

# A fény keletkezése

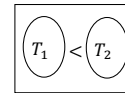
## Hőmérsékleti sugárzás és lumineszcencia



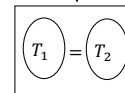
Mártonfalvi Zsolt

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 ( $\alpha$ )

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

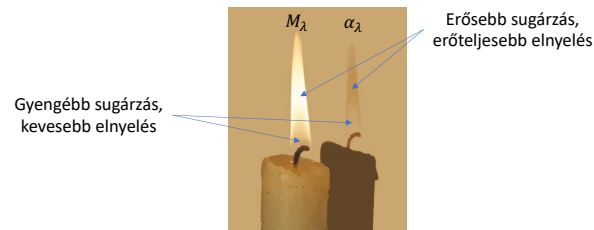
$M$  és  $\alpha$  erősen függenek a test termodinamikai hőmérsékletétől!

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 ( $\lambda$ ):

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



3

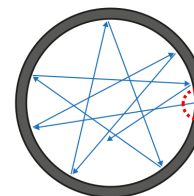
## Az abszolút fekete test

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!

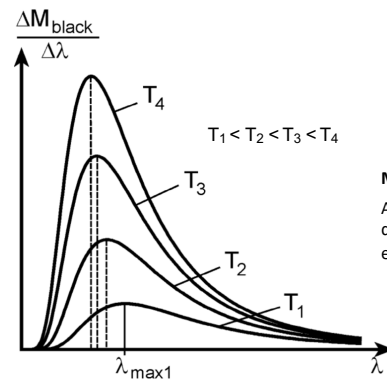
Stefan-Boltzmann törvény:

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

4

## Az abszolút fekete test

A fekete test emissziós színeke (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.

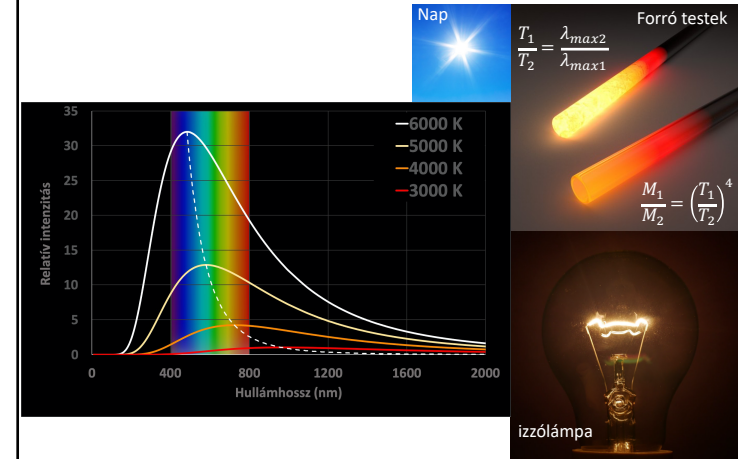
$$E = hf$$

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

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

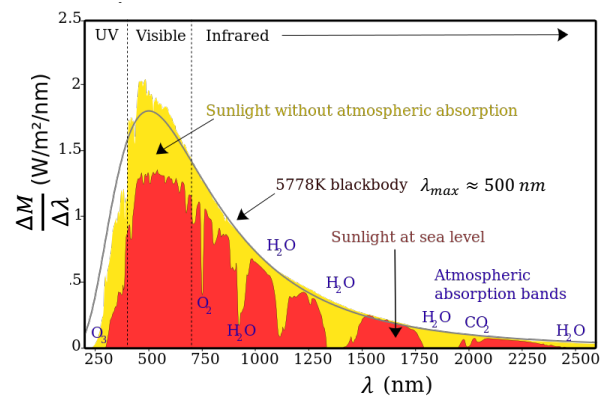
5

## Hőmérsékleti sugárzó fényforrások



6

## A napfény spektruma



7

## Orvosi alkalmazás

### Teletermográfia

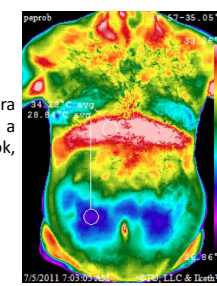
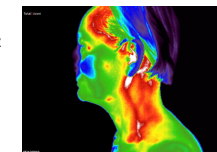
Az emberi test kisugárzott felületi teljesítményét méri az infravörös tartományban

