

# Orvosi Biofizika I.

Fénysugárzás anyaggal való kölcsönhatásai.  
Fényszóródás, fényabszorpció. Az abszorpciós  
spektrometria alapelvei.

(Segítség a 12. tétel megértéséhez és megtanulásához,  
továbbá a „Fényabszorpció” gyakorlathoz.)

8. előadás, 2016. október 27.

Veres Dániel

## 12. vizsgatétel

Hogyan hathat kölcsön a fény atomokkal, molekulákkal?

*Alapfogalmak:* Fényszóródás, Rayleigh-szórás, Mie-szórás, fényelnyelődés.

*Jelenségek:* Kék ég, fehér és szürke felhők, átlátszóság.

*Fizikai mennyiségek:* Fényintenzitás ( $I$ ), elektromos dipólusmomentum ( $p$ ), abszorbancia ( $A$ ).

*Törvények, összefüggések és a hozzájuk vezető út:* A fényintenzitás gyengülése közegen való áthaladáskor. A szórt fény intenzitásának a hullámhossztól való függése. Lambert–Beer-törvény.

*Alkalmazások:* Statikus fényszórás és abszorpció mérés, abszorpciós spektrometria, koncentráció meghatározás. Sötétlátóteres mikroszkóp.

## Ismétlés I. - Fény

Mi a fény? – látható elektromágneses hullám

Hullám: adott mennyiség periodikus változása TÉRBEN és IDŐBEN

Elektromágneses hullám esetében változik az:

elektromos tér erőssége ( $E$ ) és a mágneses indukció („térerősség”) ( $B$ )

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E}$$

$$\vec{F}_L = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$$

Elektromos térerősség: az  
erőtérben az egységnyi  
töltésre ható erő.

A mágneses indukciót („térerősséget”) elektromos áramok (mozgó töltések) generálják: ez lehet makroszkopikus áram egy vezetékben, vagy mikroszkopikus áram az atom körül mozgó elektronok révén.

## Ismétlés I. - Fény

$$E = A_E \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{\lambda} \cdot x + \varphi_0\right)$$

$$B = A_B \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{\lambda} \cdot x + \varphi_0\right)$$

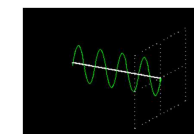
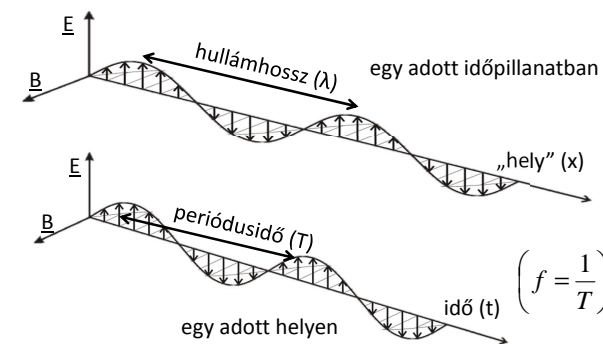
$$E = A_E \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{T} \cdot t + \varphi_0\right)$$

$$B = A_B \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{T} \cdot t + \varphi_0\right)$$

IDŐ és TÉR:

$$c = \lambda \cdot f$$

$$\varepsilon = h \cdot f \quad E = \sum N \cdot \varepsilon_\lambda \quad J = \frac{E}{A \cdot t}$$

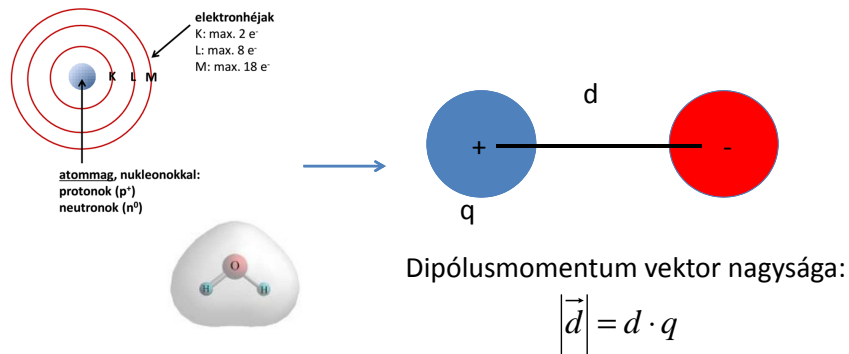


Látható:



