

LUMINESZCENCIA

ALAPJAI, TULAJDONSÁGAI, MÉRÉSE

KELLERMAYER MIKLÓS

LUMINESZCENCIA MINDENÜTT



Fotolumineszcencia

LUMINESZCENCIA MINDENÜTT



Fotolumineszcencia

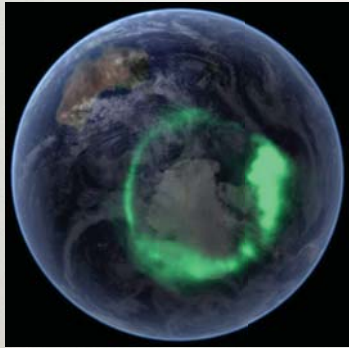
LUMINESZCENCIA MINDENÜTT



Radiolumineszcencia



LUMINESZCENCIA MINDENÜTT



Radiolumineszcencia
Aurora borealis (sarki fény)



LUMINESZCENCIA MINDENÜTT



Biolumineszcencia

LUMINESZCENCIA MINDENÜTT



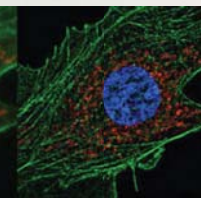
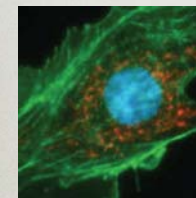
Biolumineszcencia
Szentjánosbogár



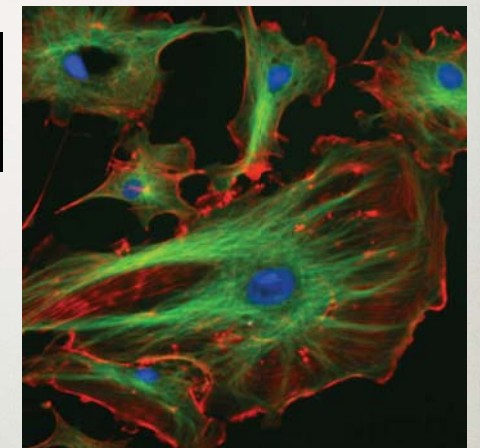
LUMINESZCENCIA MINDENÜTT



GFP-egér



Szuperrezolúciós mikroszkópia (Nobel-díj 2014)



Epifluoreszcencia mikroszkópia (citoszkeletális rendszer)

Fluoreszcencia

LUMINESZCENCIA

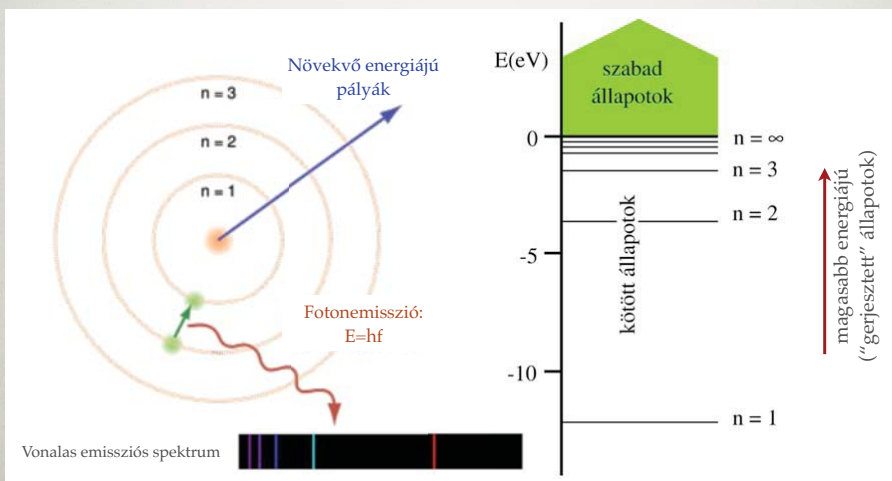
- Gerjesztett állapotból fényemisszióval járó relaxáció
- A hőmérsékleti sugárzáson felül kibocsátott sugárzás
- "Hideg fény"
- Fluoreszcencia és foszforeszcencia