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

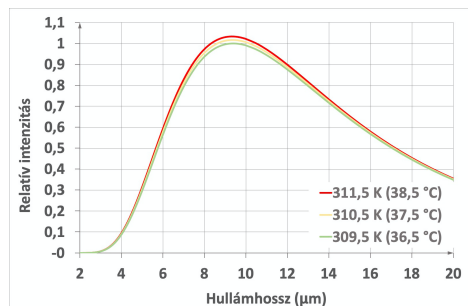


8

## 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.

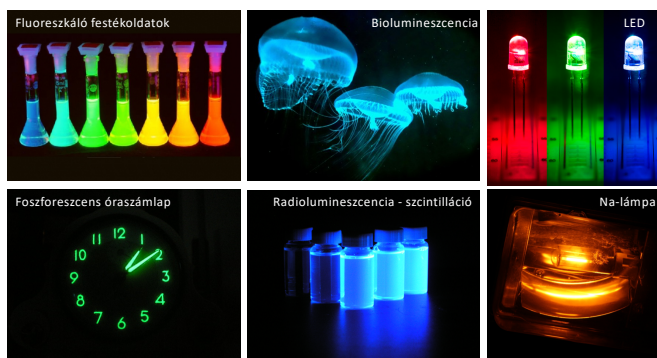
Elemi lépései:

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

### Lumineszcencia típusai

Gerjesztés módja	Név	Példa
Fény (VIS/UV)	Fotolumineszcencia	Fénycsővek
Elektromos	Elektrolumineszcencia	Hg gőz lámpa
Rádióaktív sugárzás	Radiolumineszcencia	Nal (TI) (szcintillátor)
Mechanikai	Tribolumineszcencia	(kockacukor)
Biokémiai	Biolumineszcencia	Szentjánosbogár
Termikus	Termolumineszcencia	CaSO <sub>4</sub> (Dy) (doziméter)
Relaxációs folyamat	Név	Példa
$S_1 - S_0$ (gyors)	Fluoreszcencia	Fluorescein
$T_1 - S_0$ (lassabb)	Foszforeszcencia	Foszfor

