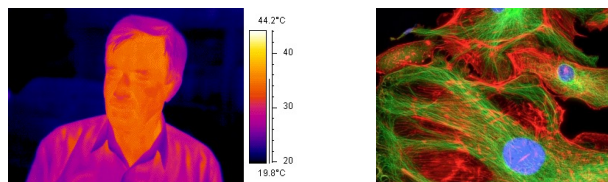


A fénykibocsátás mechanizmusai

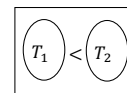
Hőmérsékleti sugárzás és lumineszcencia



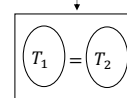
Mártonfalvi Zsolt

1

Hőmérsékleti sugárzás



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

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

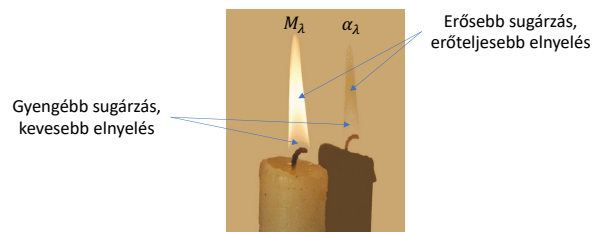
M és α erősen függenek a test termodinamikai hőmérsékletétől!

2

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):

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



3

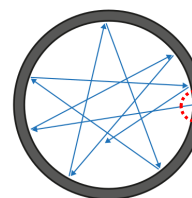
Az abszolút fekete test

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!

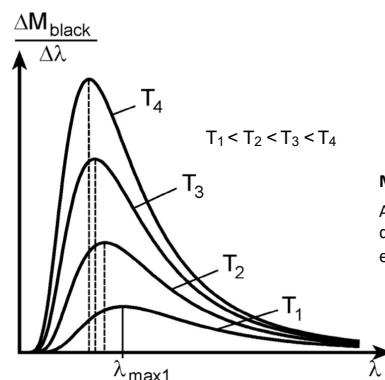
Stefan-Boltzmann törvény:

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

4

Az abszolút fekete test

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



Wien-féle eltolódási törvény

$$\lambda_{\text{max}} T = \text{állandó}$$

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{2897,8 \mu\text{m} \cdot \text{K}}{T}$$

Max Planck sugárzási törvénye:

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

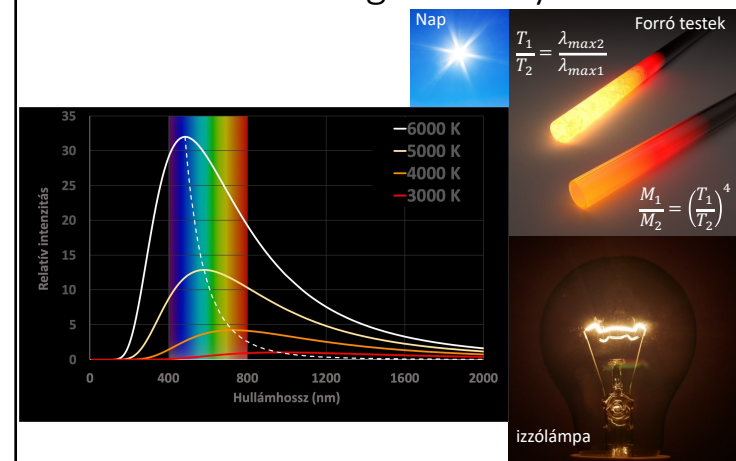
$$E = hf$$

$$h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

$$M_{(f)} = \frac{2\pi h f^3}{c^2} \cdot \frac{1}{e^{\left(\frac{hf}{k_B T}\right)} - 1}$$

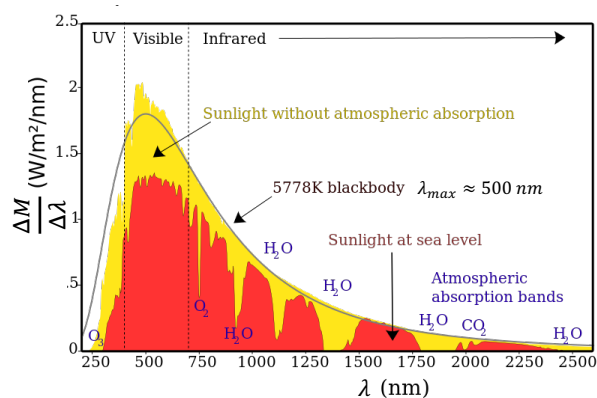
5

Hőmérsékleti sugárzó fényforrások



6

A napfény spektruma



7

Orvosi alkalmazás

Teletermográfia

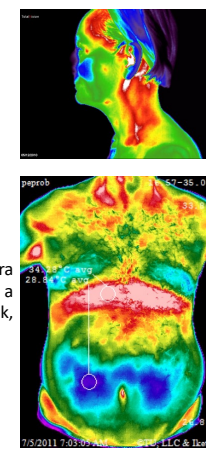
Az emberi test kisugárzott felületi teljesítményét méri az infravörös tartományban

Emberi test: $\lambda_{\text{max}} \approx 10 \mu\text{m}$ (IR)
 $\alpha \approx 0,95$ (95%-os fekete test)

A keletkezett kép hőmérsékleteloszlást mutat.



