

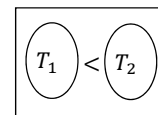
A fény keletkezése

Hőmérsékleti sugárzás és lumineszcencia

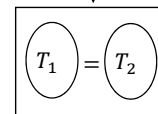


Mártonfalvi Zsolt, Veres Dániel

Hőmérsékleti sugárzás



A testek hőmérséklet különbsége idővel kiegyenlítődik még vákuumban is!
(nincs se hővezetés, *kondukcio*, se hőáramlás, *konvekció*)



Következésképpen:
Minden test a környezetének hőmérsékletétől függetlenül sugároz.
Ez a sugárzás mindig elektromágneses sugárzás.

A sugárzás leírásához használt mennyiségek:

- Kisugárzott felületi teljesítmény (M)

$$M = \frac{\Delta P}{\Delta A} = \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

- Abszorpciós tényező (α)

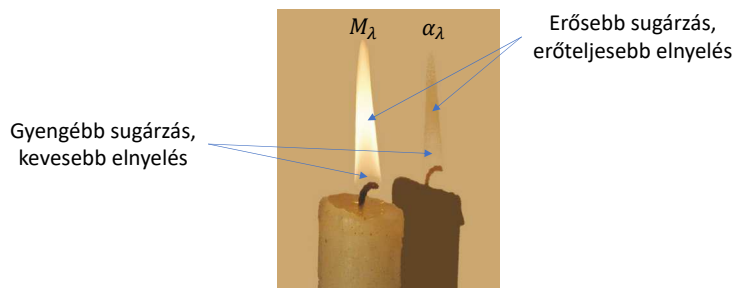
$$\alpha = \frac{J_{\text{test által elnyelt}}}{J_{\text{testre érkező}}} \quad (0 \leq \alpha \leq 1)$$

M és α erősen függenek a test termodinamikai hőmérsékletétől!

Kirchhoff sugárzási törvénye

Az a test amelyik erősebben sugároz, ugyanezt a sugárzást jobban el is nyeli. A kisugárzott felületi teljesítmény és az abszorpciós tényező hányadosa állandó egy szűk hullámhossz tartományban (λ):

$$\frac{M_{\lambda \text{ test1}}}{\alpha_{\lambda \text{ test1}}} = \frac{M_{\lambda \text{ test2}}}{\alpha_{\lambda \text{ test2}}} = \text{állandó}$$



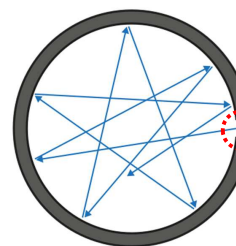
Az abszolút fekete test

Egy elméleti modell amit a hőmérsékleti sugárzás leírásához használunk.
Minden a felületére érkező sugárzást elnyel:

$$\alpha_{\text{fekete test}} = 1$$

Így $M_{\lambda \text{ fekete test}}$ ismeretében kiszámíthatjuk bármely test kisugárzott felületi teljesítményét ha tudjuk az abszorpciós tényezőjét:

$$M_{\lambda i} = \alpha_{\lambda i} M_{\lambda \text{ fekete test}}$$



Egy lyuk egy sötét üregben jól közelíti az abszolút fekete testet

A fekete test kisugárzott felületi teljesítménye erősen hőmérséklet függő!

Stefan-Boltzmann törvény:

$$M = \sigma T^4 \quad \sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$$

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 (\underline{E}) és a mágneses indukció („térerősség”) (\underline{B})

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

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

Elektromos térerősség: az erőterben 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.

