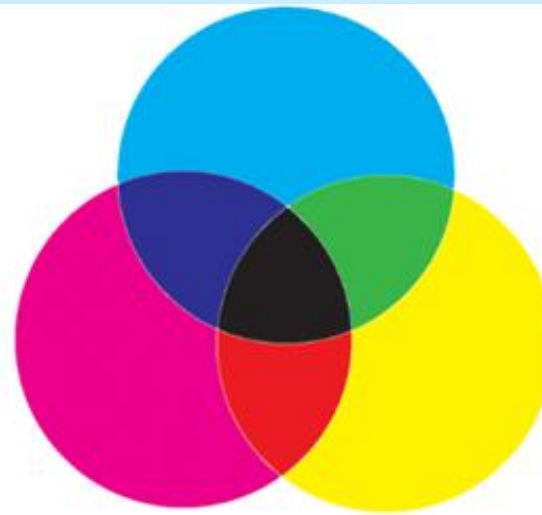
# Biológiailag fontos molekulák abszorpciós spektruma



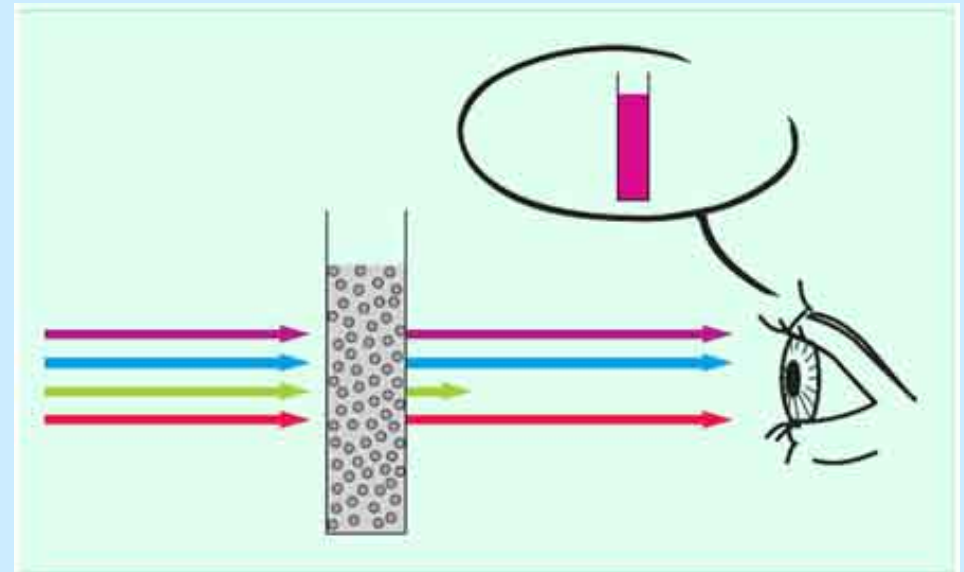
# Abszorpció és szín - komplementer színek



