

Biofizika I

4. Fény és anyag kölcsönhatásai: szóródás, elnyelődés, visszaverődés, színlátás

Liliom Károly

2021. 09. 30.

liliom.karoly@med.semmelweis-univ.hu
karoly.liliom.mta@gmail.com

Fény és anyag kölcsönhatásai

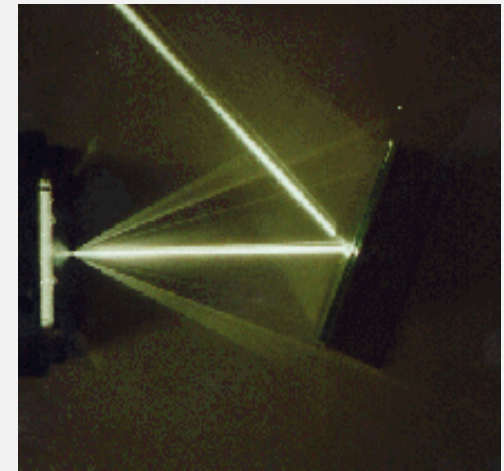
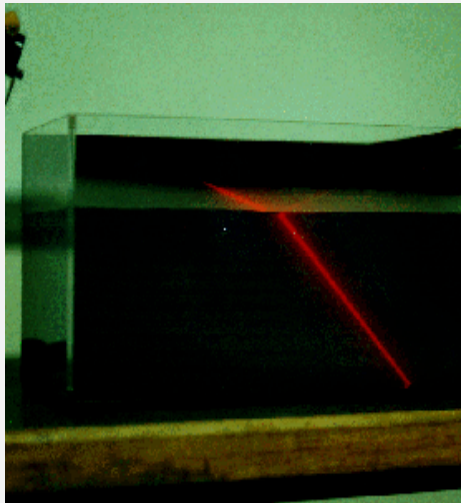
beeső fénysugár

visszaverődés

fénytörés

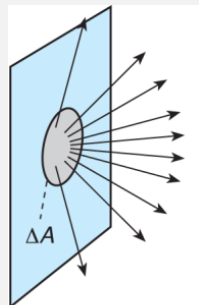
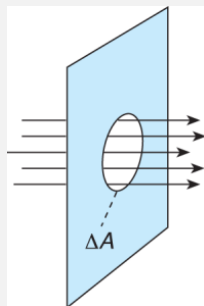
szóródás

elnyelődés

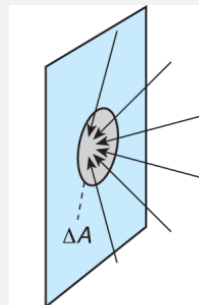


Fényintenzitás

(a fény sugárzás, amelyben energia áramlik)

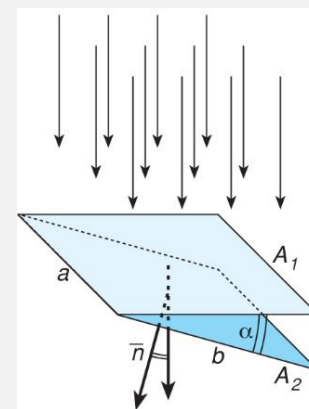


kisugárzott



besugárzott

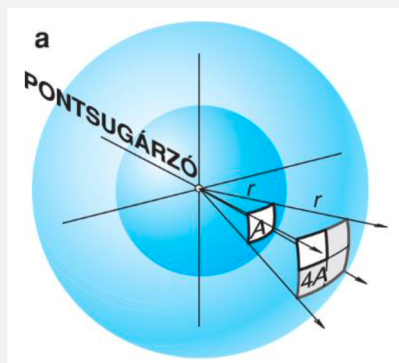
felületi teljesítmény (intenzitás)



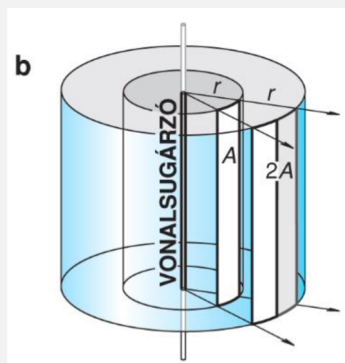
(a sugárzásra merőleges irányban
egységnyi felületen egységnyi idő
alatt átáramló energia mennyisége,
 $A_1 = A_2 \cdot \cos \alpha$)

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

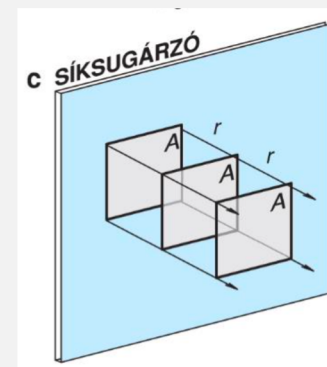
Intenzitás = energia-áram sűrűsége: $J = \Delta I_E / \Delta A$ [W/m²]