## Ismétlés II.

### „Anyag”: Atomok és Molekulák

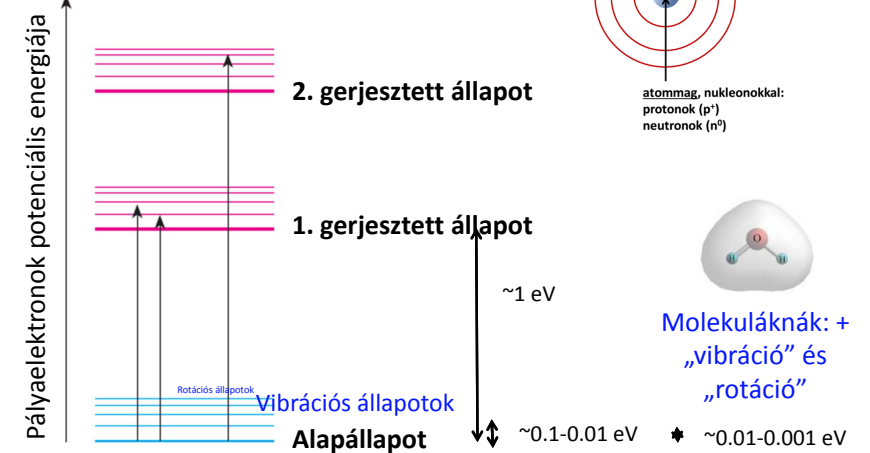


Polarizálhatóság ( $\alpha$ ): az egységnyi elektromos térerősség által létrehozott dipólus nagyságával egyezik meg

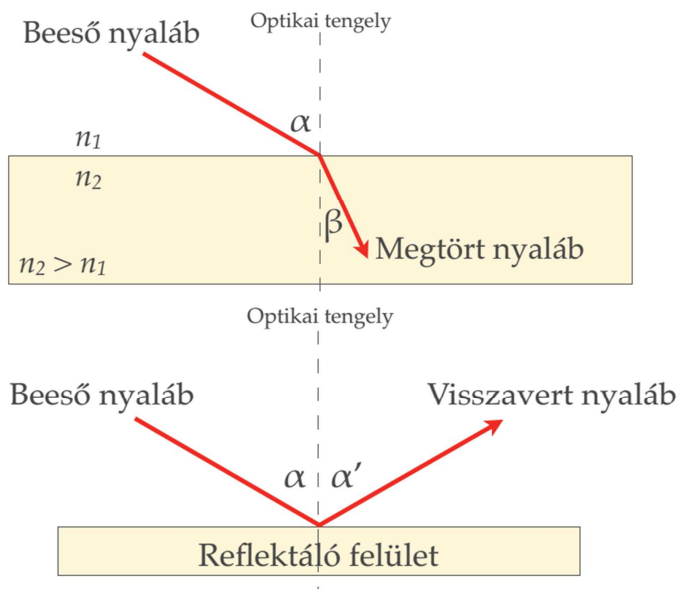
$$\vec{d} = \alpha \cdot \vec{E}$$

## Ismétlés II. Atomok és Molekulák

Atomok és **molekulák** elektronikus és vibrációs energiaszintjei



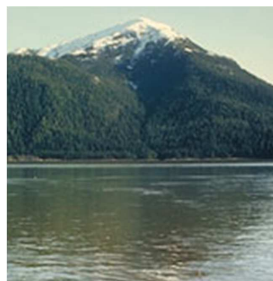
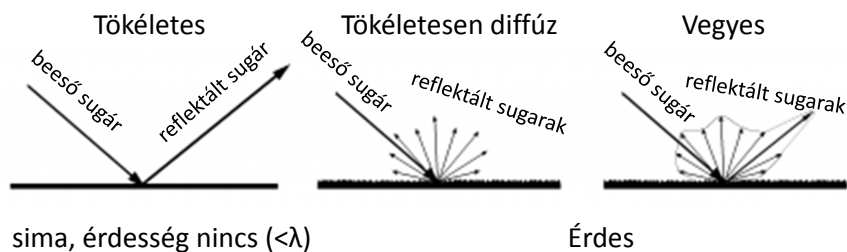
## KölcsönhatásOK – ismétlés



## KölcsönhatásOK – ismétlés

Kísérlet 1.