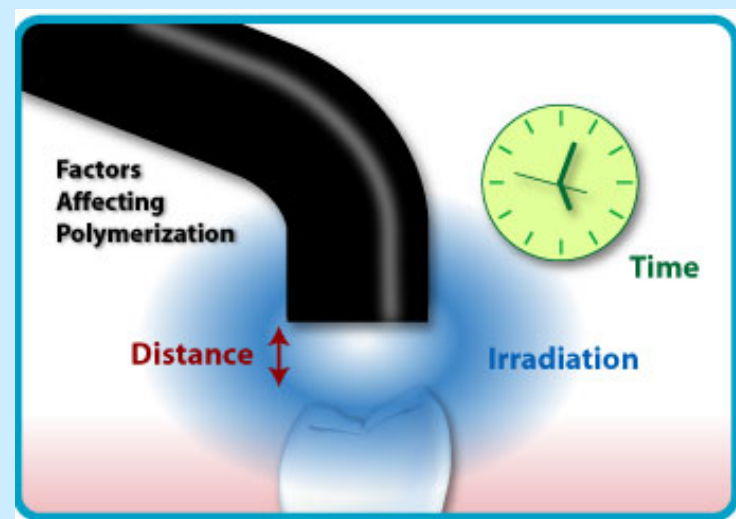
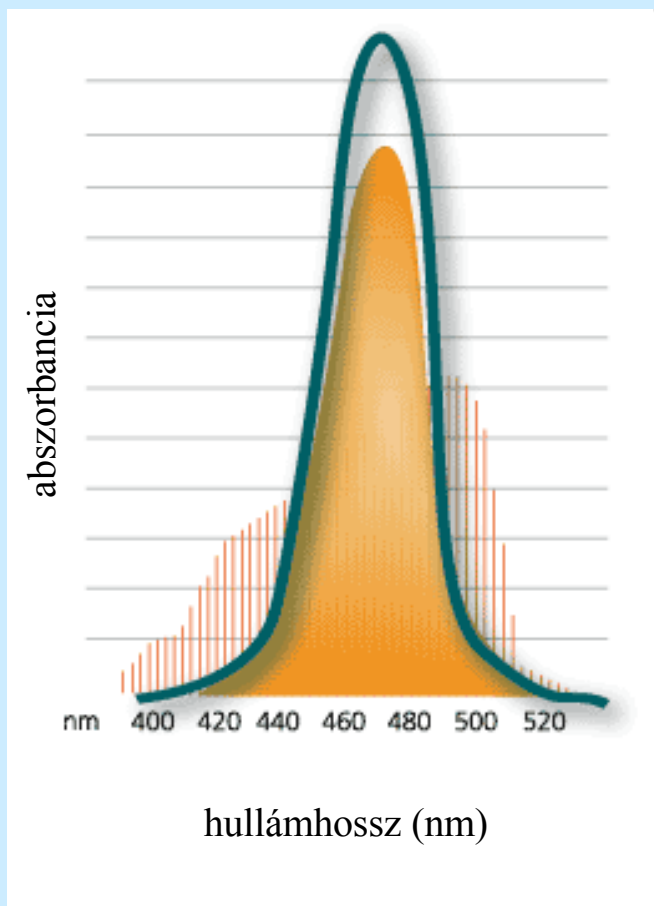
additív színkeverés



szubtraktív színkeverés



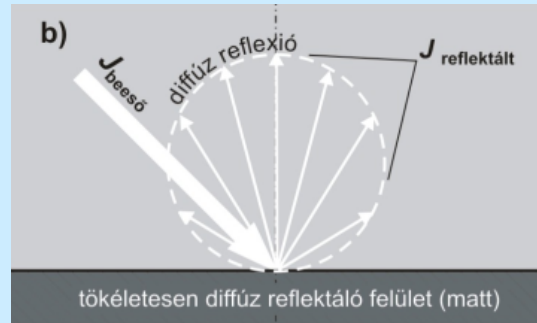
## Példa fogászati alkalmazásra



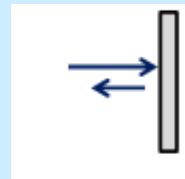
Kámfor-kinon  
fényabszorpció hatására keményedő fogászati kötőanyag

# A fény visszaverődése

diffúz visszaverődés

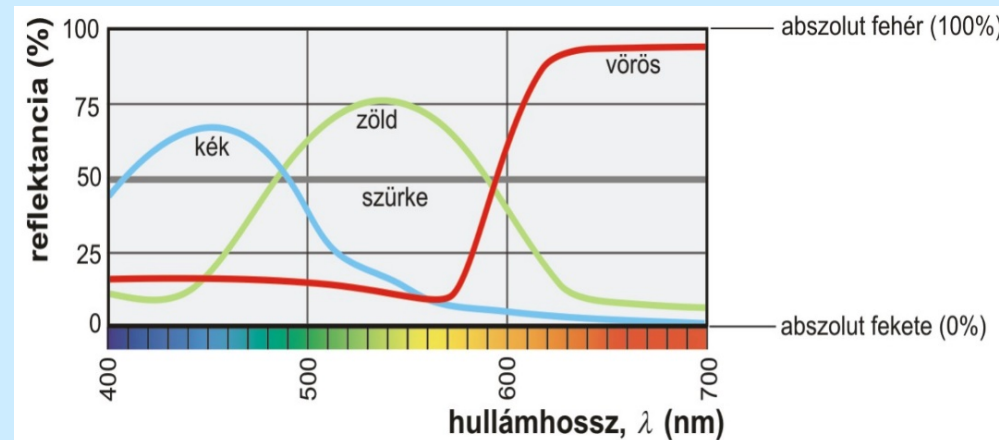


reflexiós tényező vagy reflektancia  
(hullámhosszfüggő)



$$\rho(\lambda) = \frac{J_{\text{reflektált}}}{J_{\text{beeső}}} \quad \rho = \left( \frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2$$