Orvosi infra szkennerek



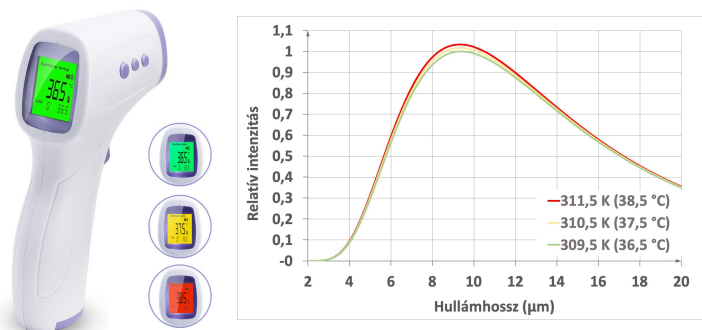
Olyan rendellenességek diagnosztizálására alkalmazható melyek megváltoztatják a szövet hőmérsékletét. Pl.: Gyulladások, tumorok, keringési rendellenességek.

8

Orvosi alkalmazások

Érintés mentes ("non-contact") lázmérő

1 °C of hőmérséklet emelkedés mindössze ~1.5%-al növeli a kisugárzott felületi teljesítményt az emissziós maximumon! Az emberi test emissziós maximuma az infravörös tartományba ($\lambda_{\text{max}} \sim 9 \mu\text{m}$) esik.



9

Lumineszcencia

Spontán fotonemisszió egy gerjesztett állapotú elektron relaxációja során.

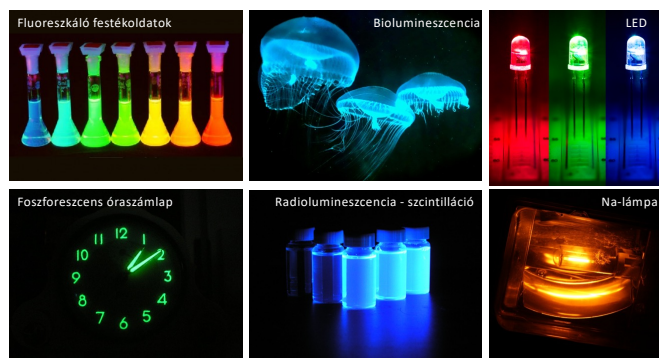
Elemi lépései:

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

Lumineszcencia típusai

Gerjesztés módja	Név	Példa
Fény (VIS/UV)	Fotolumineszcencia	Fénycsőek (fénypor)
Elektromos	Elektrolumineszcencia	Hg gőz lámpa
Rádióaktív sugárzás	Radiolumineszcencia	Nal (TI) (szcintillátor)
Mechanikai	Tribolumineszcencia	Ütés, surlódás
Biokémiai	Biolumineszcencia	Szentjánosbogár
Termikus	Termolumineszcencia	CaSO ₄ (Dy) (dozíméter)
Relaxációs folyamat	Név	Példa
$S_1 - S_0$ (gyors)	Fluoreszcencia	Fluorescein
$T_1 - S_0$ (lassabb)	Foszforeszcencia	Foszfor

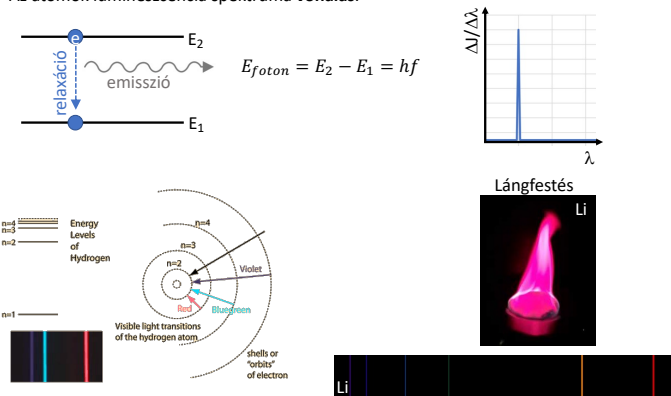
10



11

Atomok lumineszcenciája

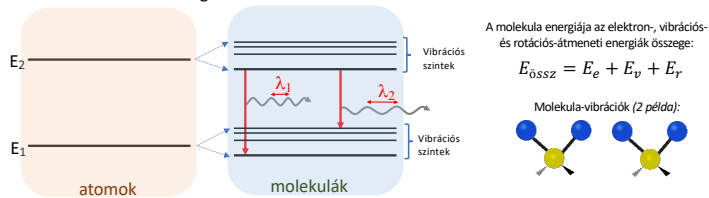
Az atomok lumineszcencia spektruma **vonalas**.