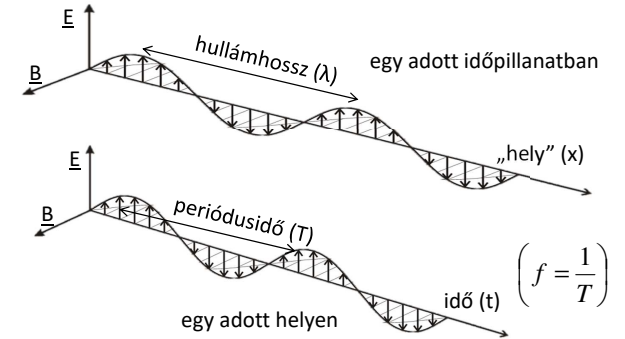
Ismétlés I. - Fény

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

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

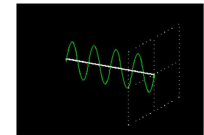
$$\underline{E} = A_{\underline{E}} \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{T} \cdot t + \varphi_0\right)$$

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



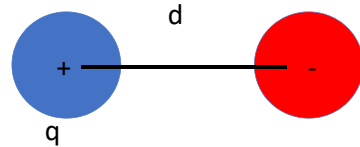
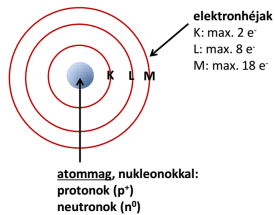
$$\text{IDŐ és TÉR: } c = \lambda \cdot f$$

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



Ismétlés II.

„Anyag”: Atomok és Molekulák



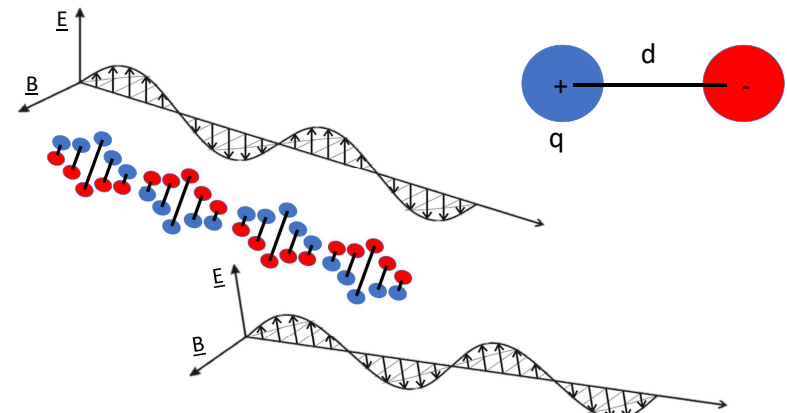
Dipólusmomentum vektor nagysága:

$$|\vec{d}| = d \cdot q$$

Polarizálhatóság (α): az egységnyi elektromos térerősség által létrehozott dipólus nagyságával egyezik meg

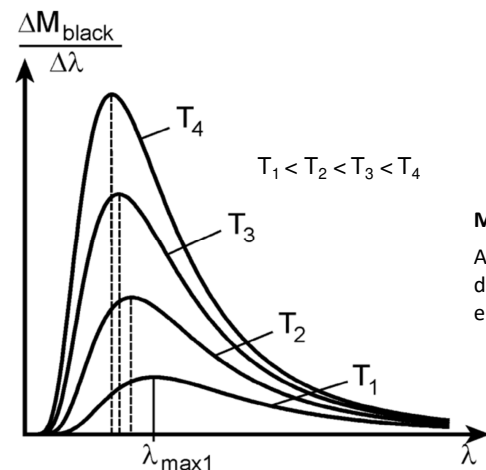
$$\vec{d} = \alpha \cdot \vec{E}$$

Ismétlés III. :Kölcsönhatások



Az abszolút fekete test

A fekete test emissziós színe (spektruma) **folytonos**.