reflexiós spektrum





# Fényszóródás

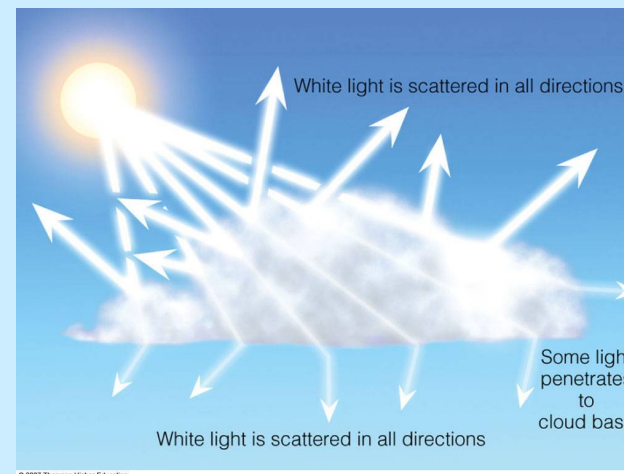
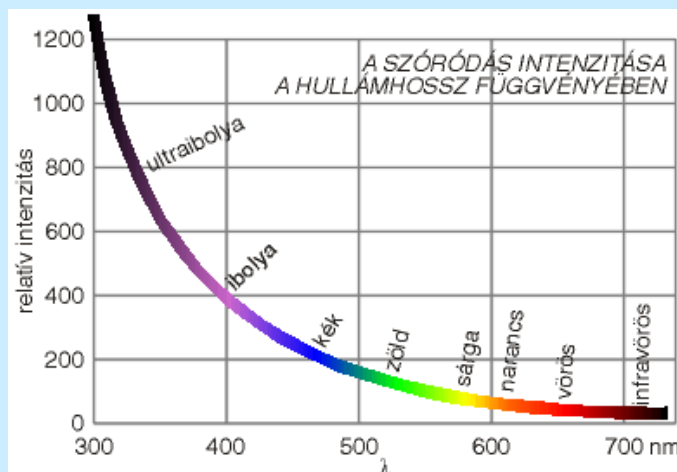


Spektrális szóródási tényező:  $\sigma(\lambda) = \frac{J_{szórt}}{J_{beeső}}$

Rugalmas szóródás: energia nem változik  $\rightarrow f, \lambda$  változatlan

$d \ll \lambda$   
Rayleigh-szóródás  
 $\sigma(\lambda) \sim \frac{d^6}{\lambda^4}$

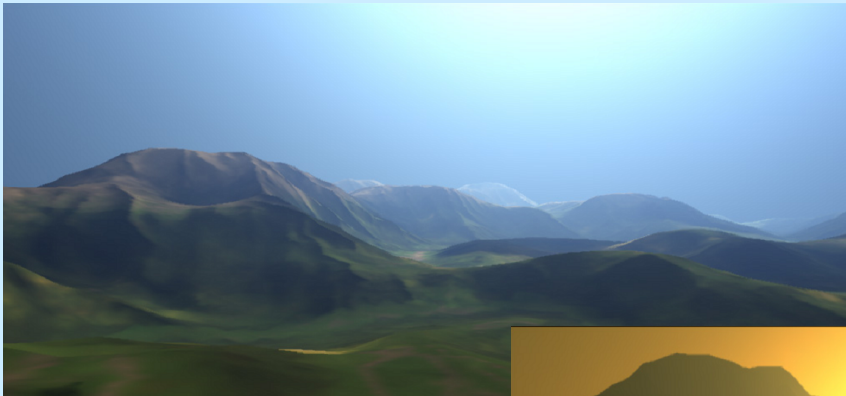
$d \geq \lambda$   
Mie-szóródás  
 $\sigma$  független  $\lambda$ -tól