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

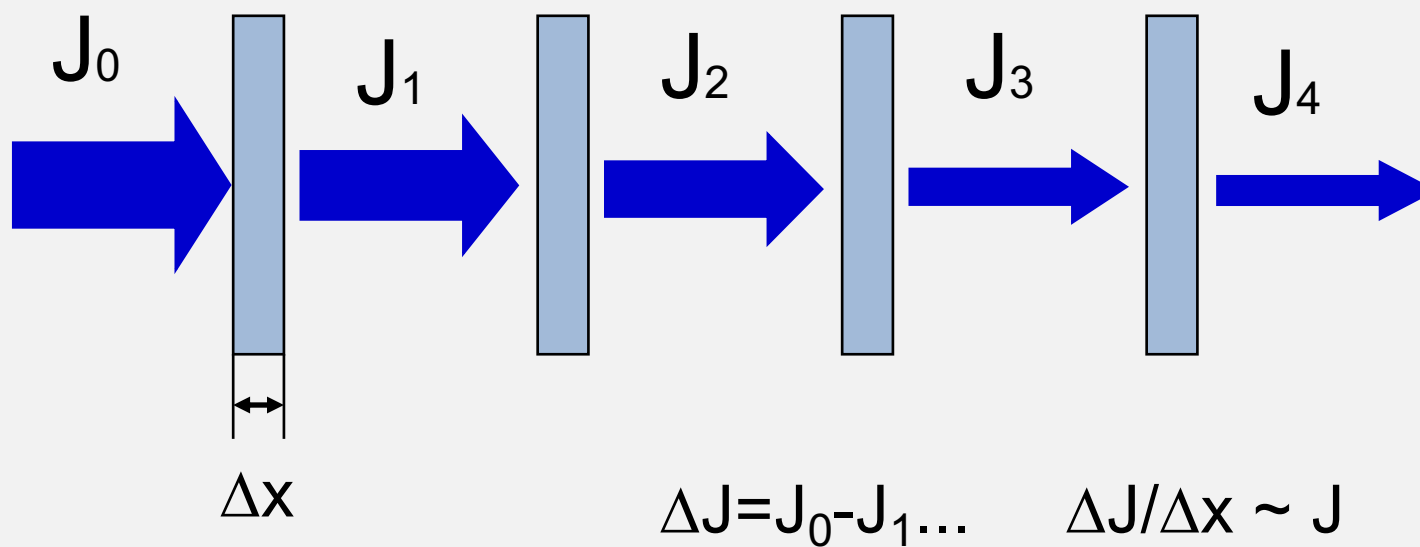


$$J \sim 1/r$$



$$J \sim \text{állandó}$$

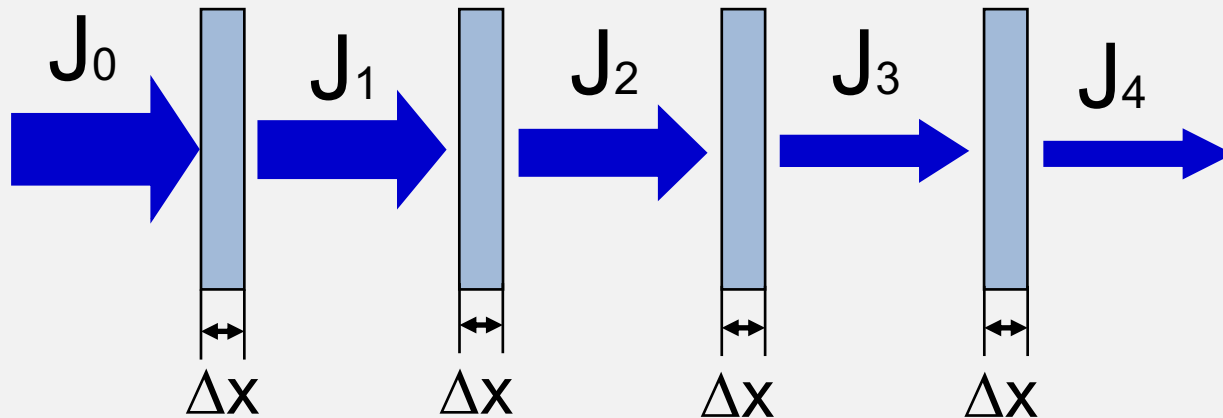
A fény elnyelődése



A közegen áthaladó sugárzás intenzitása csökken.

Az intenzitás gyengülésének törvénye

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



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

Differenciális alak

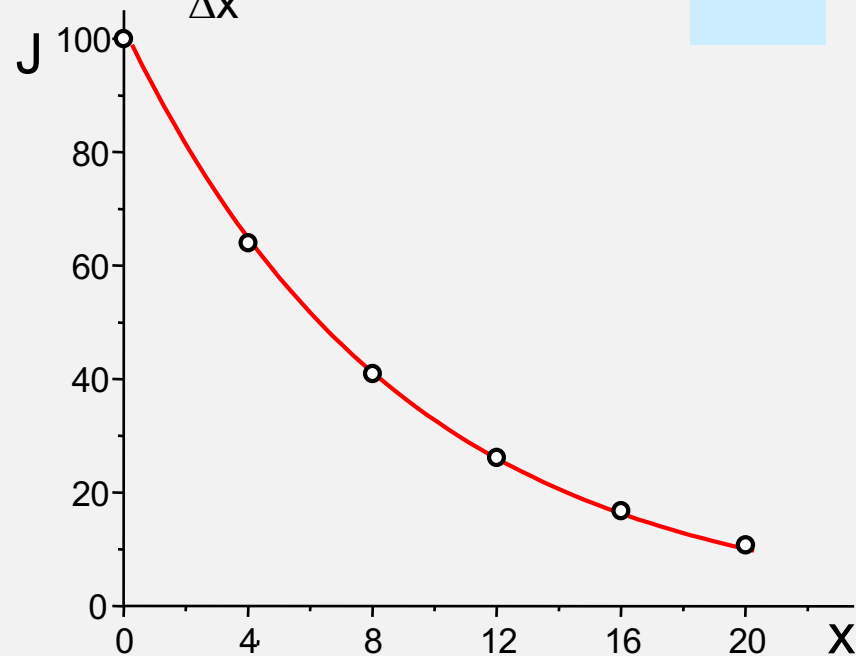
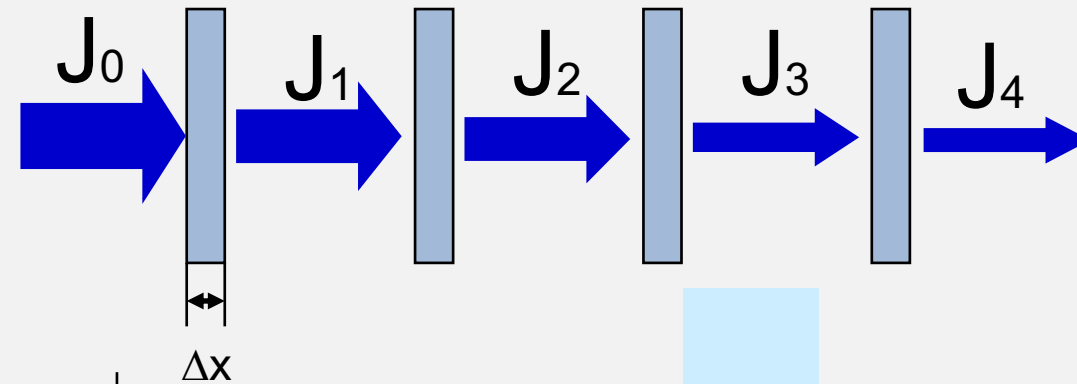
J_i : a közegbe belépő sugárzás intenzitása [W/m^2]

ΔJ : az intenzitás megváltozása Δx rétegen való áthaladáskor

μ : 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

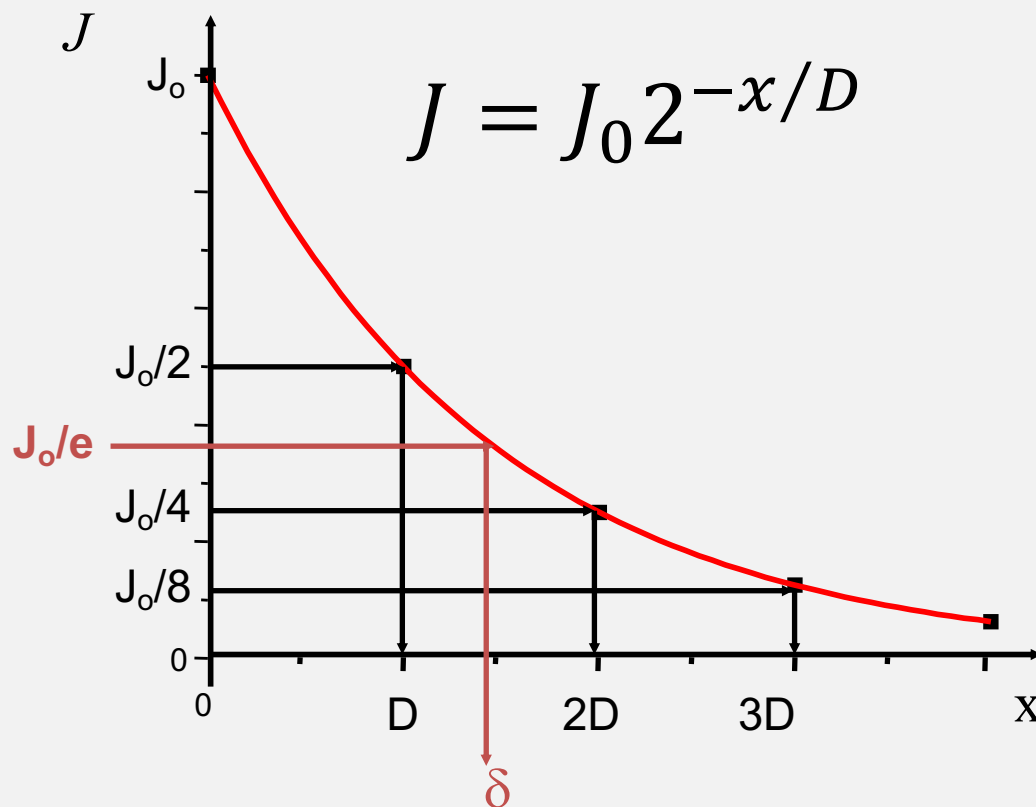
e = Euler szám = 2,71828...