LUMINESZCENCIA

- Molekula energiája
- Spinállapotok
- Lumineszcencia típusai
- Lumineszcencia átmenetei
- A lumineszcencia paraméterei
- A lumineszcencia mérése
- Polarizáció, anizotrópia
- Alkalmazások, néhány specialitás

ATOM FÉNYEMISSZIÓJA

A testek a hőmérsékleti sugárzáson felül képesek fényt kibocsátani - lumineszcencia



MOLEKULA ENERGIÁÁLLAPOTAI

A molekulák **vibrációs és rotációs** mozgásokat végeznek!

Vibráció: kovalens kötés *mentén* történő periodikus mozgás

Rotáció: kovalens kötés *tengelye körüli* periodikus mozgás

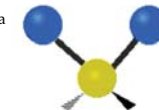
Born-Oppenheimer - közelítés:

$$E_{total} = E_e + E_v + E_r$$

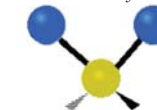
$$E_e \sim 100\times > E_v \sim 100\times > E_r$$

Példák a vibrációs mozgásra háromatomos (metilén) csoportban ($-\text{CH}_2-$):

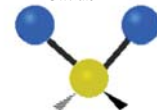
Aszimmetrikus nyúlás



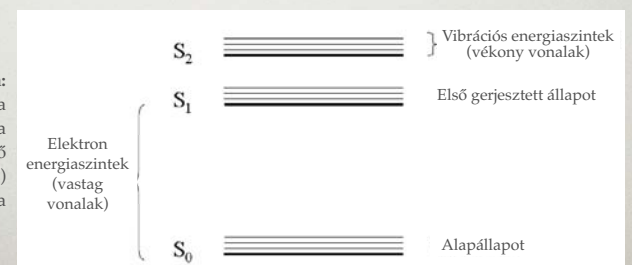
Szimmetrikus nyúlás



Ollózás



Jabloński-féle termséma: egy molekula elektronállapotait, és a közöttük végbemenő átmeneteket (nyilakkal) mutatja



SPINÁLLAPOTOK



Pauli-elv:

- Minden kvantumállapotot csak egyetlen elektron tölthet be.
- Egy atomon belül nem létezhet két olyan elektron, amelynek mind a négy kvantumszáma megegyezik.



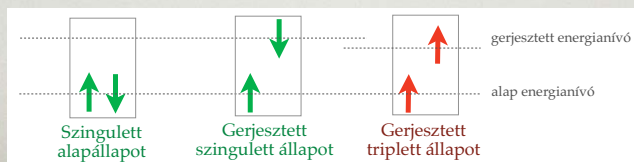
betöltött alhéj: spin párosítás
(ellentétes spinű elektronok párosodnak)

Szingulett és triplett állapotok:

az eredő spinállapothoz rendelt mágneses momentum orientációinak száma (mágneses térben) = $2S+1 = 1$ (szingulett) vagy 3 (triplett). (S = eredő spin, pl. betöltött alhéj esetén $(+1/2)+(-1/2) = 0$)

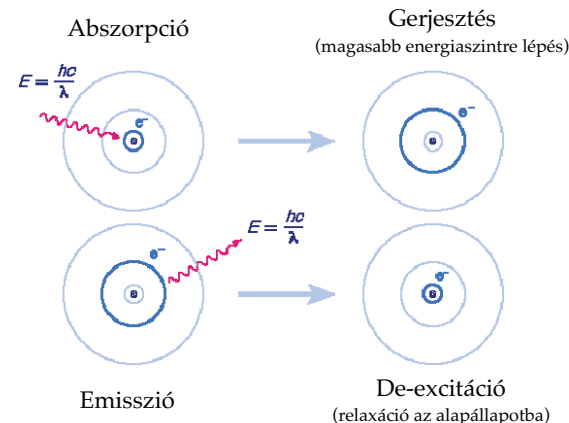
S: szingulett állapot: ellentétes spinű párosított elektronok, eredő spin (S) = 0, orientációk száma ($2S+1$) = 1.