# Fényszóródás

*Rayleigh-szóródás*

$$d \ll \lambda$$



*Mie-szóródás*

$$d \geq \lambda$$



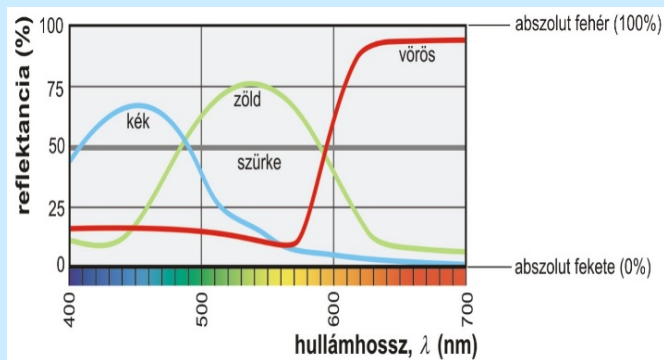


# A szín kialakulása

Komplex folyamat

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

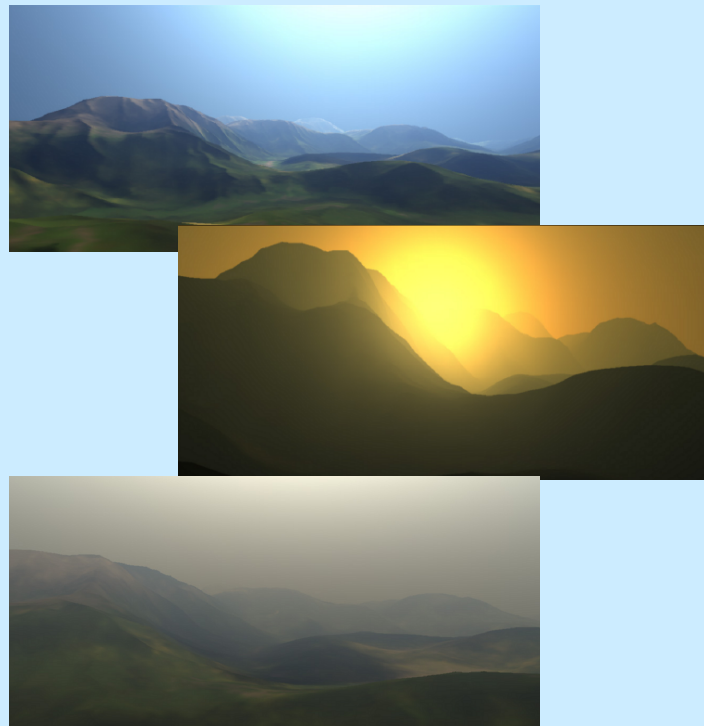
Visszaverődés



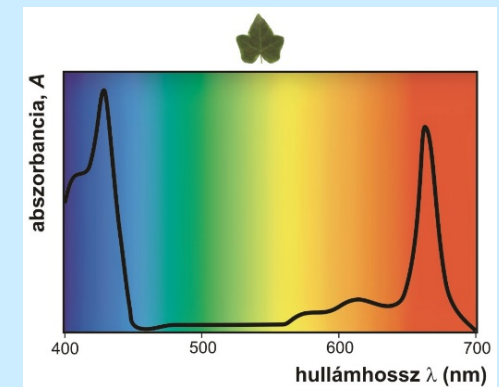
Pl. vörös reflexió

↓  
vörös

Szóródás



Elnyelődés



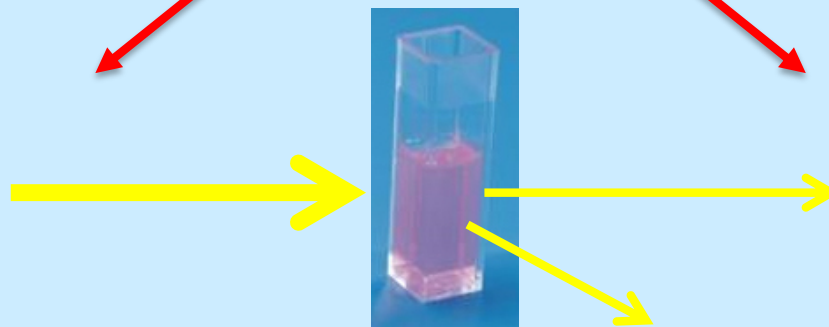
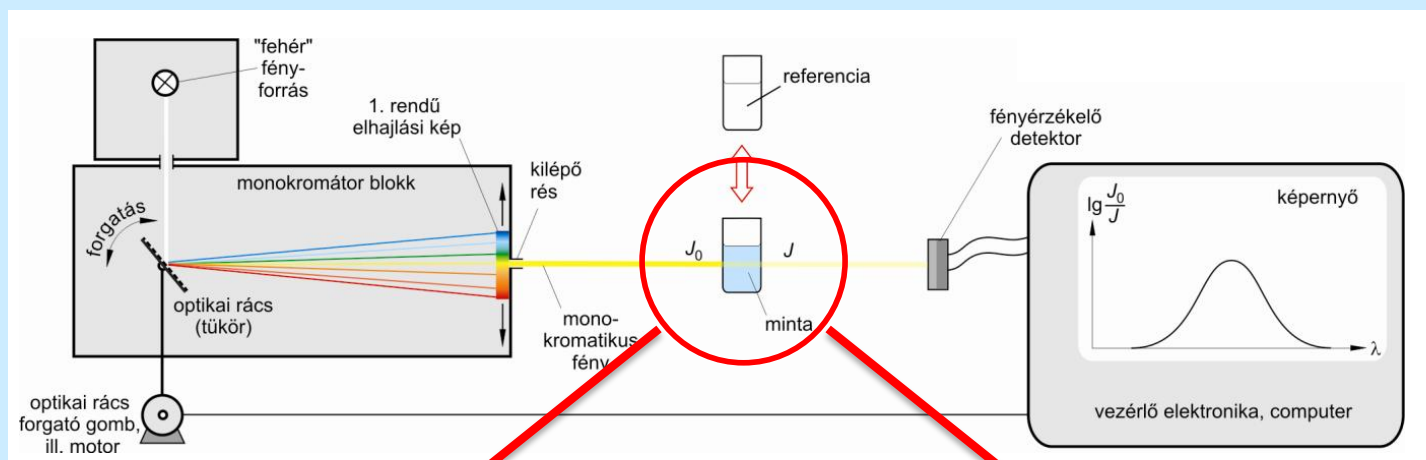
Pl. vörös abszorpció