Gyengülési törvény szemléltetése

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

D: felező rétegvastagság

δ : e -edelő rétegvastagság



Mind D és δ

– jellemző az adott sugárzás és az adott anyag kölcsönhatására

– függ a sugárzás frekvenciájától, az abszorbens anyagi minőségétől és aktuális sűrűségétől

A gyengítési állandó definíciója

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

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

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

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

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

μ függ mindazoktól a tényezőktől, amelyektől D és δ

Példaszámolás:

Az izom gyengítési együtthatója a CO₂ lézer hullámhosszán 800 cm⁻¹.
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 μ 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

moláris koncentráció [mol/l]

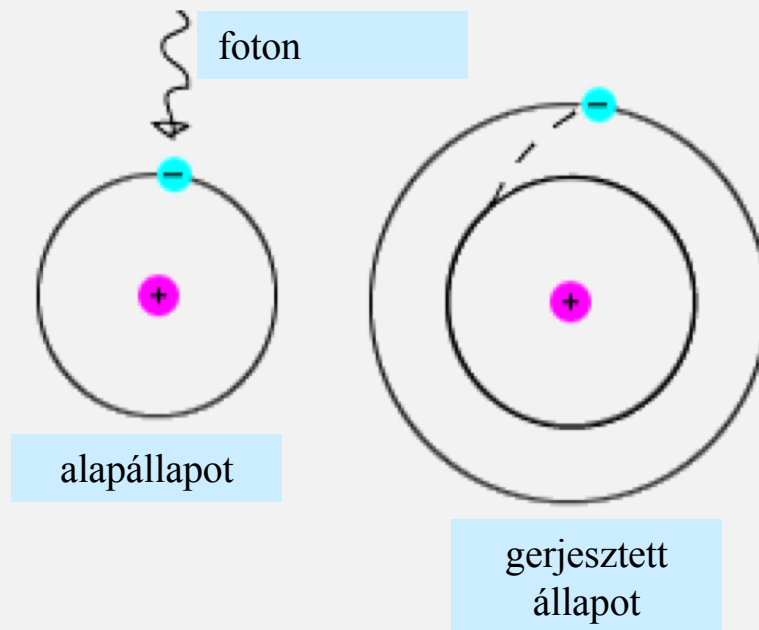
rétegvastagság (általában 1 cm)

moláris extinkciós együttható
[l mol⁻¹cm⁻¹]

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

A fényabszorpció mechanizmusa

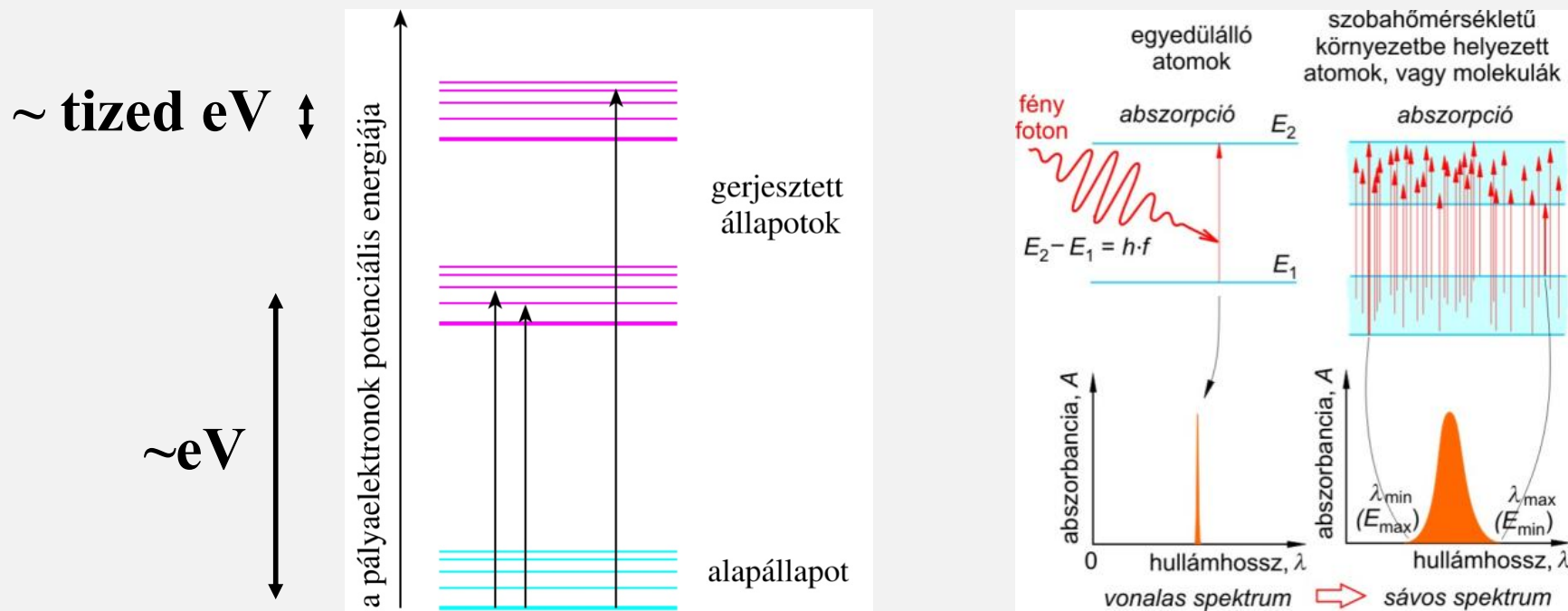
Atomokban, molekulákban az elektronok energiája diszkrét értékeket vehet fel:



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

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

Molekula energiaállapotai rezgési szintekkel:

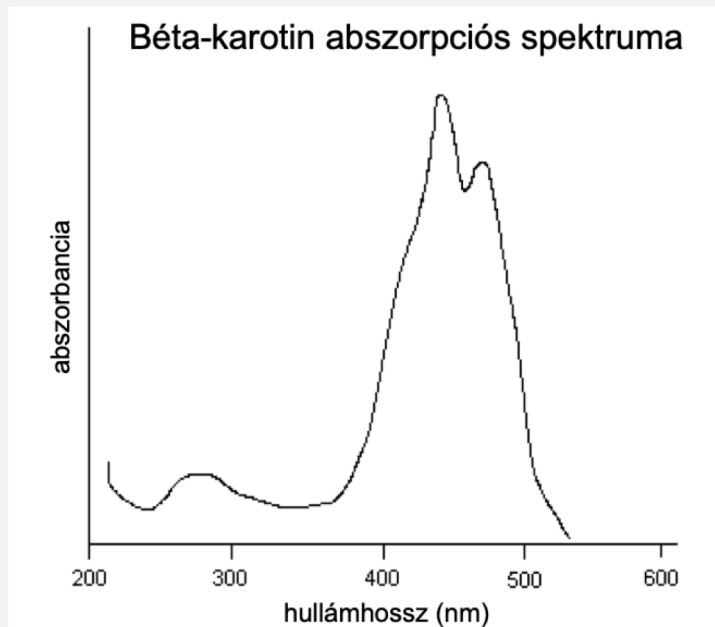
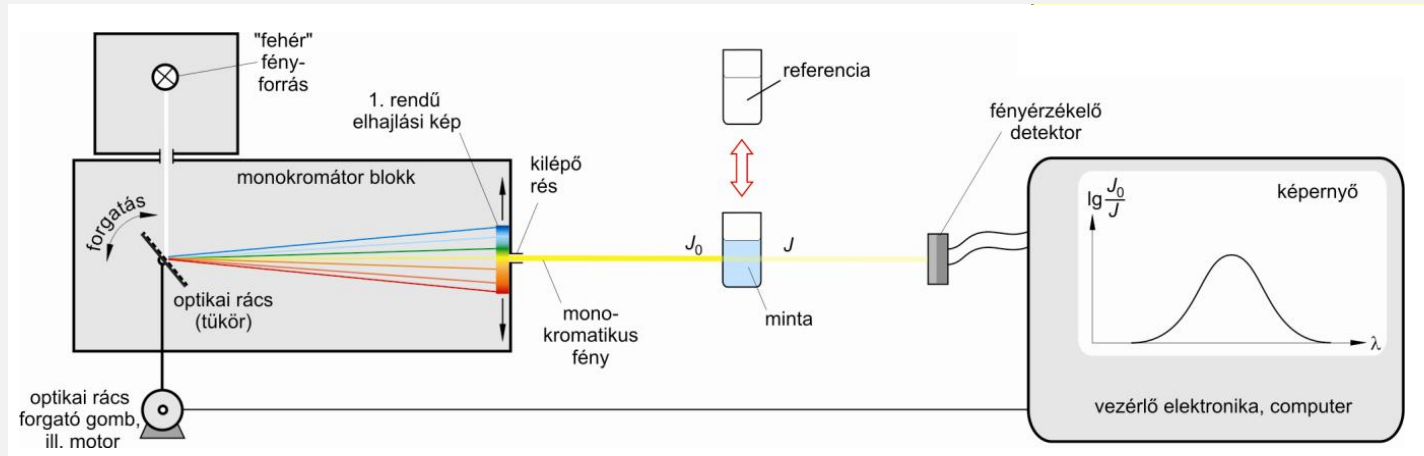


Adott molekula különböző, egymáshoz „közeli”
energiával rendelkező fotonokat is képes elnyelni

→ sávos elnyelési spektrum

Az abszorpciós spektrum

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

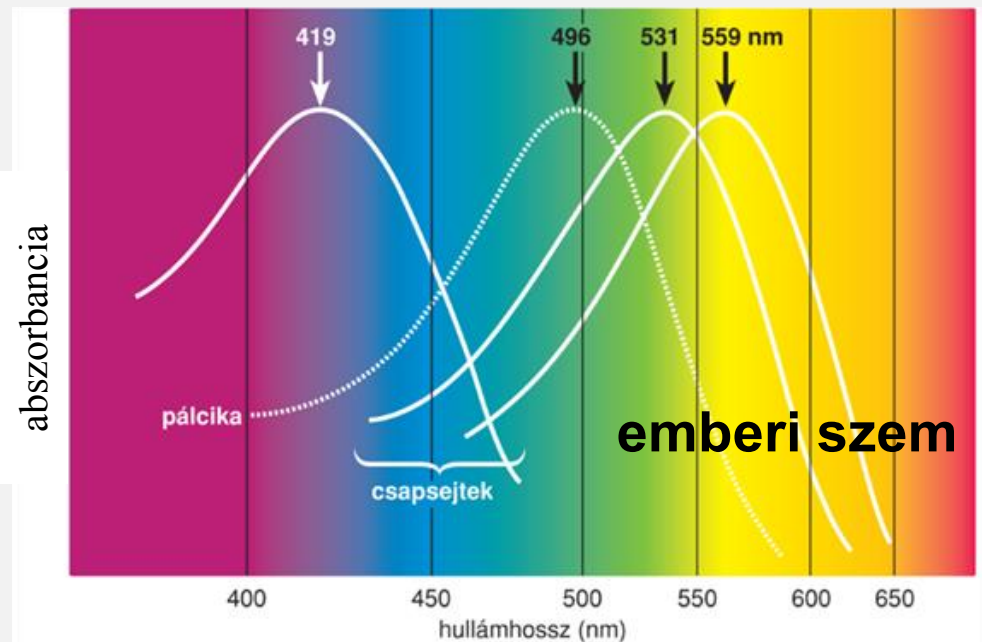
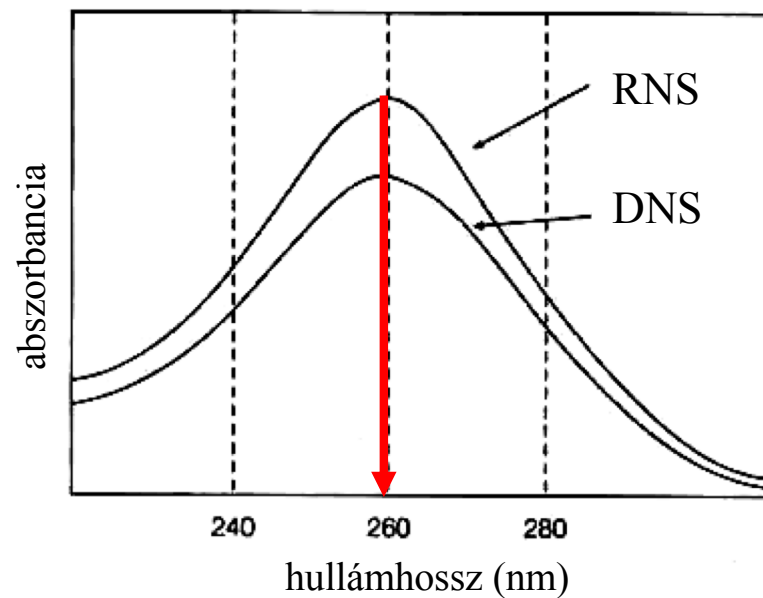
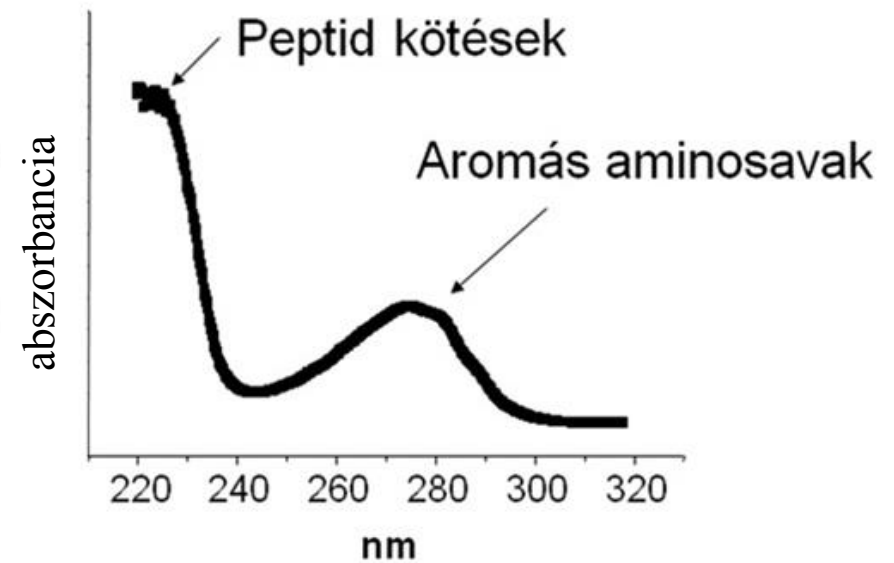
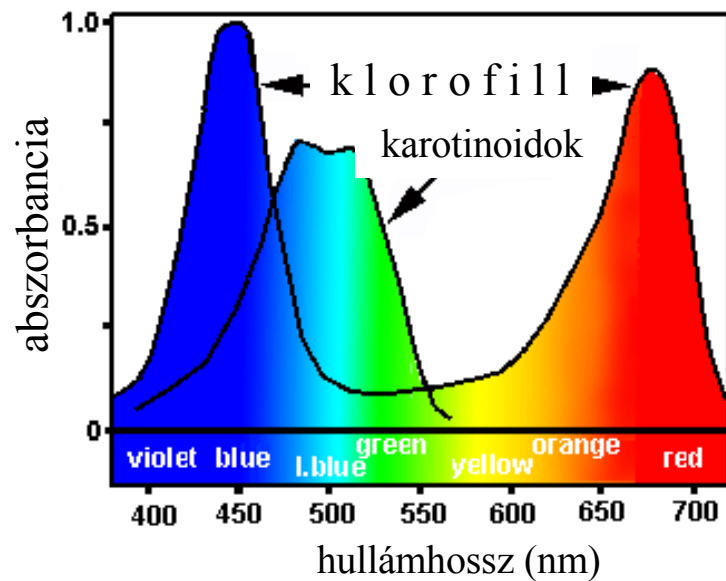