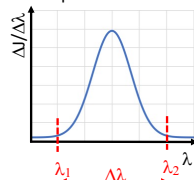
12

Molekulák lumineszcenciája

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



A molekulák lumineszcencia spektruma **sávos**.



A gerjesztett elektronok spinállapotai

Szingulett állapot (S)
Az eredő spinquantumszám
 $S = 0 (+1/2, -1/2)$



Triplett állapot (T)
Az eredő spinquantumszám
 $S = 1 (+1/2, +1/2)$

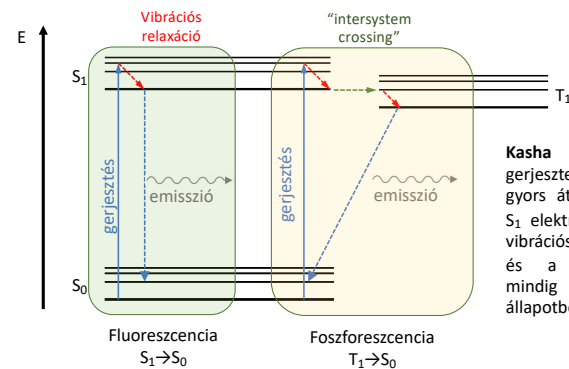


A mágneses momentum orientációja: $2S + 1$

13

Molekulák lumineszcenciája

Jablonsky diagram

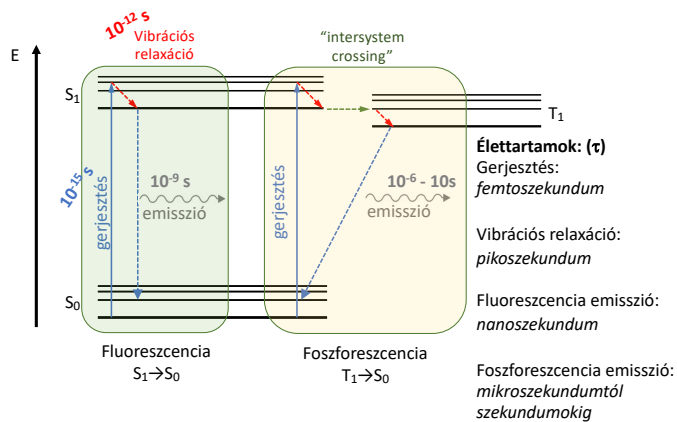


Kasha szabály: A gerjesztett molekula gyors átmenetekkel az S_1 elektronállapot alap vibrációs szintjére kerül és a fotonemisszió mindig ebből az állapotból történik.

14

Molekulák lumineszcenciája

Jablonsky diagram



15

Lumieszcencia jellemzése

Kvantumhatásfok (Q_F):

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

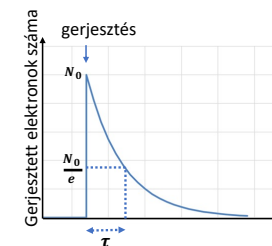
Lumineszcencia élettartam (τ):

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

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

k_f : Emisszió reakciósebessége

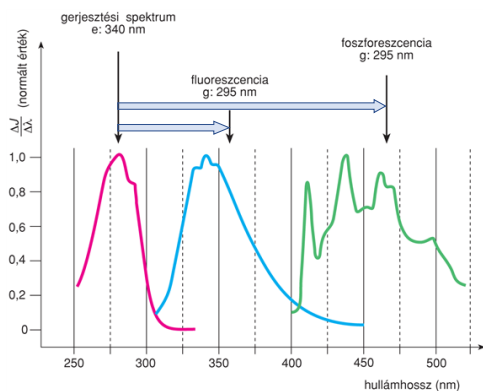
k_{nr} : Nem emittáló átmenetek reakciósebessége



16

Stokes-féle eltolódás

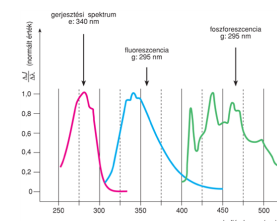
Az energiavesztés miatt az emissziós spektrum a gerjesztésihez képest kisebb energiák felé tolódik.