↓  
zöld

# Extinkció

$$A = \varepsilon_{(\lambda)} \cdot c \cdot x$$

$\varepsilon_{(\lambda)}$ : moláris **extinkciós** együttható  
?

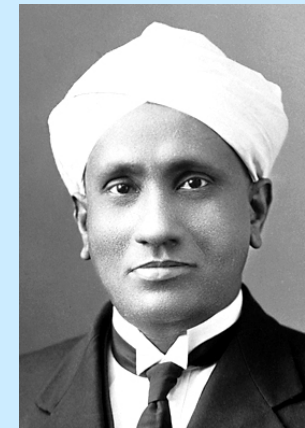
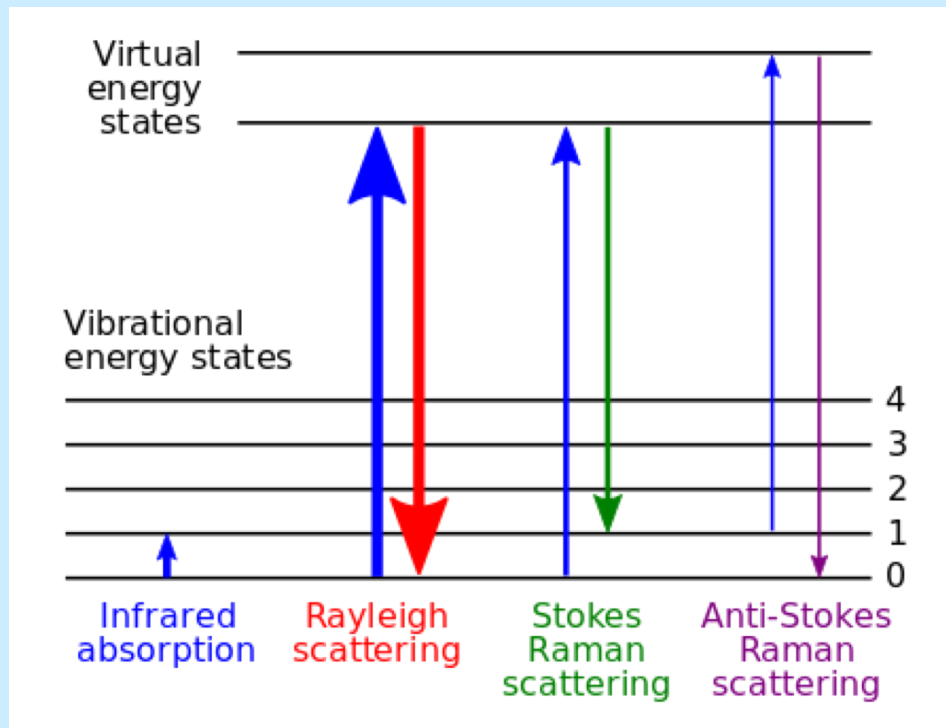


Extinkció: elnyelődés és szóródás együttes gyengítő hatása

# Raman szóródás

Fény és anyag közötti energiaátadás:

→ rugalmatlan szóródás:  $\lambda$ ,  $f$  változik!



**Sir Chandrasekhara Venkata Raman**

Fizikai Nobel-díj 1930

a fényszórással kapcsolatos munkájáért és a róla elnevezett hatás felfedezéséért

## Ellenőrző kérdések

gyengítési törvény - differenciális és integrális alak

gyengítési együttható – definíció, az értékét befolyásoló tényezők

a fény elnyelődésének mechanizmusa

Lambert-Beer törvény

abszorbancia

abszorpciós spektrum

az abszorbancia mérése

fényvisszaverődés

fényszórás és típusai

színek kialakulása

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