Wien-féle eltolódási törvény

$$\lambda_{max} T = \text{állandó}$$

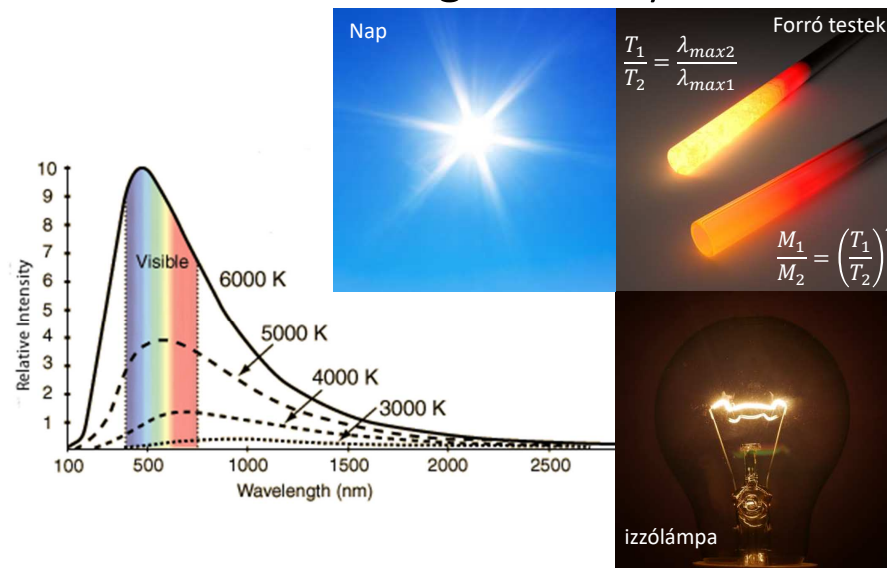
Max Planck sugárzási törvénye:

A fekete test sugárzás energiája diszkrét egységekben, *kvantumokban* emittál.

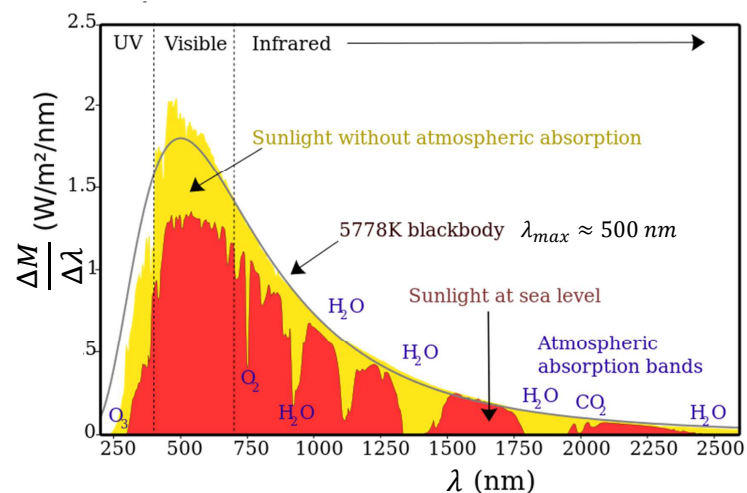
$$E = hf$$

$$h = 6.62 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

Hőmérsékleti sugárzó fényforrások



A napfény spektruma



Orvosi alkalmazás

Teletermográfia

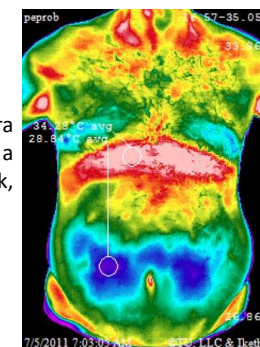
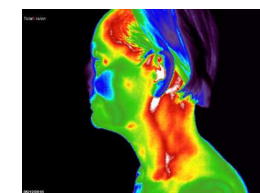
Az emberi test kisugárzott felületi teljesítményét méri az infravörös tartományban

Emberi test: $\lambda_{max} \approx 10 \mu m$ (IR)
 $\alpha \approx 0.95$ (95% -os fekete test)

A keletkezett kép hőmérsékleteloszlást mutat.



Orvosi infra szkennér



Olyan rendellenességek diagnosztikájára alkalmazható melyek megváltoztatják a szövet hőmérsékletét. Pl.: Gyulladások, tumorok, keringési rendellenességek.

Lumineszcencia

Spontán fotonemisszió egy gerjesztett állapotú elektron relaxációja során.