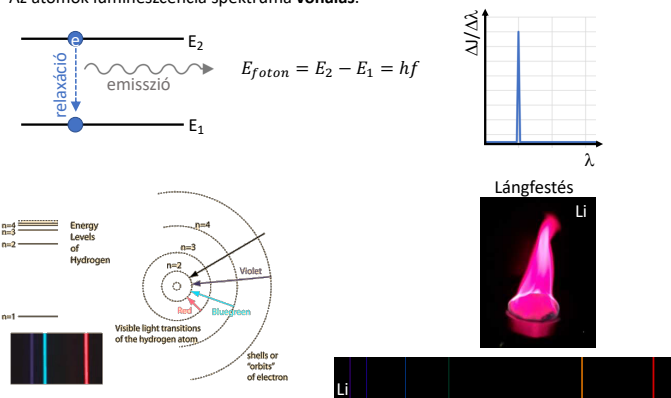
10



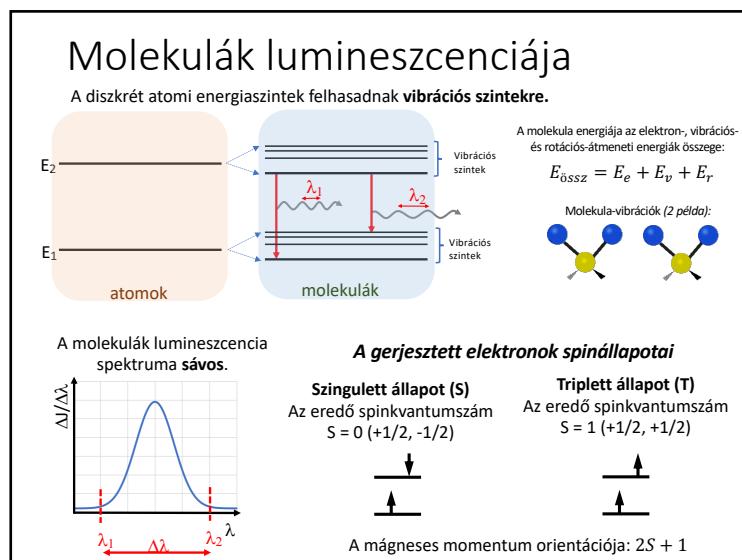
11

## Atomok lumineszcenciája

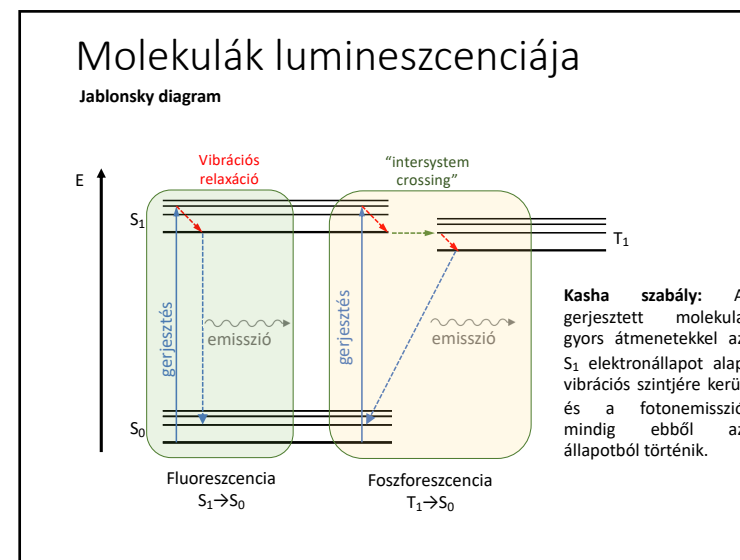
Az atomok lumineszcencia spektruma **vonalas**.



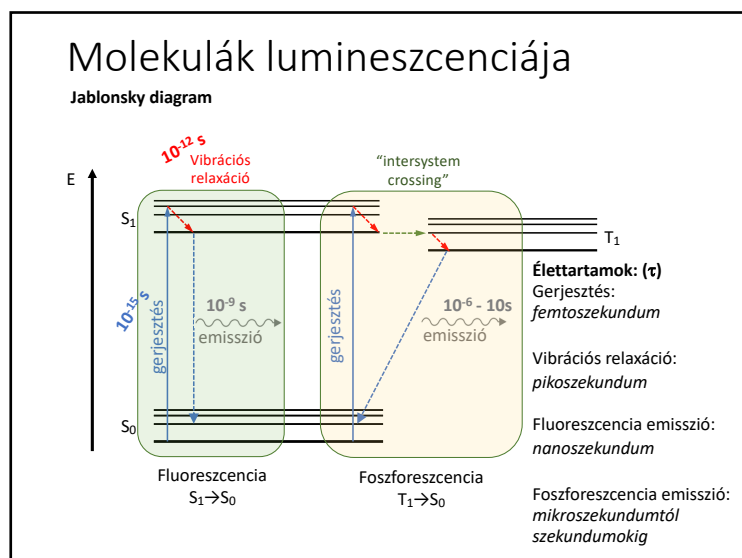
12



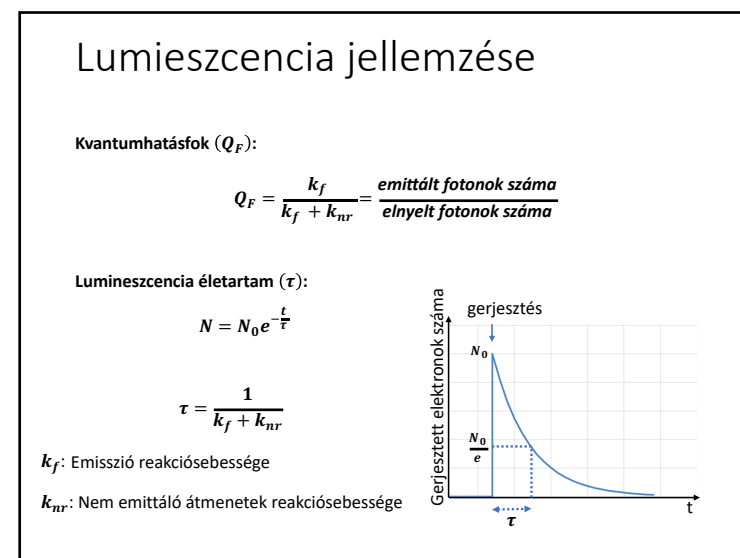
13



14



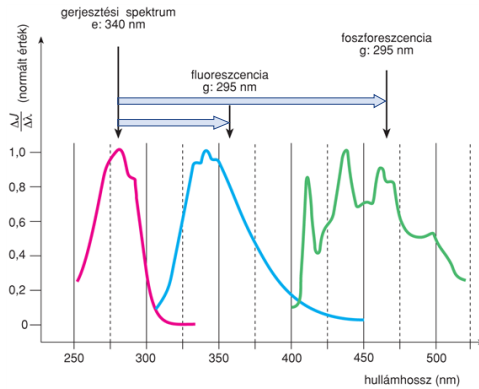
15



16

## Stokes-féle eltolódás

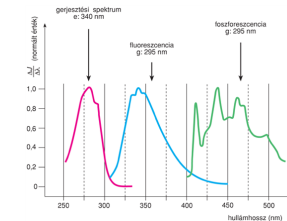
Az energiavesztés miatt az emissziós spektrum a gerjesztésihez képest kisebb energiák felé tolódik.