## KölcsönhatásOK – Visszaverődés



## KölcsönhatásOK – Visszaverődés

Visszaverődési tényező

$$\rho_{\lambda} = \frac{J_{\text{visszavert}}(\lambda)}{J_{\text{beeső}}(\lambda)}$$

függ:  
hullámhossz  
beesési szög  
anyagi minőség (törésmutató...)

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

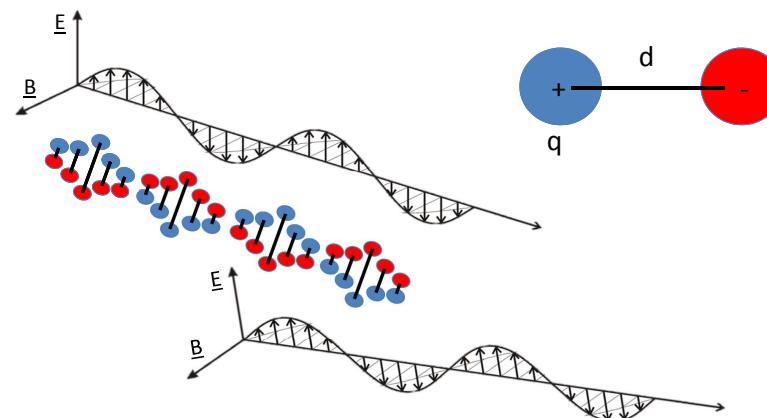
egyenlőség igaz **HA** a beesési szög  $0^\circ$ ,  
anyag átlátszó (ld. később)  
(egyébként bonyolultabb az összefüggés)

## KölcsönhatásOK

Kísérlet 2.

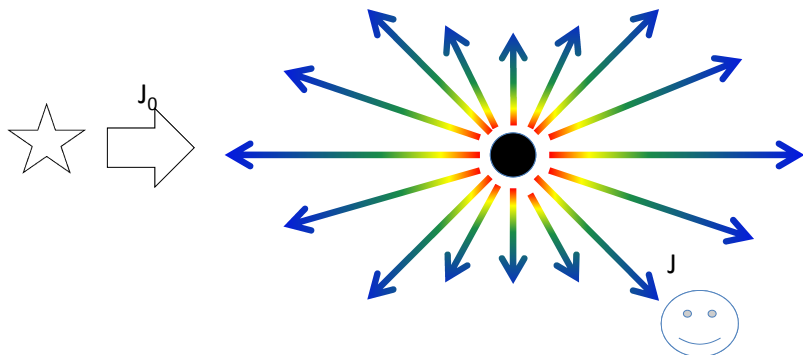
## KölcsönhatásOK – Szóródás

1. Rugalmas szóródás (fotonenergia nem változik)



## KölcsönhatásOK – Rayleigh szórás

kis ( $< \lambda/10$ ), egyedi molekulák – egyedi oszcillációk, lokális interferencia nélkül



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

N: szóró elemek száma

$\alpha$ : polarizálhatóság

$\lambda$ : hullámhossz

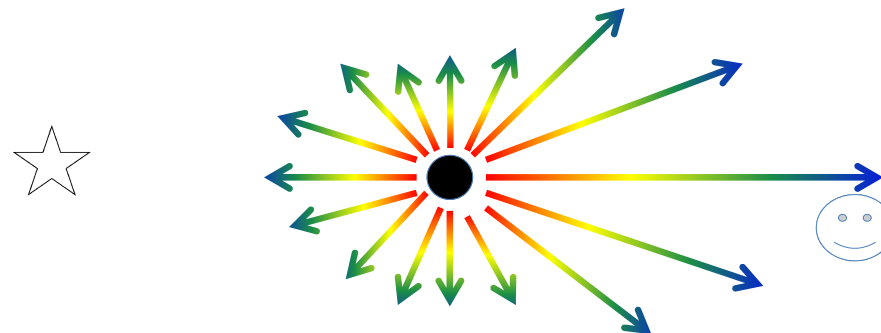
R: megfigyelő-szóró elemek távolsága

$\beta$ : megfigyelő-sugárforrás szöge

## KölcsönhatásOK – Mie szórás

Nagyobb részecskék, atomcsoportok, molekulák (együttes méret  $> \lambda/10$ )