Az abszorbancia változása a hullámhossz függvényében az adott anyagra jellemző

→ **karakterisztikus spektrum**

(elhelyezkedése, alakja az anyag elektronszerkezetének függvénye)

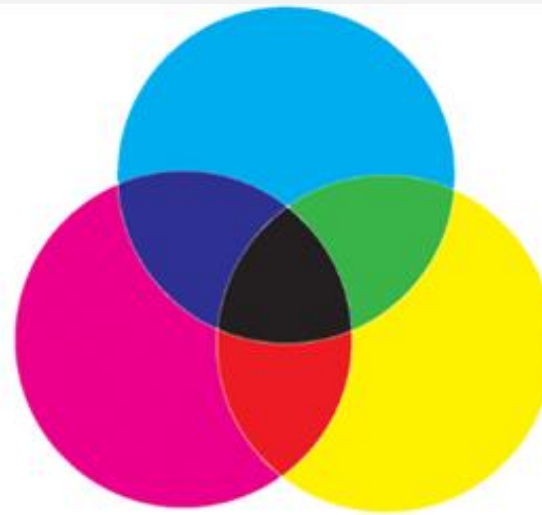
Biológiailag fontos molekulák abszorpciós spektruma



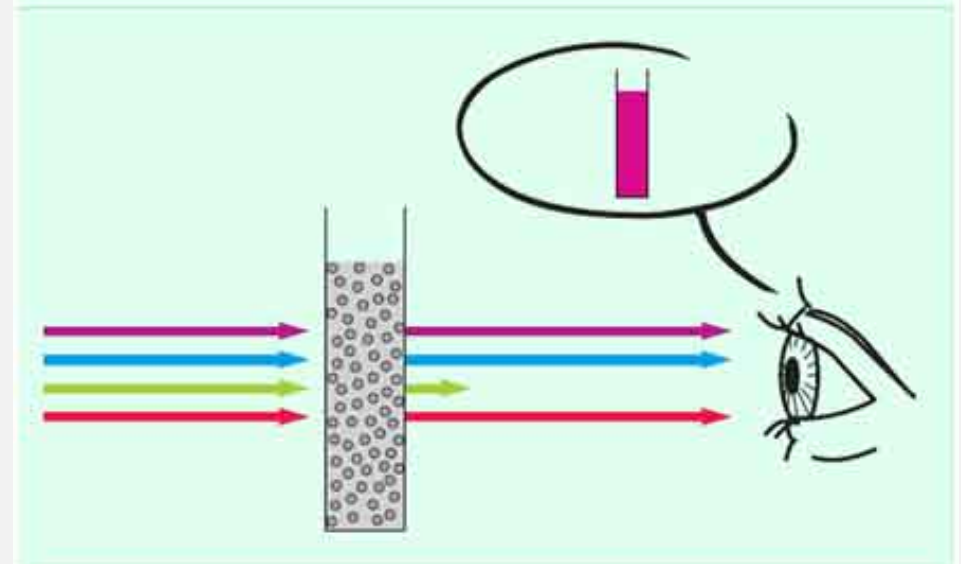
Abszorpció és szín – komplementer színek



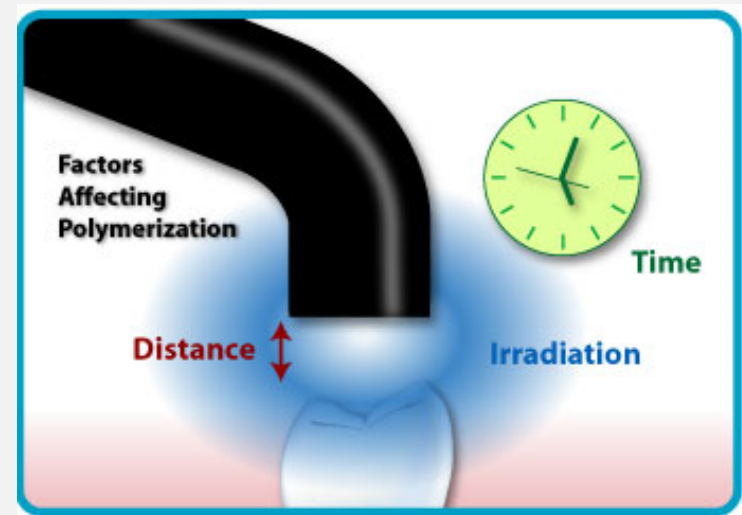
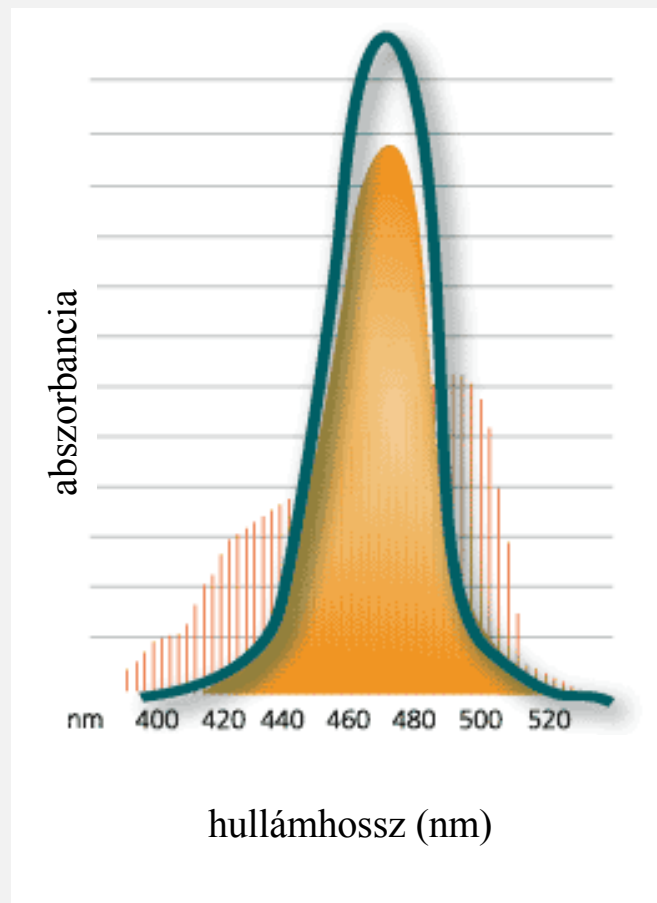
additív színkeverés