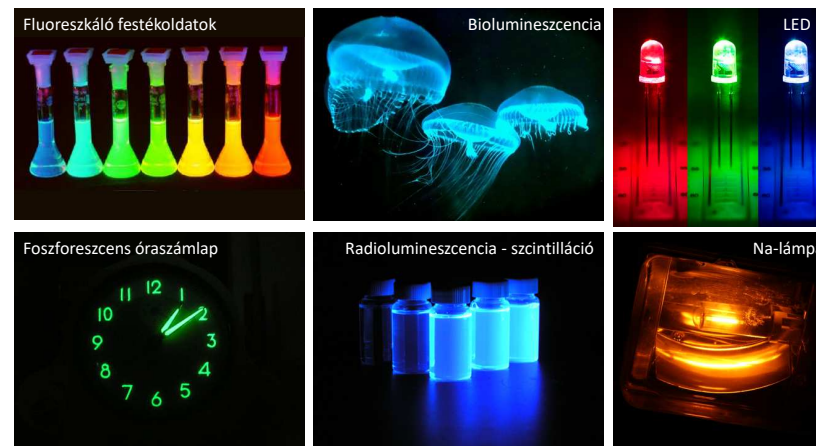
Elemi lépései:

- Külső energia elnyelése
- Gerjesztés
- Az energia elektromágneses sugárzás formájában történő leadása (emisszió)

Lumineszcencia típusai

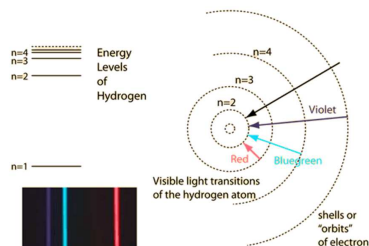
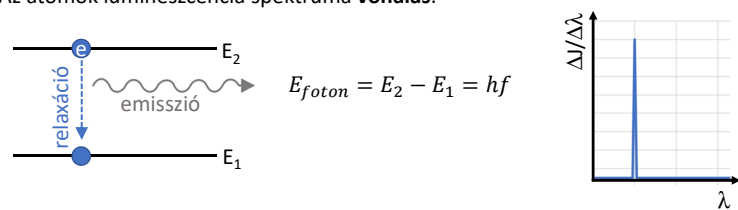
Gerjesztés módja	Név	Példa
Fény (VIS/UV)	Fotolumineszcencia	Fénycsövek
Elektromos	Elektrolumineszcencia	Hg gőz lámpa
Rádióaktív sugárzás	Radiolumineszcencia	NaI (Tl) (szcintillátor)
Mechanikai	Tribolumineszcencia	(kockacukor)
Biokémiai	Biolumineszcencia	Szentjánosbogár
Termikus	Termolumineszcencia	CaSO ₄ (Dy) (doziméter)

Relaxációs folyamat	Név	Példa
$S_1 - S_0$ (gyors)	Fluoreszcencia	Fluoreszcein
$T_1 - S_0$ (lassabb)	Foszforeszcencia	Foszfor



Atomok lumineszcenciája

Az atomok lumineszcencia spektruma **vonalas**.

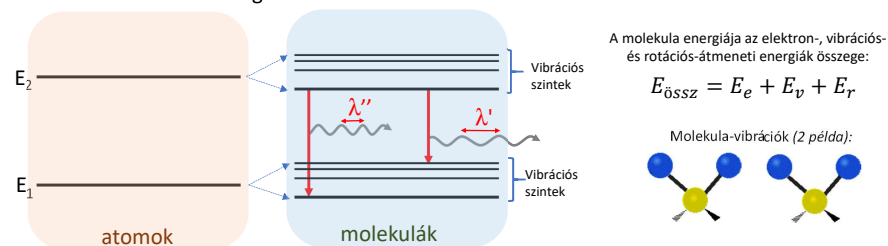


Lángfestés



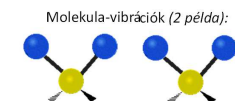
Molekulák lumineszcenciája

A diszkrét atomi energiaszintek felhasadnak **vibrációs szintekre**.

