

Fényforrások

(Fényt szolgáltató jelenségek: UV-VIS-IR)

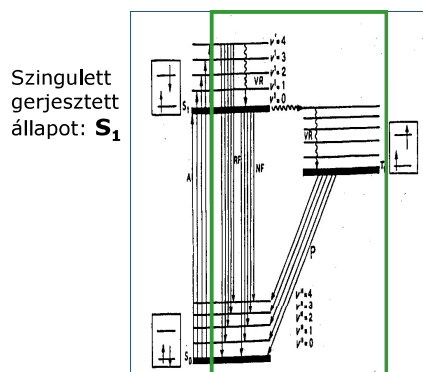
A fény mint eszköz a gyógyításban és a kutatásban

Dr. Fidy Judit
egyetemi tanár
2018 február 21

Lumineszcencia:

spontán fényemisszió gerjesztett elektron-állapotból

Aromás szénhidrogének:
Alapállapotban kompenzált spinű elektronok



Szingulett gerjesztett állapot: S_1

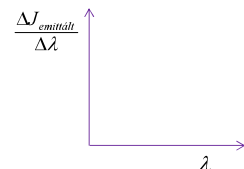
Szingulett alapállapot: S_0 $\sum s_i = 0$

$S_1 \rightarrow S_0$ Fluoreszcencia
 $T_1 \rightarrow S_0$ Foszforeszcencia

Tiltott átmenet! Kis valószínűségű!

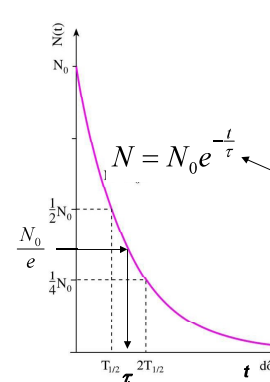
Triplett gerjesztett állapot: T_1 $\sum s_i = 1$

emittált foton energiája/színe meghatározott
→ emissziós spektrumok



Mitől függ a rtg. sugárzás elnyelődési valószínűsége (abszorpció együtthatója)?
Soroljon fel legalább két tényezőt.

A gerjesztett állapot élettartama



Gerjesztés után az elektronok visszatérnek alapállapotukba →

Rövid időtartamú (impulzus) gerjesztés után az emittált fény intenzitása **exponenciálisan csökken az idővel**

A függvény paramétere τ
a „gerjesztett állapot élettartama”

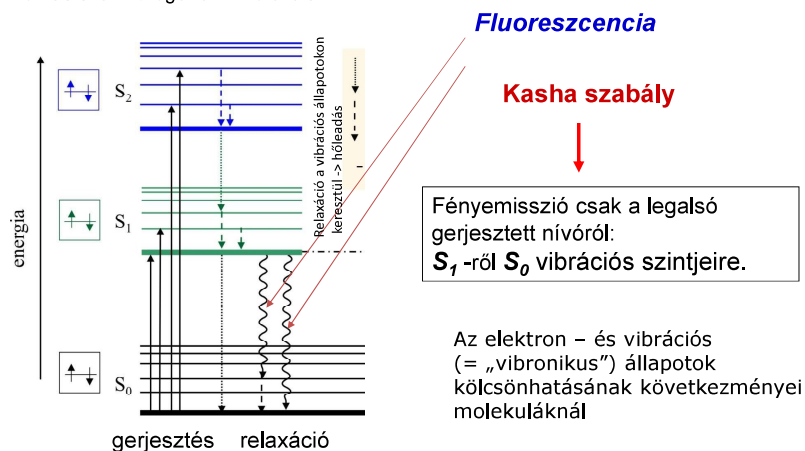
Az S_1 állapot élettartama **rövid** $\sim 10^{-9}s$