17

## Az emissziós folyamatok összehasonlítása

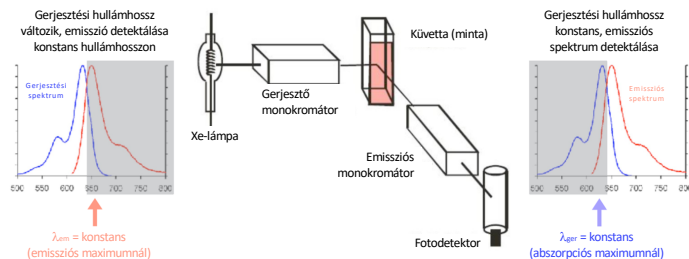
	Fluoreszcencia	Foszforeszcencia
Relxáció	Szingulett állapotból $S_1 \rightarrow S_0$	Triplett állapotból $T_1 \rightarrow S_0$
Élettartam ( $\tau$ )	Nanoszekundum	Mikroszekundumtól szekundumokig
Stokes-féle eltolódás	Kisebbségi energiavesztés	Nagyobb energiavesztés (mert $T_1$ energiája alacsonyabb mint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



18

## A lumineszcencia mérése

### Spektrofluoriméter

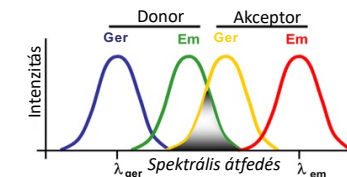


19

## Alkalmazások - FRET

### Förster Rezonancia Energia Transzfer

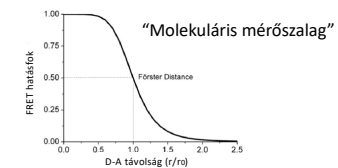
A gerjesztési energia egy donor molekuláról emisszió nélkül egy akceptor molekulára jut dipól-dipól kölcsönhatáson keresztül. Feltétele, hogy a donor emissziós és az akceptor gerjesztési spektruma átfedjen.



FRET hatásfok ( $E$ ):

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

$r_0$ : Förster távolság

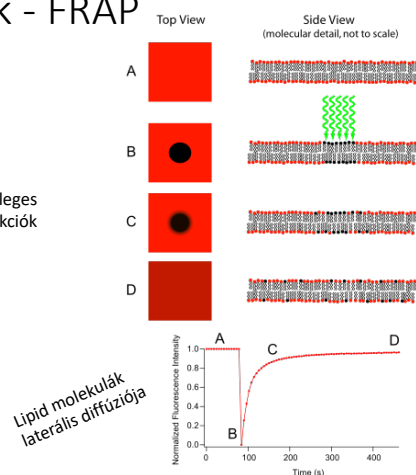


20

## Alkalmazások - FRAP

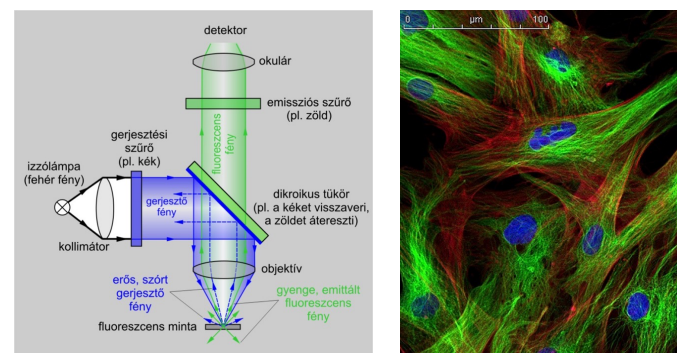
Fluorescence Recovery After Photobleaching  
(*Fluoreszcencia visszatérése „photobleaching” után*)

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



21

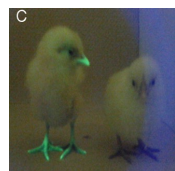
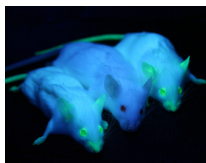
## Fluoreszcencia mikroszkóp



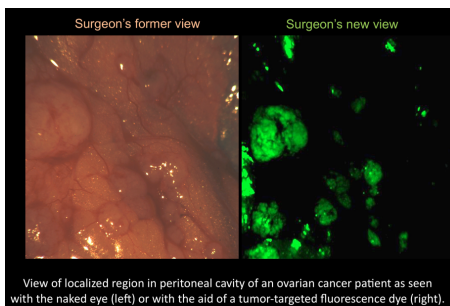
22

## Orvosbiológiai alkalmazások

Fluoreszcens transzgenikus állatok



Fluoreszcencia a sebészetben



23