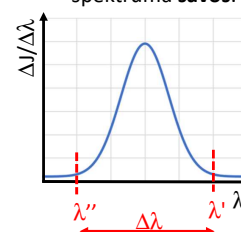


A molekula energiája az elektron-, vibrációs- és rotációs-átmeneti energiák összege:

$$E_{\text{össz}} = E_e + E_v + E_r$$



A molekulák lumineszcencia spektruma **sávós**.



A gerjesztett elektronok spinállapotai

Szingulett állapot (S)

Az eredő spinquantumszám

$$S = 0 (+1/2, -1/2)$$



Triplett állapot (T)

Az eredő spinquantumszám

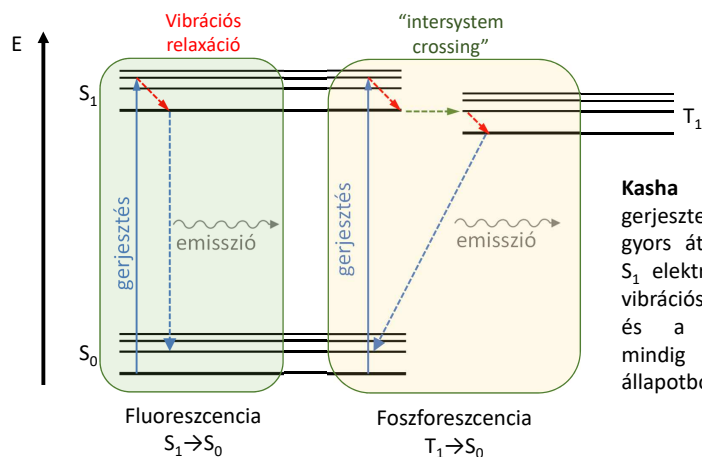
$$S = 1 (+1/2, +1/2)$$



A mágneses momentum orientációja: $2S + 1$

Molekulák lumineszcenciája

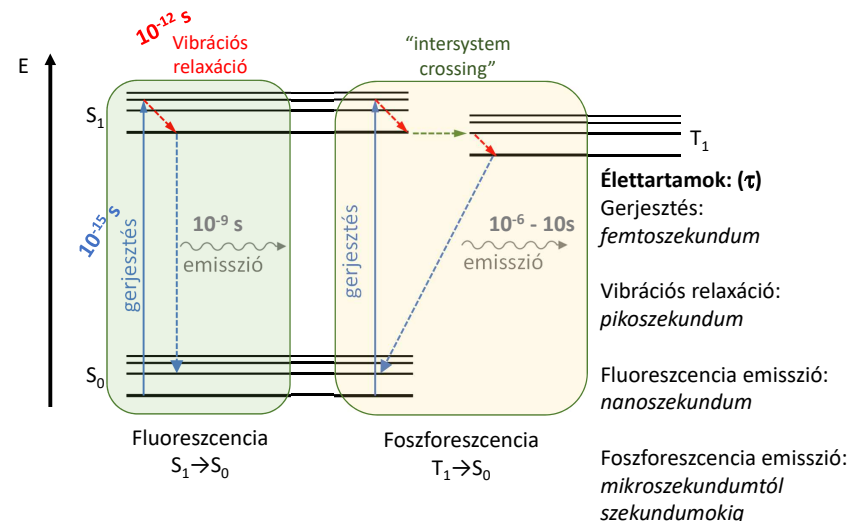
Jablonski diagram



Kasha szabály: A gerjesztett molekula gyors átmenetekkel az S_1 elektronállapot alap vibrációs szintjére kerül és a fotonemisszió mindig ebből az állapotból történik.