A T_1 állapot élettartama **hosszú** $\sim \mu s - s$

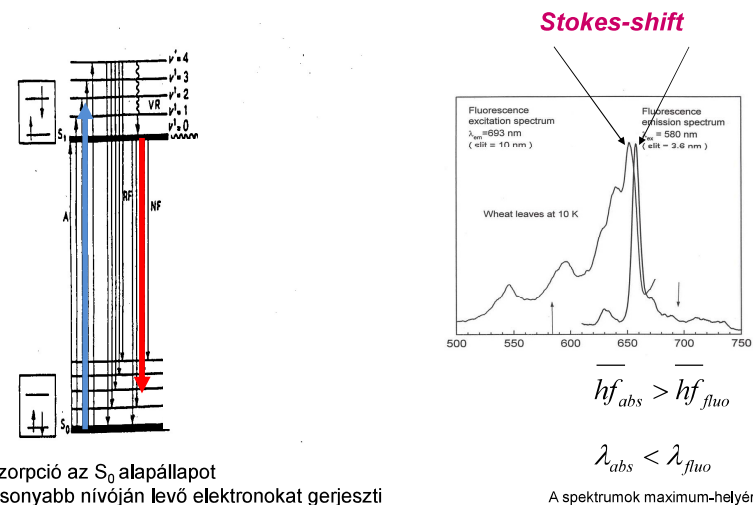
N_0 a $t=0$ pillanatban gerjesztett molekulák száma, N a t pillanatban még nem relaxált gerjesztett molekuláké.

Gerjesztés után vibronikus relaxáció és/vagy fénypoton-emisszió

Aromás szénhidrogének - molekulák



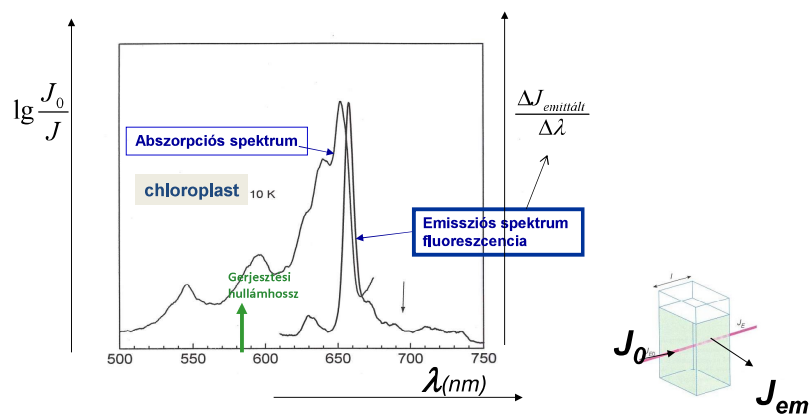
A gerjesztési $S_0 \rightarrow S_1$ és az emissziós fluoreszcencia-átmenetek $S_1 \rightarrow S_0$ foton-energiái különbözőek molekuláknál



Példa: Fotolumineszcencia – fluoreszcencia emissziós spektrum

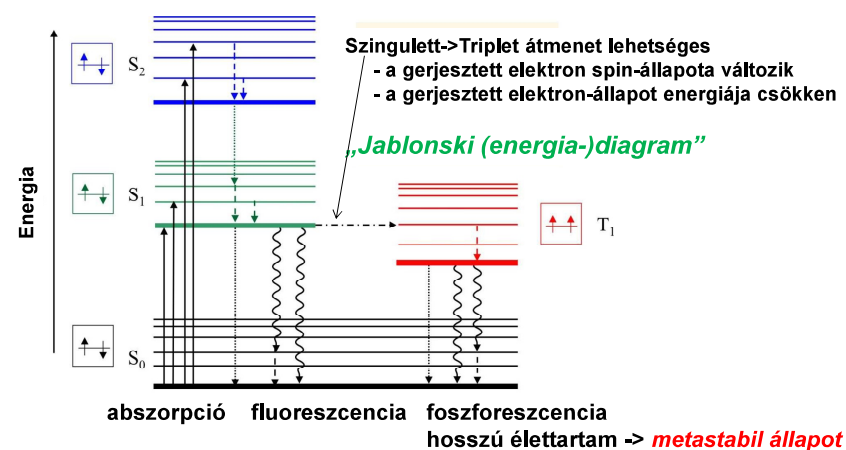
Emissziós és abszorpciós spektrum: ugyanazon mintán

Maximumok normálva



Molekula – kölcsönhatásban a környezettel „sávos” spektrumok

Foszforeszcencia



Lumineszcencia előfeltétele: gerjesztett elektron-állapot

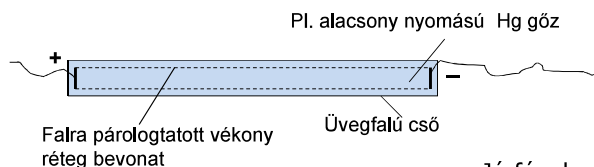
Gerjesztés lehetséges módjai:

- Fotonabszorpció-> **fotolumineszcencia**
- Elektromos térrel gyorsított töltéshordozókkal való ütközés -> **elektrolumineszcencia**
- Kémiai/biológiai reakció energiája -> **kemo/bio-lumineszcencia**
- Mechanikai deformáció -> **tribolumineszcencia**
- Magasabb hőmérséklet/Boltzmann eloszlás -> **termolumineszcencia**

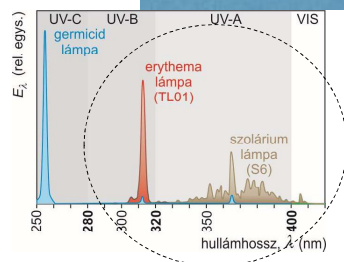
Lumineszcencia formái - összefoglalás:

- fluoreszcencia: rövid lecsengési idő (élettartam) – nanosecundum, ns
($S_1 \rightarrow S_0$)
az emissziós spektrum az abszorpciós spektrumhoz képes hosszabb λ -n
- foszforeszcencia: hosszú lecsengési idő (élettartam) – microsec - millisec. –sec
($T_1 \rightarrow S_0$)
igen kis intenzitás
az emissziós spektrum a fluoreszcencia spektrumhoz képes hosszabb λ -n

A fluoreszcencia gyakorlati alkalmazása: lámpák Fénycsövek



A gáz-töltet elektrolumineszcenciája (Hg esetén UV fény) gerjeszti a fal bevonatának fotolumineszcenciáját. Ez már látható fény, ami áthatol az üvegfalon. A kilépő fény spektruma a bevonattól függ, célja a Nap spektrumának közelítése.



Fémgőz –lámpák

Pl. Hg-gőz

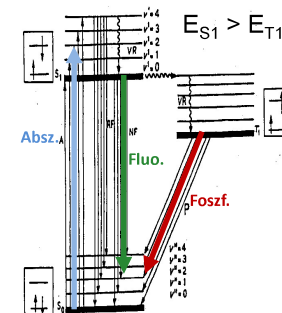
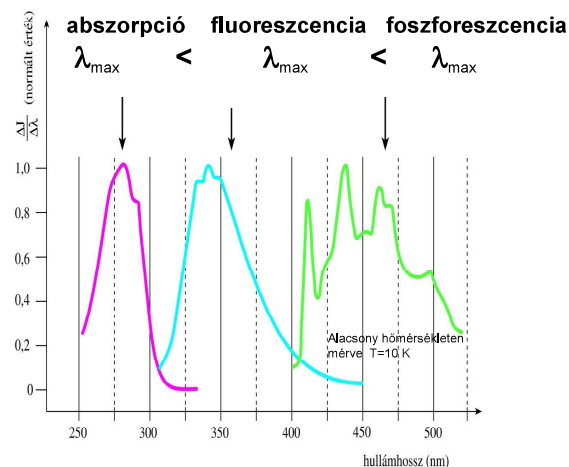
Erythema lámpa : λ a 280 – 320 nm

UV B- tartományban, uviol üvegfal

Germicid-lámpa: DNS sérülése 254 nm-en

Az abszorpciós – fluoreszcencia – foszforeszcencia-spektrumok összehasonlítása

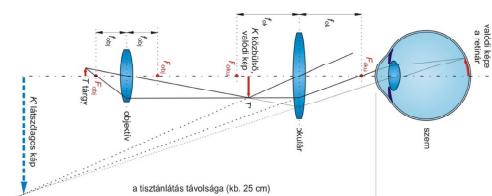
A Triptofán-aminosav spektrumai



A molekuláris élettudományi kutatások modern módszere fluoreszcencián alapuló fénymikroszkópia