szubtraktív színkeverés



Példa fogászati alkalmazásra



Kámfor-kinon
fényabszorpció hatására keményedő fogászati kötőanyag

Fény és anyag kölcsönhatásai

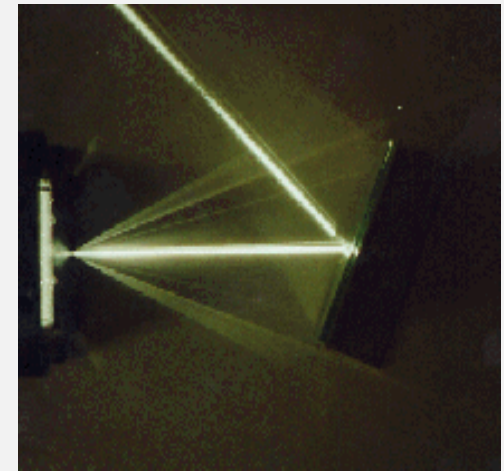
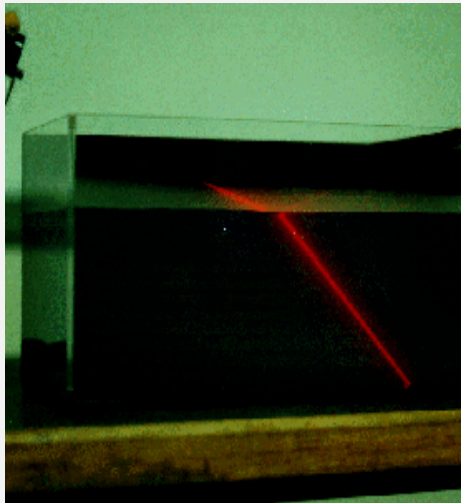
beeső fénysugár

visszaverődés

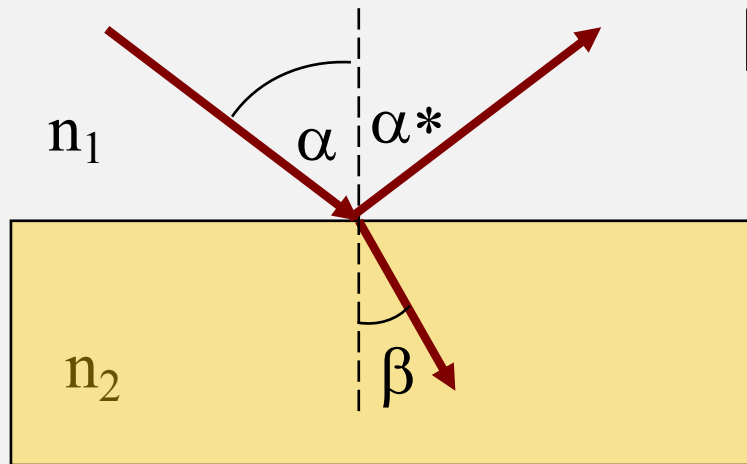
fénytörés

szóródás

elnyelődés



Fénytörés és visszaverődés

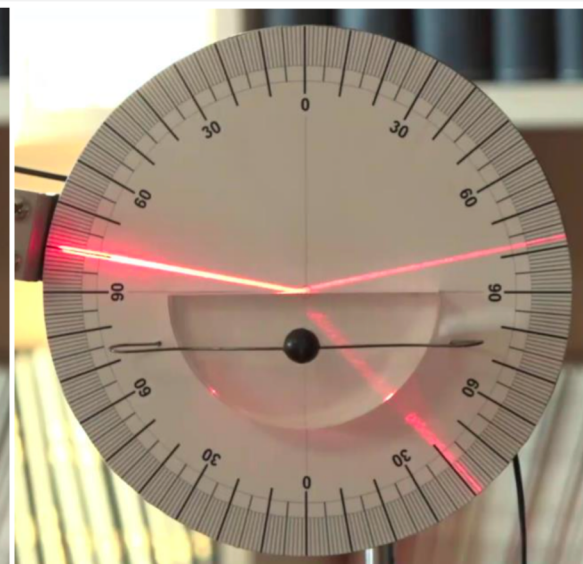
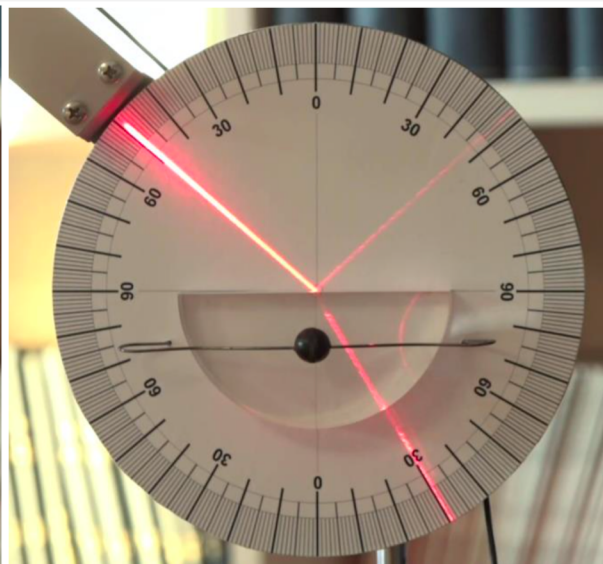
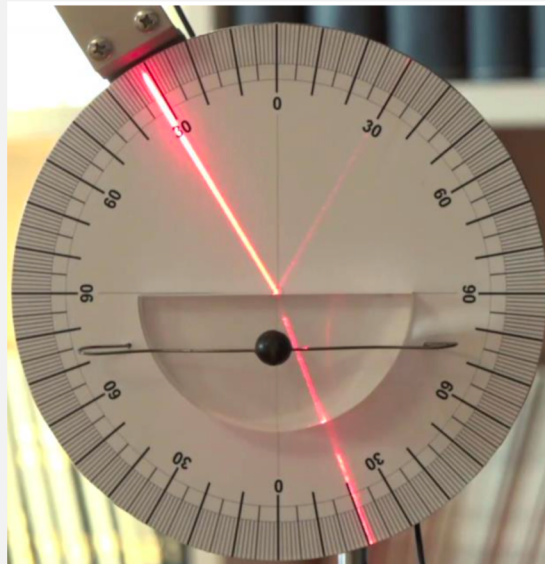


$$n_1 < n_2$$

$$\alpha > \beta$$

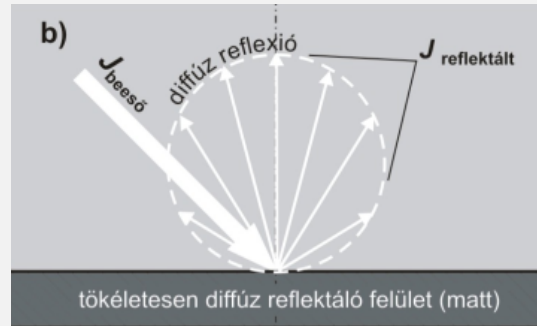
$$\alpha > \alpha^*$$

Snellius – Descartes törvény: $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$