Molekulák lumineszcenciája

Jablonski diagram



Lumieszcencia jellemzése

Kvantumhatásfok (Q_F):

$$Q_F = \frac{k_f}{k_f + k_{nr}} = \frac{\text{emittált fotonok száma}}{\text{elnyelt fotonok száma}}$$

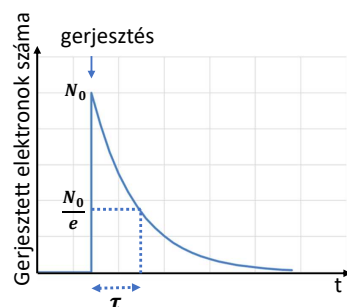
Lumineszcencia élettartam (τ):

$$N = N_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$\tau = \frac{1}{k_f + k_{nr}}$$

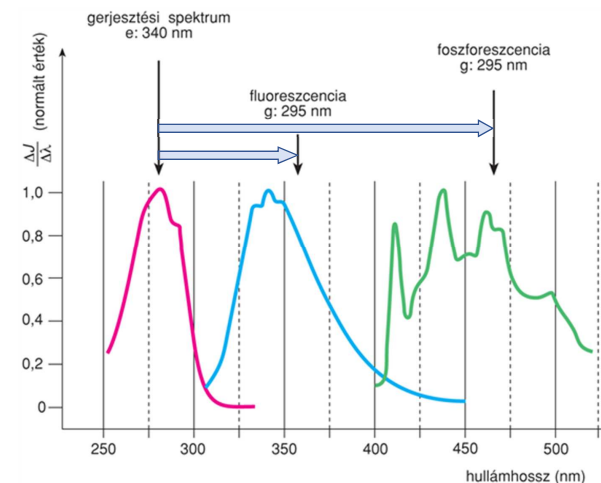
k_f : Emisszió reakciósebessége

k_{nr} : Nem emittáló átmenetek reakciósebessége



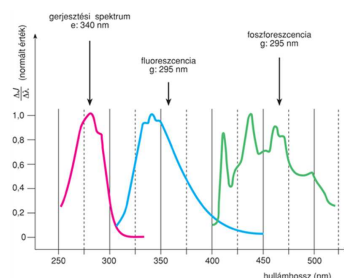
Stokes-féle eltolódás

Az energiavesztés miatt az emissziós spektrum a gerjesztésihez képest kisebb energiák felé tolódik.



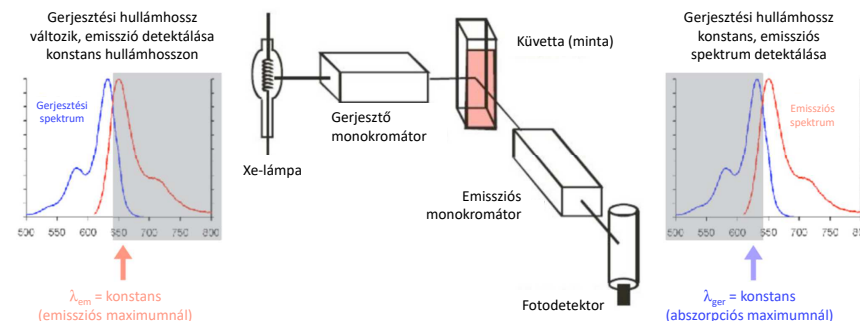
Az emissziós folyamatok összehasonlítása

	Fluoreszcencia	Foszforeszcencia
Relxáció	Szingulett állapotból $S_1 \rightarrow S_0$	Triplett állapotból $T_1 \rightarrow S_0$
Élettartam (τ)	Nanoszekundum	Mikroszekundumtól szekundumokig
Stokes-féle eltolódás	Kiessebb energiavesztés	Nagyobb energiavesztés (mert T_1 energiája alacsonyabb mint S_1 -é)



A lumieszcencia mérése

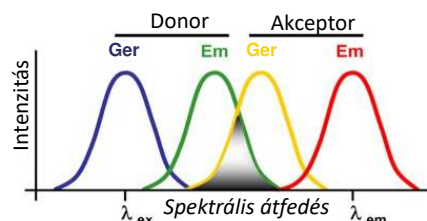
Spektrofluoriméter



Alkalmazások - FRET

Förster Rezonancia Energia Transzfer

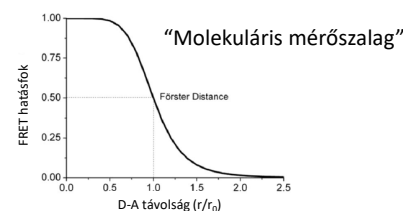
A gerjesztési energia egy donor molekuláról emisszió nélkül egy acceptor molekulára jut dipól-dipól kölcsönhatáson keresztül. Feltétele, hogy a donor emissziós és az acceptor gerjesztési spektruma átfedjen.