T: triplett állapot: a molekulában azonos spinállapotú elektronok vannak, eredő spin = 1 (pl. $(+1/2)+(+1/2) = 1$), orientációk száma ($2S+1 = 2+1$) = 3.



A LUMINESZCENCIA EGYSZERŰSÍTETT LÉPÉSEI

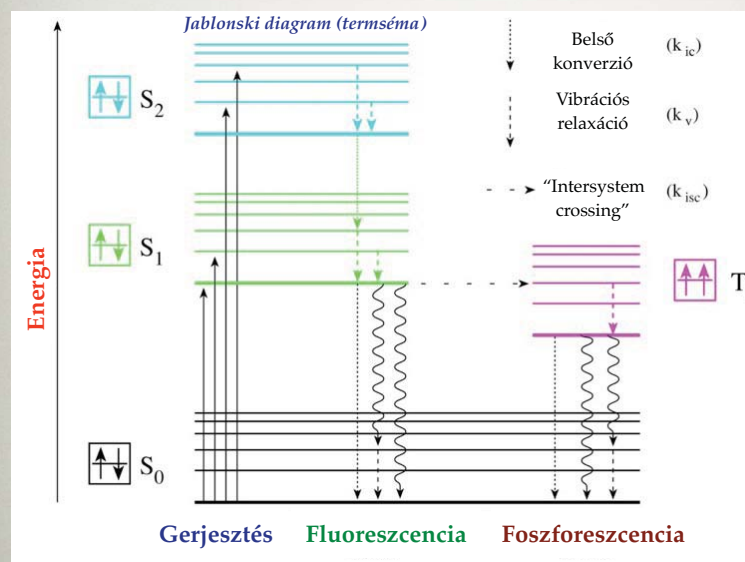
(Atomi rendszer!)



A LUMINESZCENCIA TÍPUSAI

Gerjesztés módja szerint	Lumineszcencia típusa
abszorpció	fotolumineszcencia
kémiai reakció	kemilumineszcencia, biolumineszcencia
termikusan aktivált ion-rekombináció	termolumineszcencia
töltés injekció	elektrolumineszcencia
nagyenergiájú radioaktív sugárzás	radiolumineszcencia
súrlódás	tribolumineszcencia
hanghullámok	szonolumineszcencia
Gerjesztett állapot szerint	Lumineszcencia típusa
első gerjesztett szingulett állapot	fluoreszcencia
legalsó (gerjesztet) triplett állapot	foszforeszcencia

A LUMINESZCENCIA FOLYAMATAI



Belső konverzió: sugárzásmentes átmenet elektron energiaállapotok között (pl. $S_2 \rightarrow S_1$)

Vibrációs relaxáció: egy adott elektron energiaállapon belüli de-excitációs folyamat

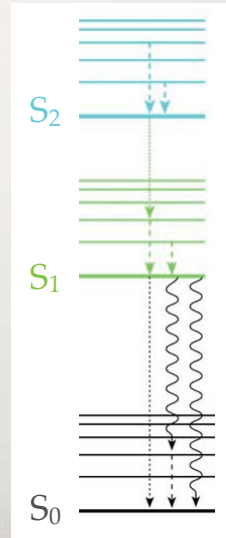
"Intersystem crossing": rendszerek közötti, spinátfordulással járó átmenet (pl. $S_1 \rightarrow T_1$)