Fluoreszcencia - mikroszkópia

Hagyományos fénymikroszkóp képalkotása



$$\frac{1}{f} = \frac{1}{k} + \frac{1}{t}$$

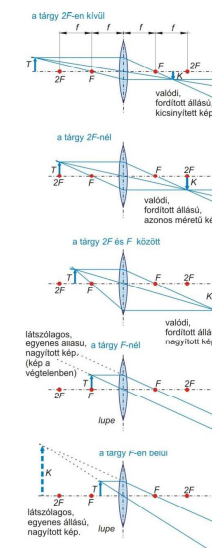
leképezési törvény

$$N = \frac{K'}{f}$$

$$N = N_{objekt} * N_{objekt} \leq 2500$$

nagyítás

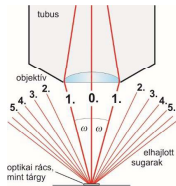
Optikai gyűjtő-lencse képalkotása - emlékeztető



A fénymikroszkóp felbontása: Abbe elve

$$\Delta = d \cdot \sin \alpha_k = k \cdot \lambda \quad \text{Az erősítés feltétele fény-interferenciában}$$

A leképezésben részt kell vennie legalább az elsőrendű mellékmaximumoknak is - 1873



$$\delta = 0,61 \frac{\lambda}{n \sin \omega}$$

Rayleigh kritérium

Legkisebb felbontható részlet mérete: két pontszerű fényforrás legkisebb felbontható távolsága

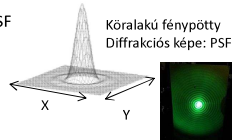
$$\delta \geq 250 \text{ nm}$$

A fénymikroszkóp felbontásának elvi határa (ha NA ~ 1)

A fénymikroszkóp felbontása: Point Spread Function (PSF) – Airy-disc

A leképezés során a fény diffrakciót szenved a mikroszkóp részén (pl. blende):

Két pontszerű fényforrás távolsága akkor oldható fel, ha a két PSF félérték-szélességének összege > 250 nm (XY-sík).

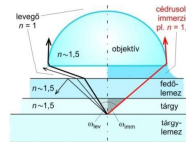


Ernst Karl Abbe
(1840-1905)

$$NA = n \sin \omega \leq 1.5$$

NA: **numerikus apertura** (általában ~1)

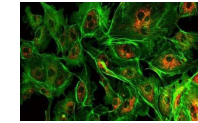
n: a tárgy és az objektív közötti közeg törésmutatója



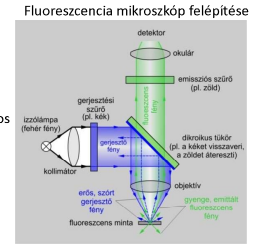
Fluoreszcencia - mikroszkópia

Fluoreszcencia jelzés szempontjai:

- a fluoreszcencia ritka jelenség } **Sötét háttér**
- szelektív gerjesztés
- intenzív fejlesztés fluoreszcens festékekre:
 - specifikus kötődés
 - emisszió regulálható
 - nagy emissziós hatások
 - jól gerjeszthető <-> lézerek

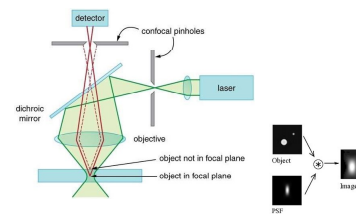


HeLa sejtek – aktin: zöld, sejtmag: piros



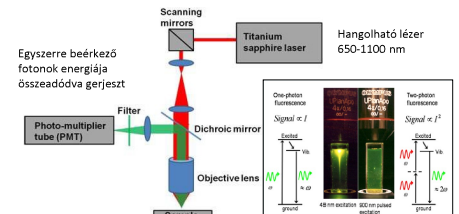
Lehetőség 3D képalkotásra

CLSM Confocal Laser Scanning Microscopy



Konfokális optika: adott mélységre fókuszált leképezés adott mélységű síkokról adatgyűjtés szkenneléssel
Felbontás: Airy disc limitált

Többfotonos gerjesztés – nem-lineáris optika



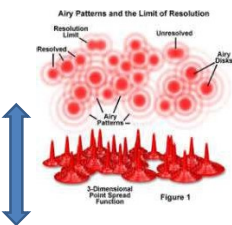
Gerjesztő intenzitás csak a fókuszpontban elegendő -> mélységélesség
Kis fotonenergia (IR) -> szöveti behatolási mélység nagy -> élőben is