FRET hatásfok (E):

$$E = \frac{1}{1 + (r/r_0)^6}$$

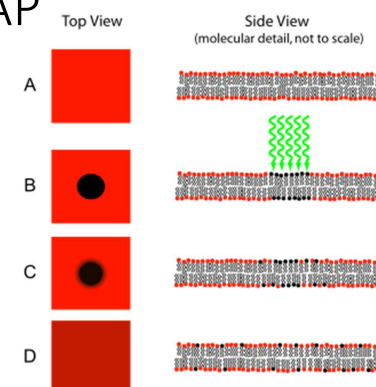
r_0 : Förster távolság



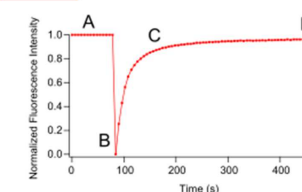
Alkalmazások - FRAP

Fluorescence Recovery After Photobleaching
(Fluoreszcencia visszatérése „photobleaching” után)

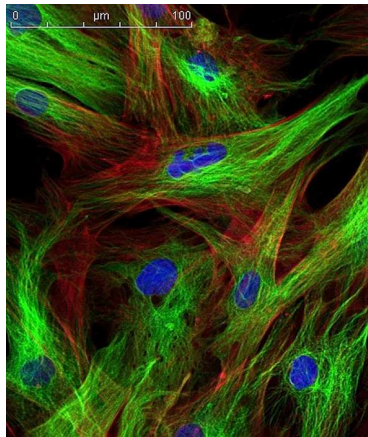
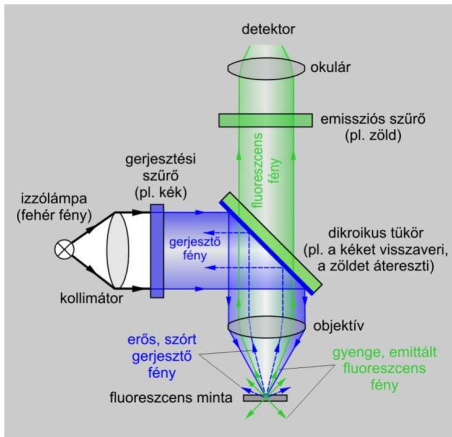
Photobleaching (Kiegész):
A fluoreszcencia képesség végleges elvesztése fotokémiai reakciók miatt.



Lipid molekulák
laterális diffúziója

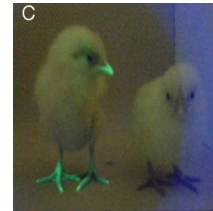
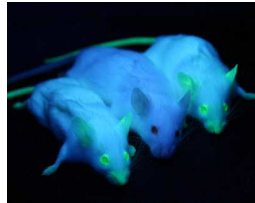


Fluoreszcencia mikroszkóp

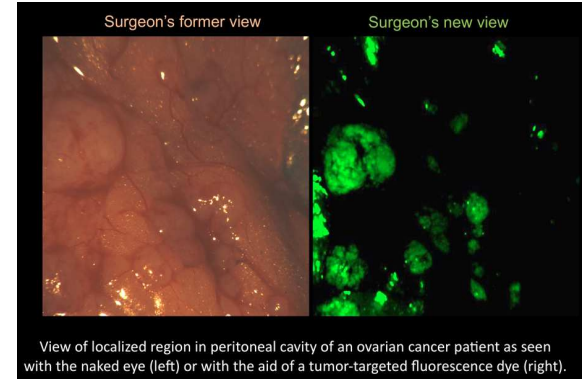


Orvosbiológiai alkalmazások

Fluoreszcens transzgenikus állatok



Fluoreszcencia a sebészetben



Színek