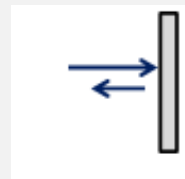


A fény visszaverődése

diffúz visszaverődés

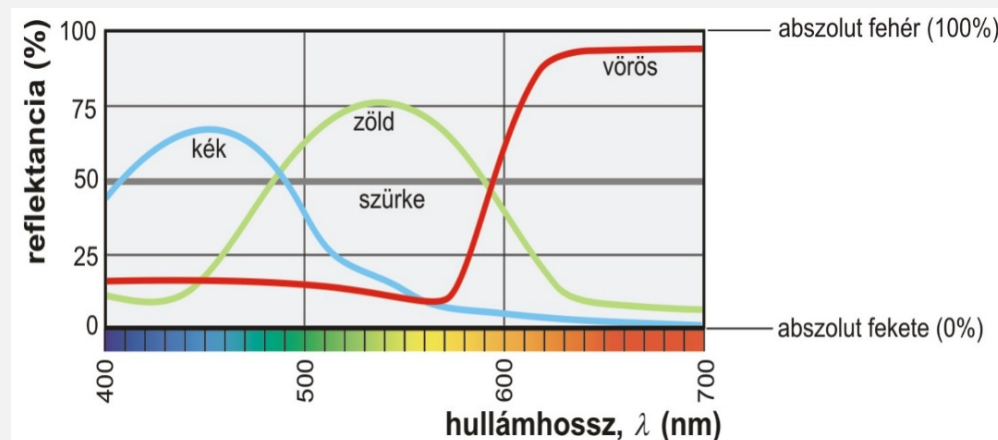


reflexiós tényező vagy reflektancia
(hullámhosszfüggő)



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

reflexiós spektrum:



Fényszóródás

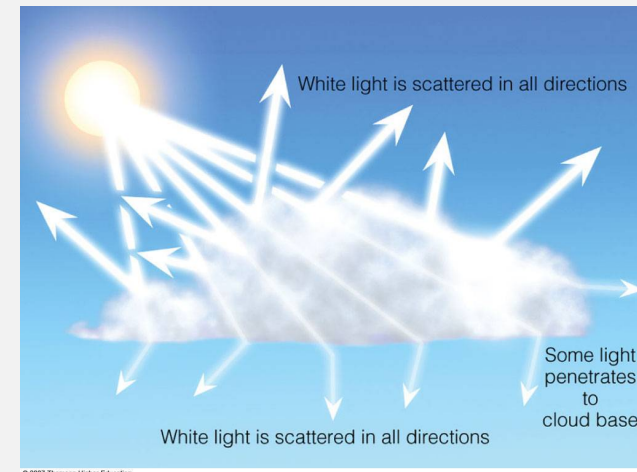
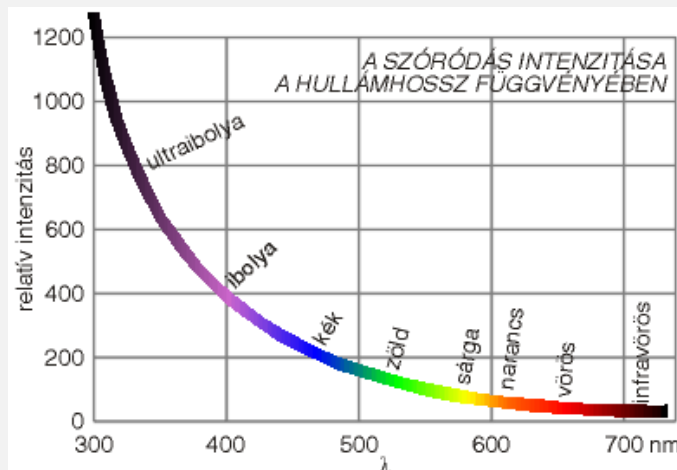


Spektrális szóródási tényező: $\sigma(\lambda) = \frac{J_{szórt}}{J_{beeső}}$

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

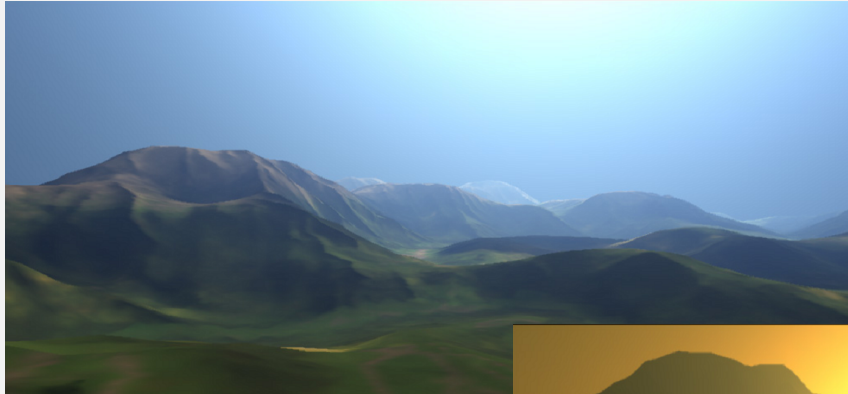
$d \ll \lambda$
Rayleigh-szóródás
 $\sigma(\lambda) \sim \frac{d^6}{\lambda^4}$