KASHA-SZABÁLY

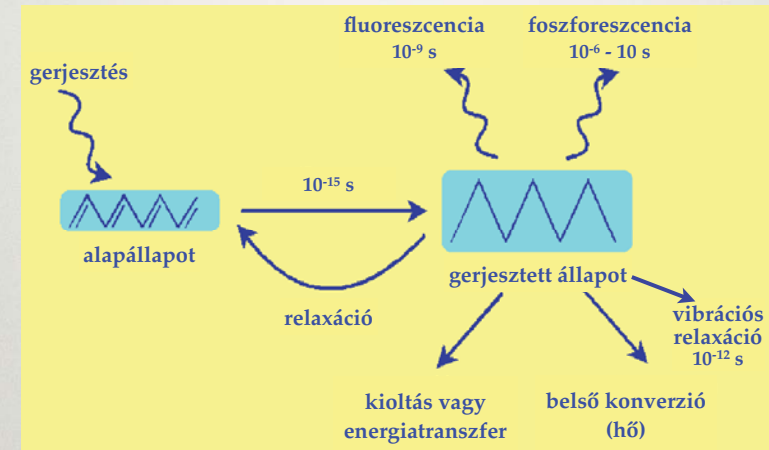
Fotonemisszió (fluoreszcencia vagy foszforeszcencia) a legalacsonyabb gerjesztett elektron-energiaállapot (S_1 , T_1) legalacsonyabb vibrációs szintjéről történő átmenet során lép fel.



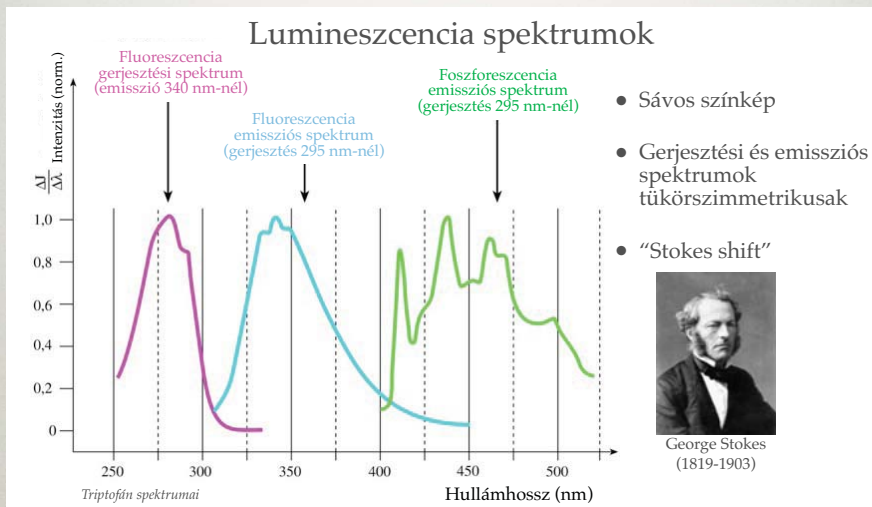
Michael Kasha (1920-)
Amerikai fizikus



AZ ÁTMENETEK SEBESSÉGE (IDŐSKÁLÁJA)



A LUMINESZCENCIA TULAJDONSÁGAI I.



Fluoreszcens festékmolekulák: "fluorofórok"
Fluorofórok célzott bekötésével nem fluoreszkáló molekulák is vizsgálhatóvá válnak ("fluoreszcens jelölés")

A LUMINESZCENCIA TULAJDONSÁGAI II.

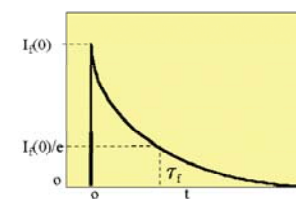
Kvantumhatásfok

$$\Phi = \frac{\text{emittált fotonok száma}}{\text{abszorbeált fotonok száma}} \leq 1$$

$$\Phi = \frac{k_f}{k_f + k_{ic} + k_{isc} + k_Q}$$

k_{nr} = nem sugárzásos átmenetek sebességi állandói

A gerjesztett állapot élettartama



$$\frac{dN}{dt} = -(k_f + k_{nr}) \cdot N$$

$$N = N_0 e^{-(k_f + k_{nr})t}$$

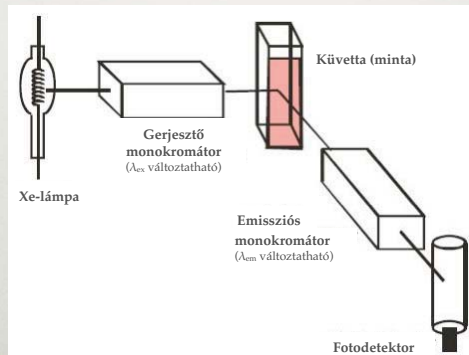
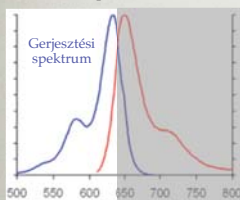
$$\tau = \frac{1}{k_f + k_{nr}}$$