– koherencia, erősítő interferencia



hullámhossz független

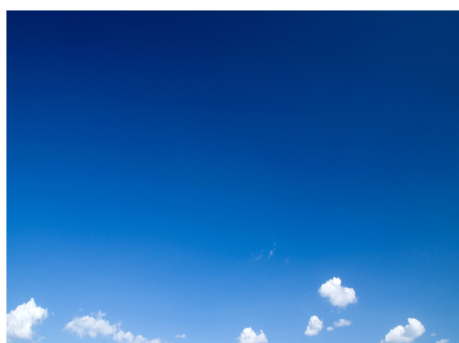
erős előreszórás

méret függés:

méret nő: szórt fény intenzitása nő

méret tovább nő ( $> \lambda \cdot 10$ ): szórt fény intenzitása csökken

## KölcsönhatásOK – Rayleigh szórás



Kék ég

Vörös naplemente



## KölcsönhatásOK - Mie szórás



Fehér felhők, ragyogás

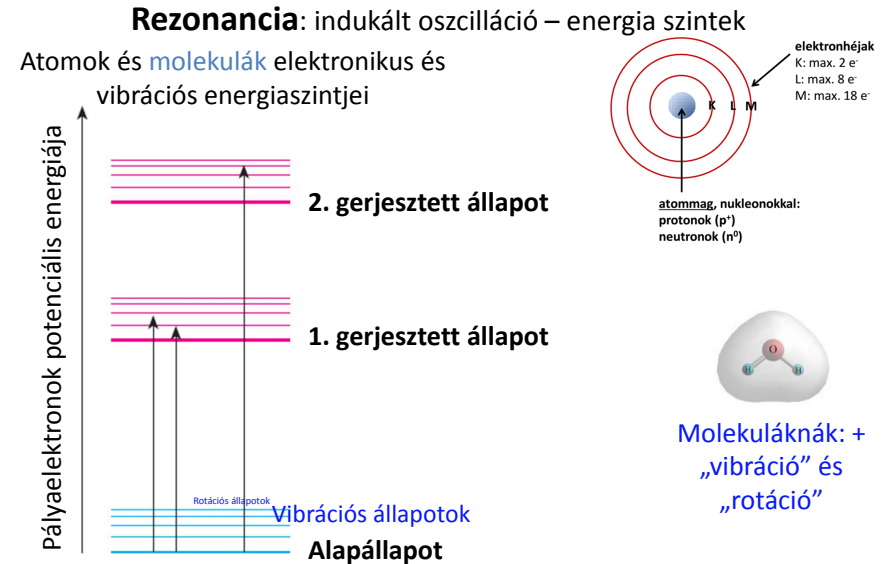


Szürke felhők

## KölcsönhatásOK

Kísérlet 3.