$d \geq \lambda$
Mie-szóródás
 σ független λ -tól



Rayleigh-szóródás

$$d \ll \lambda$$



Fényszóródás



Mie-szóródás

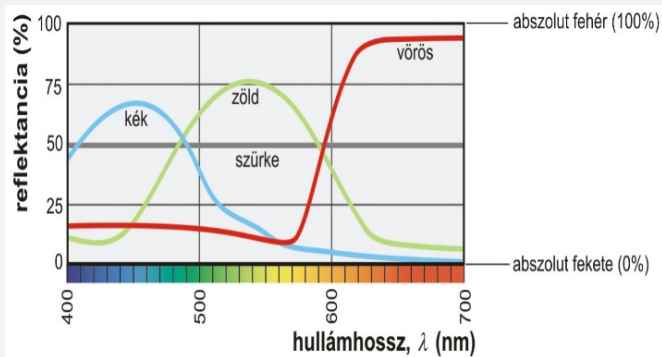
$$d \geq \lambda$$



Színek kialakulása

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

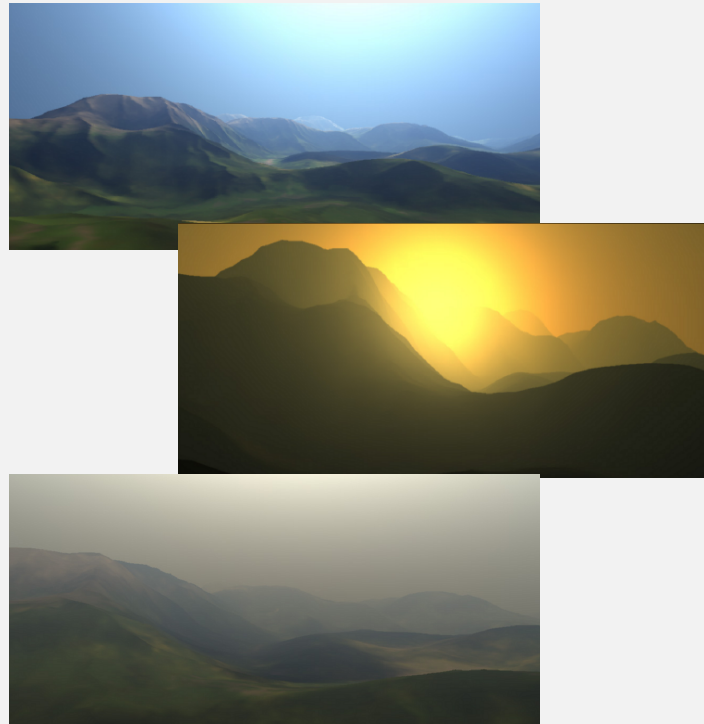
Visszaverődés



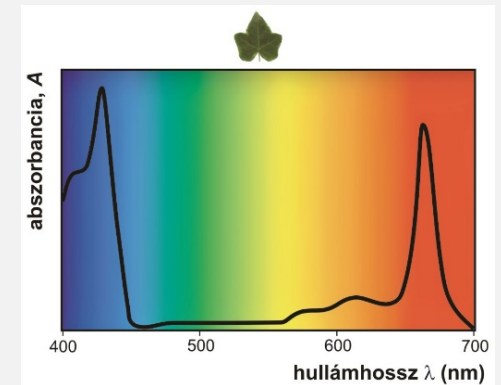
Pl. vörös reflexió

↓
vörös

Szóródás



Elnyelődés



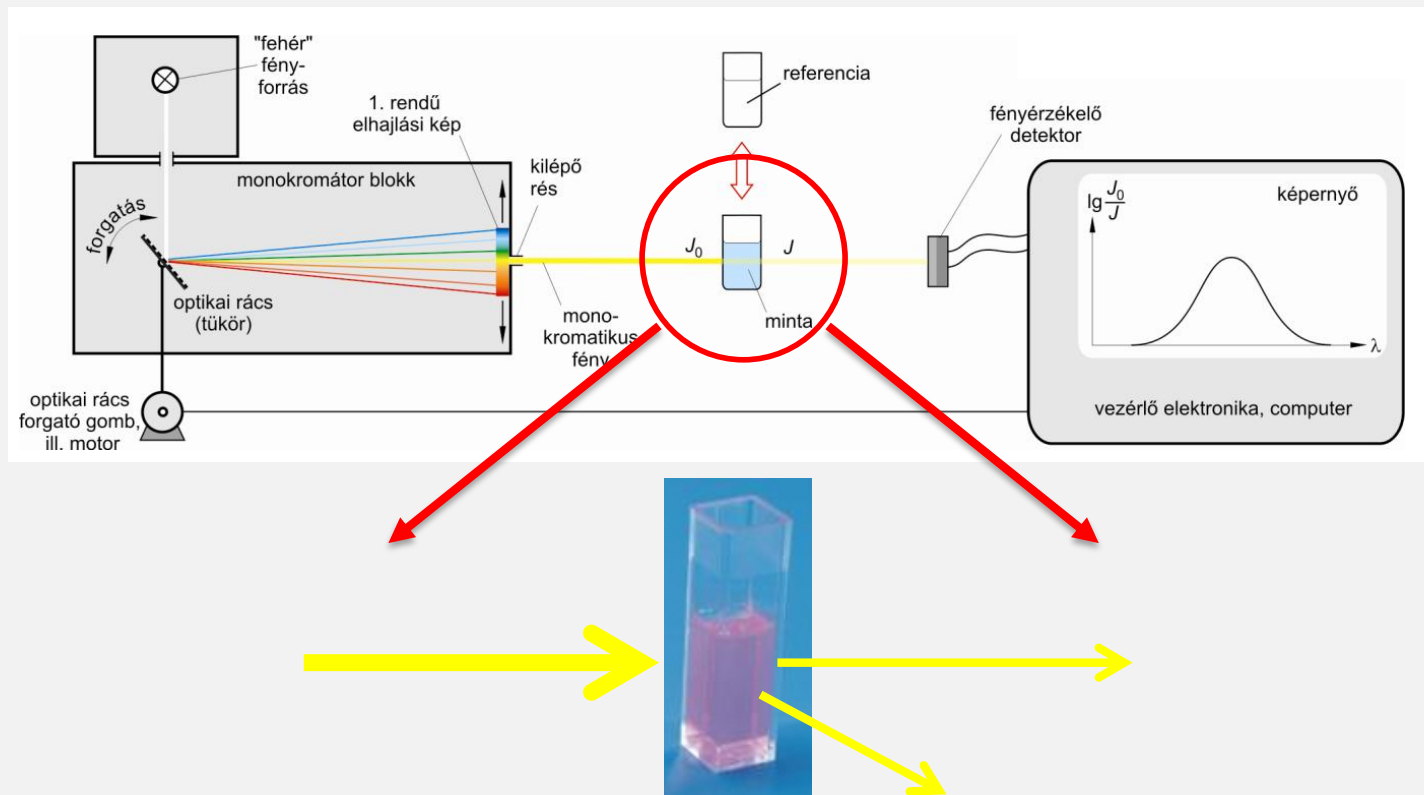
Pl. vörös abszorpció

↓
zöld

Extinkció

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

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

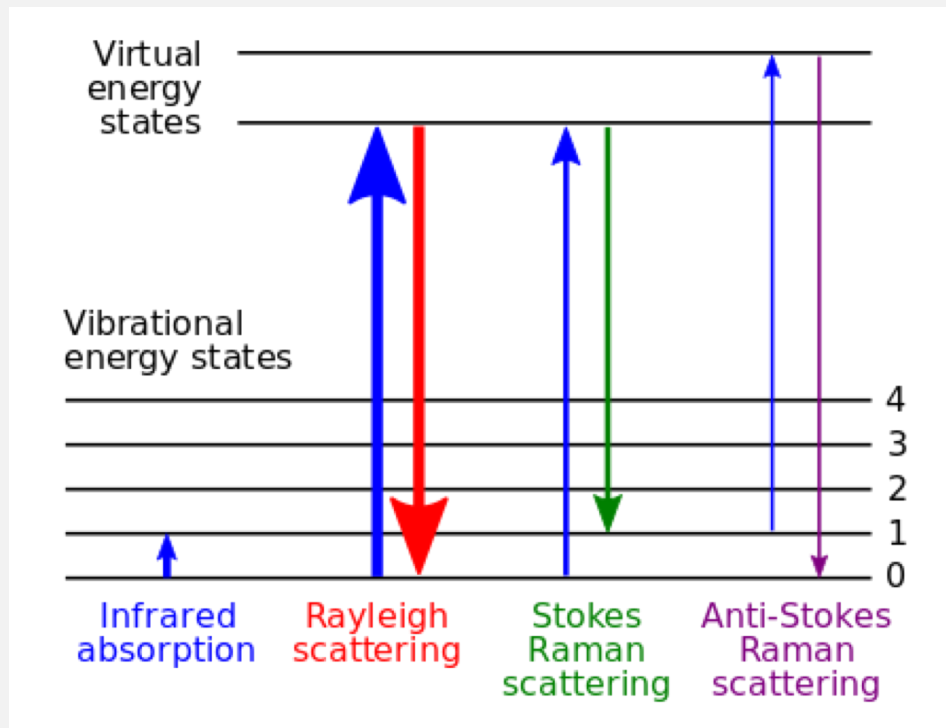


Extinkció: elnyelődés és szóródás együttes gyengítő hatása

Raman szóródás

Fény és anyag közötti energiaátadás:

→ rugalmatlan szóródás: 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