N = gerjesztett állapotú molekulák száma
 t = idő
 k_f = fluoreszcencia sebességi állandó
 k_{nr} = nem-sugárzásos átmenetek sebességi állandója
 τ = fluoreszcencia élettartam

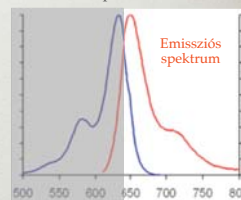
A FLUORESZCENCIA MÉRÉSE

Fluoreszcencia spektrométer (“Steady-state” spektrofluoriméter)

Gerjesztési hullámhossz
változtatásával felvett
spektrum

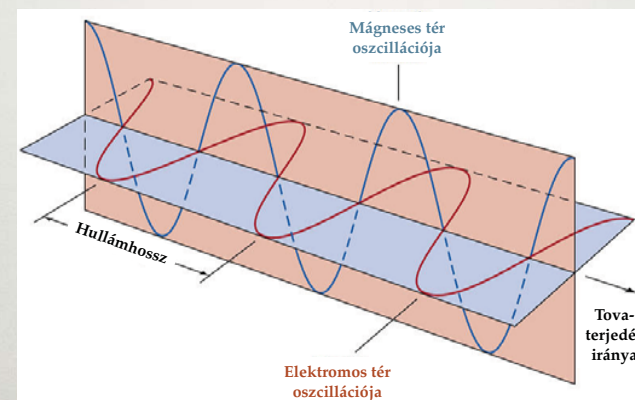


Emissziós hullámhossz
változtatásával felvett
spektrum

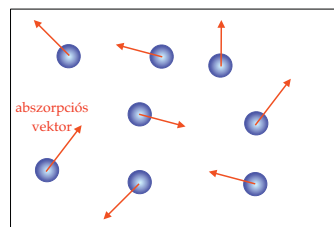


A FÉNY ELEKTROMÁGNESES HULLÁM→POLARIZÁLHATÓ

- Térben tovaterjedő elektromágneses zavar.
- Tranzverzális hullám.
- Ezért polarizálható.



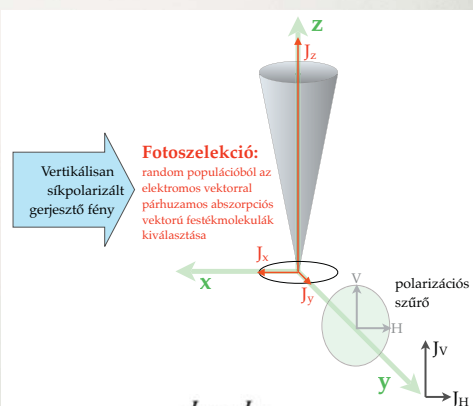
GERJESZTÉS POLARIZÁLT FÉNNYEL



Fluorofórokhoz rendelhető **abszorpciós és emissziós vektor**: megszabja a foton abszorpció és emisszió valószínűségét.

Abszorpció maximális, ha az absz. vektor és a fény elektromos térerővektora párhuzamos.

Abszorpció képessége függ $\cos^2\alpha$ -tól (α az absz. vektor és a fény elektromos vektora közötti szög).



Polarizáció:
$$p = \frac{J_{VV} - J_{VH}}{J_{VV} + J_{VH}}$$

Anizotropia:
$$r = \frac{J_{VV} - J_{VH}}{J_{VV} + 2J_{VH}}$$

- additív mennyiség
- nevezőben a teljes gerjesztő intenzitás ($J_{VH} = J_{VH1} + J_{VH2}$)