## KölcsönhtásOK - Abszorpció (Elnyelés)



## KölcsönhatásOK - szórás

### 2. Rugalmatlan szórás (fotonenergia ( $\epsilon$ ) változik)

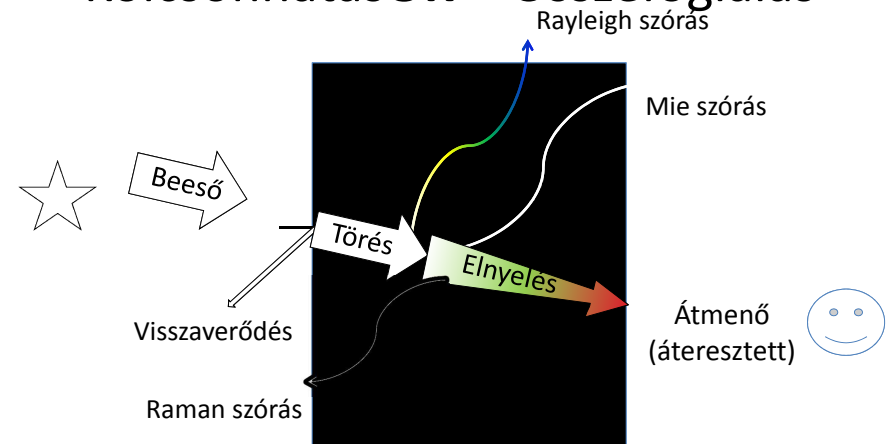
Raman szórás

Stokes: szórt  $\epsilon$  csökken

Anti-Stokes: szórt  $\epsilon$  nő

(energia-elnyelés a vibrációs energiaszint-különbség szerint)  
gerjesztett állapot élettartama rövid ( $\sim fs$ )

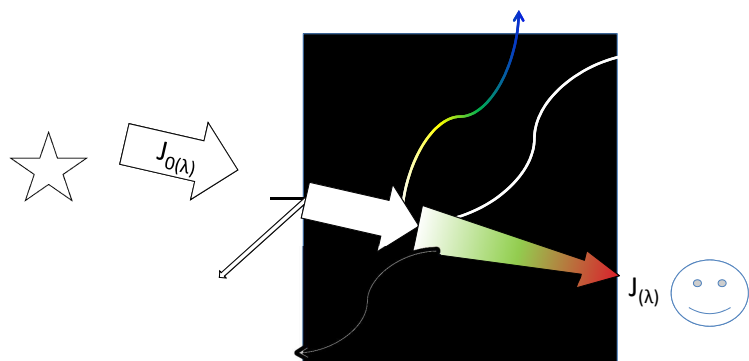
## KölcsönhatásOK - Összefoglalás



Melyik egy adott fotonnál? – Valószínűségek!

függ: hullámhossz  
beesési szög  
anyagi minőség

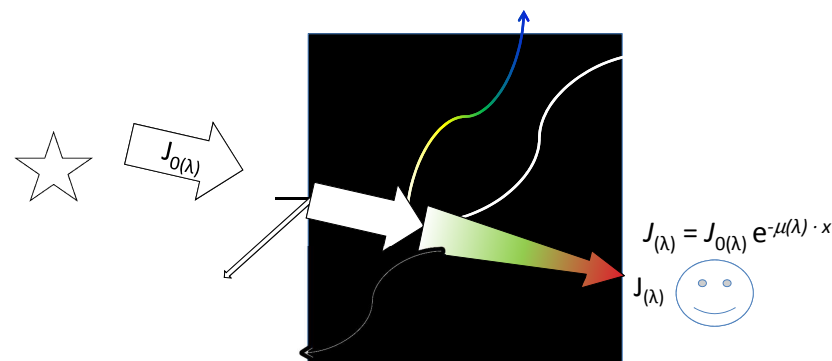
## Intenzitás csökkenése – Gyengülési törvény



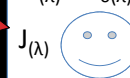
$$J_{(\lambda)} = J_{0(\lambda)} e^{-\mu(\lambda) \cdot x}$$

J: Intenzitás  
 $\mu$ : gyengítési együttható  
 $x$ : rétegvastagság  
 (felületre merőlegesen)

## Áteresztőképesség, Optikai densitás



$$J_{(\lambda)} = J_{0(\lambda)} e^{-\mu(\lambda) \cdot x}$$

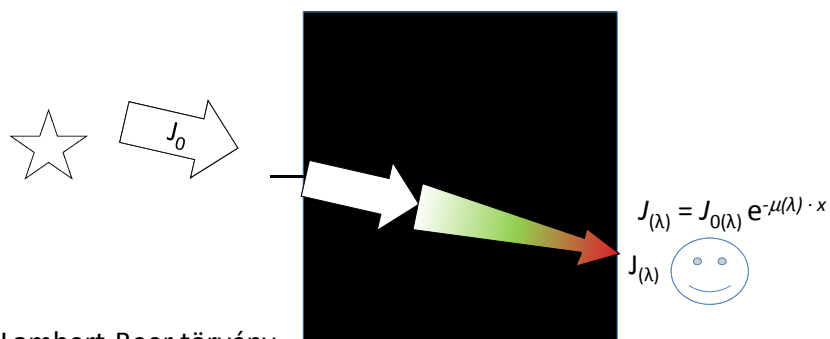


$$T = \frac{J_{(\lambda)}}{J_{0(\lambda)}} (\%)$$

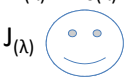
$$OD = \log \frac{J_{0(\lambda)}}{J_{(\lambda)}} = \log e \cdot \mu_{(\lambda)} \cdot x$$