17

Az emissziós folyamatok összehasonlítása

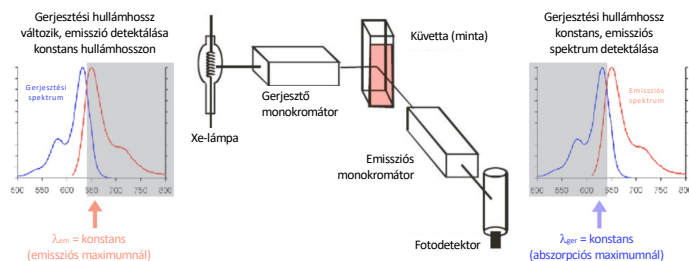
	Fluoreszcencia	Foszforeszcencia
Relxáció	Szingulett állapotból $S_1 \rightarrow S_0$	Triplett állapotból $T_1 \rightarrow S_0$
Élettartam (τ)	Nanoszekundum	Mikroszekundumtól szekundumokig
Stokes-féle eltolódás	Kisebbségi energiavesztés	Nagyobb energiavesztés (mert T_1 energiája alacsonyabb mint S_1 -é)



18

A lumineszcencia mérése

Spektrofluoriméter

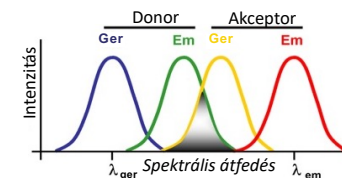


19

Alkalmazások - FRET

Förster Rezonancia Energia Transzfer

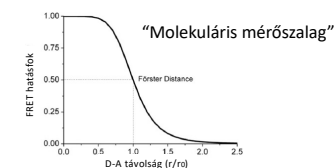
A gerjesztési energia egy donor molekuláról emisszió nélkül egy akceptor molekulára jut dipól-dipól kölcsönhatáson keresztül. Feltétele, hogy a donor emissziós és az akceptor gerjesztési spektruma átfedjen.



FRET hatásfok (E):

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

r_0 : Förster távolság

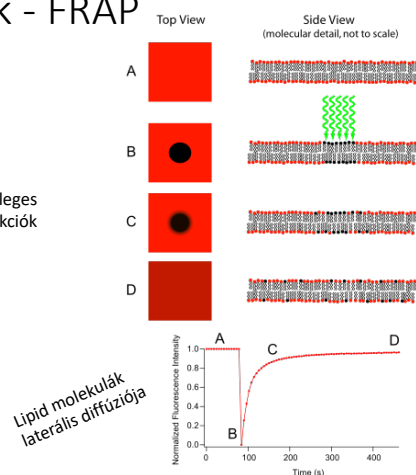


20

Alkalmazások - FRAP

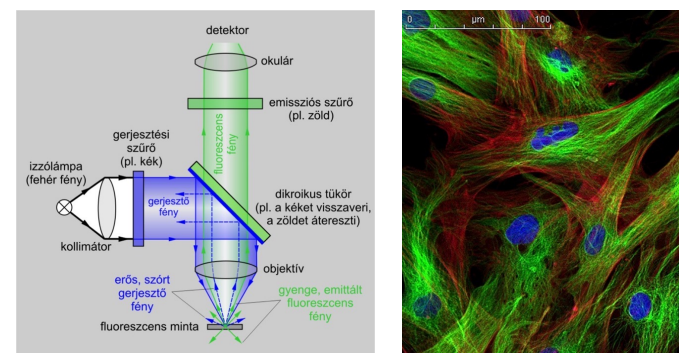
Fluorescence Recovery After Photobleaching
(*Fluoreszcencia visszatérése „photobleaching” után*)

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



21

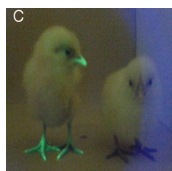
Fluoreszcencia mikroszkóp



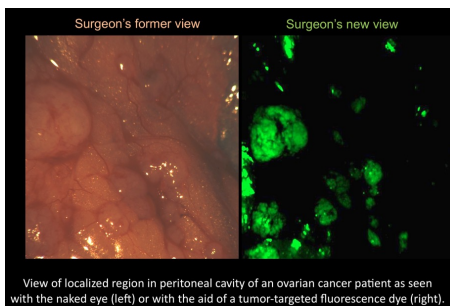
22

Orvosbiológiai alkalmazások

Fluoreszcens transzgenikus
állatok



Fluoreszcencia a sebészetben



23