T: áteresztőképesség  
 (transzmissziós tényező)  
 OD: optikai densitás

## Abszorpció



$$J_{(\lambda)} = J_{0(\lambda)} e^{-\mu(\lambda) \cdot x}$$



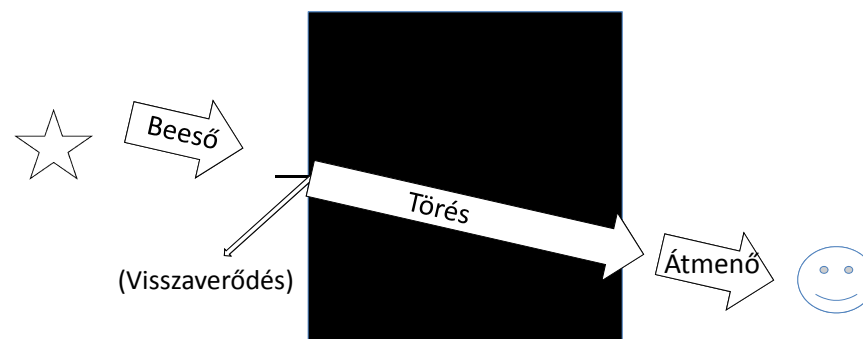
Lambert-Beer törvény

$$A = \log \frac{J_{0(\lambda)}}{J_{(\lambda)}} = \log e \cdot \mu_{(\lambda)} \cdot x = \epsilon_{(\lambda)} \cdot c \cdot x$$

Feltételek!!!  
 nincs szórási (híg)  
 van elnyelés (színes)

$\mu$ : abszorpció együttható  
 $\epsilon$ : (dekadikus) moláris extinkciós együttható  
 $c$ : koncentráció

## Átlátszóság



Beeső

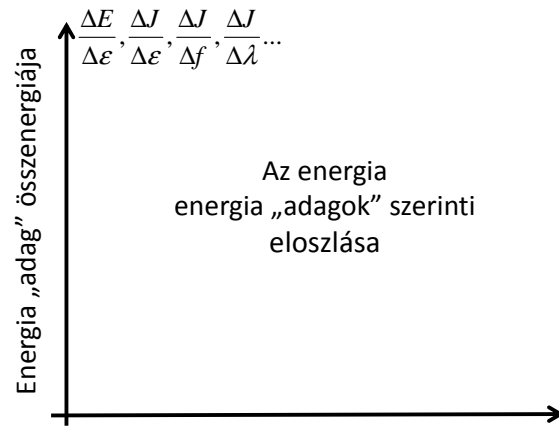
(Visszaverődés)

Törés

Átmenő



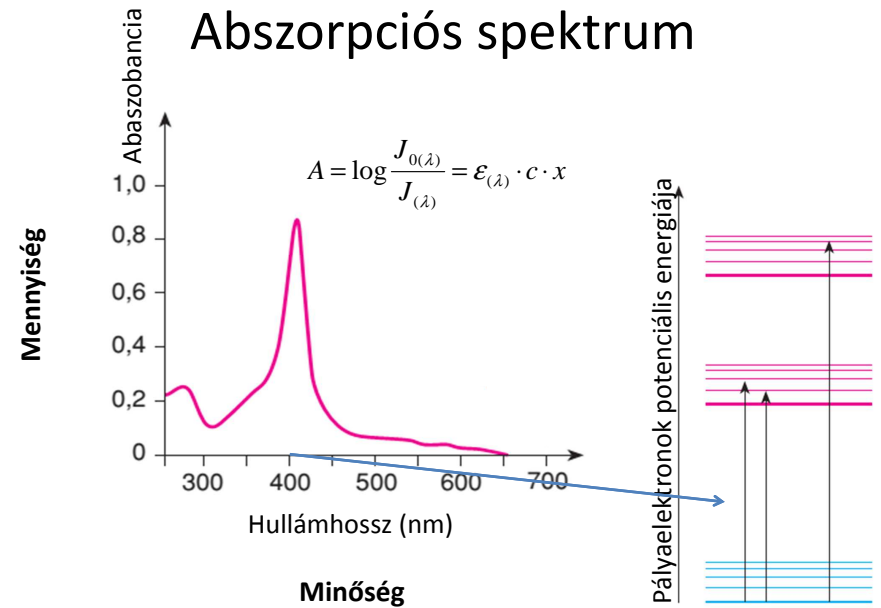
## Spektrum



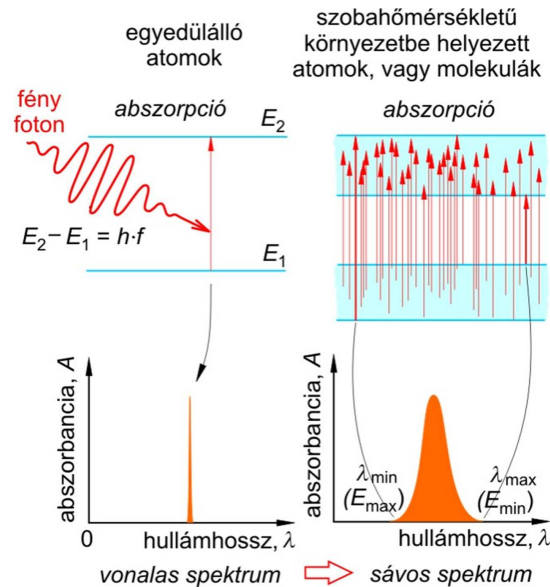
$$J = \frac{E}{A \cdot t} = \frac{\sum N \cdot \varepsilon_\lambda}{A \cdot t}$$

Energia „adag”  
ε, f, λ, 1/f....

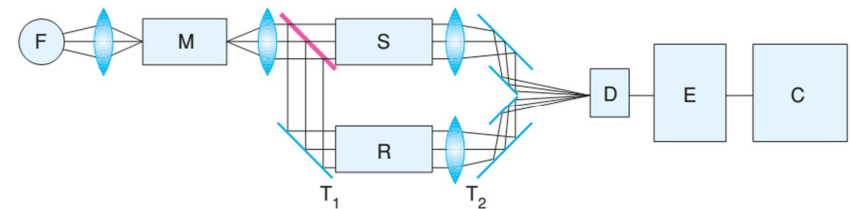
## Abszorpciós spektrum



## Spektrális vonalkiszélesedés



## Abszorpciós spektrum mérése



Monokromátorok:

Prizma: refrakció – előny: teljes intenzitás felbontása

Optikai rács: diffrakció (interferencia kép) – előny: lineáris („szellemfonalak”: felharmónikusok)

# Fényszórás mérése

Koncentráció meghatározására:

Turbidimetria: (nagyobb szórt intenzitás)

OD mérése (feltétel: nincs abszorpció)

Nefelometria: (alacsony szórt intenzitás)

szórt fény intenzitásának mérése adott szögben

Részecskeméret és geometria meghatározására:

Dinamikus fényszórásmérés: (méret)

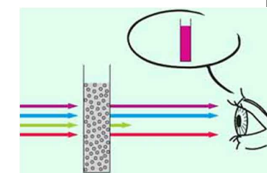
szórt fény intenzitásának mérése adott szögben

szórt fény intenzitás időbeli változásának felhasználásával

Statikus fényszórásmérés: (méret, geometria)

szórt fény intenzitásának mérése sok, ismert szögben

# Szín - abszorpció



Komplementer (kiegészítő) színek

Hullámhossz (nm)	Elyelt szín	Kiegészítő szín
650-780	vörös	kékes zöld
595-650	narancs	zöldes kék
560-590	sárgás zöld	lila
500-560	zöld	vöröses lila
490-500	kékes zöld	vörös
480-490	zöldes kék	narancs
435-480	kék	sárga
380-435	ibolya	sárgás zöld

# Színek



?