Super-rezolúciós mikroszkópia – SMLM Single Molecule Localization Microscopy

Fejlesztési irány a diffrakciós határ áttörésére

- jelenleg a felbontás ~ (néhány x) **10 nm** -> ~ fluoreszcens festék mérete
- kifejlesztett módszerei: **SIM** Structured Illumination Microscopy
- STED** Stimulated Emission Depletion Microscopy
- fPALM** Photoinactivation Localization Microscopy
- STORM** Stochastic Optical Reconstitution Microscopy

Probléma a képalkotásnál: - fluoreszcens festékek túl közel vannak -> Airy disc átlapolás



Megoldás iránya:

- kevesebb egyidejű fénypont
- „blinking” : on/off emisszió
- időben egymás utáni adatgyűjtés
- változó fénypont-eloszlások sorozata
- kiértékelő algoritmus az egyedi Airy-disc-ek lokalizációjára

Elektron – mikroszkóp?

elektron de Broglie- hullámhossza kicsi!

DE: mérés vákuumban -> biológiai minták sérülnek

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v} \quad \delta \approx \frac{\lambda}{NA} \quad \text{felbontás } \delta \sim \text{nm!}$$

Hőmérsékleti sugárzás

Minden test bocsát ki elektromágneses sugárzást mivel az alkotó részecskék vibrációs mozgásai során gyorsuló töltések és rezgő dipólusok keletkeznek, amely jelenségek elektromágneses sugárzás forrásai.

Kirchhoff törvény : a hőmérsékleti sugárzás emisszióképessége és abszorpcióképessége összefügg, hányadosuk minden testnél (i és j) minden λ-án állandó

$$\frac{M_{\lambda,i}}{\alpha_{\lambda,i}} = \frac{M_{\lambda,j}}{\alpha_{\lambda,j}} = \text{const.}$$

$$M_{\lambda} = \frac{\Delta P}{\Delta A} = (J_{\text{emitted}})$$

A teljes térszögben λ hullámhosszon emittált intenzitás

$$\alpha = \frac{E_{\text{abszorbeált}}}{E_{\text{teljesbeeső}}}$$

Abszorpcióképesség



Abszolút fekete test: minden energiát elnyel

$a = 1$ (maximum) \Rightarrow M kibocsátott teljesítmény is maximális

Az emberi test 95%-ban fekete test

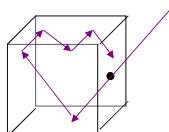
Stefan-Boltzmann törvény:

$$M_{\text{összes}} = \sigma \cdot T^4$$

$$\sigma = 5.7 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$$

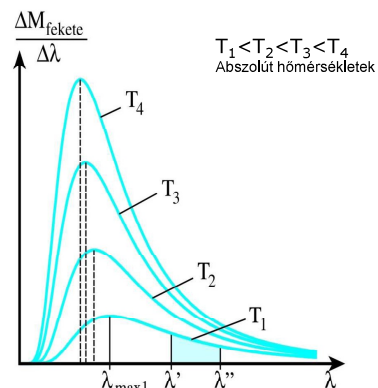
Wien-féle eltolódási törvény:

$$\lambda_{\text{max}} \cdot T = \text{const}$$



Fekete test: fémdoboz egy kis nyílással.

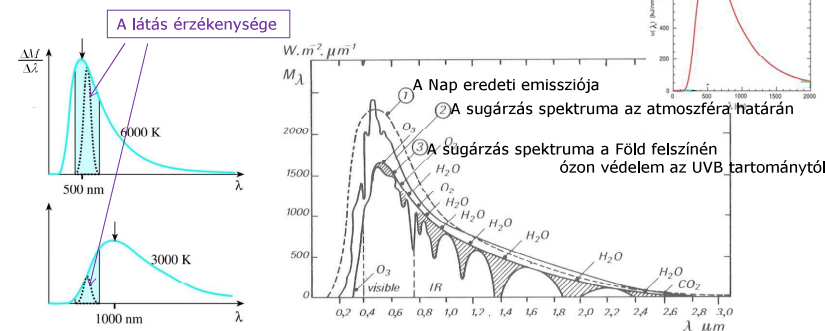
A belépő fénysugár reflexió útján soha nem tud kilépni: „teljesen elnyelődik”



Hőmérsékleti sugárzás: spektruma átfedhet a VIS fény-tartománnyal

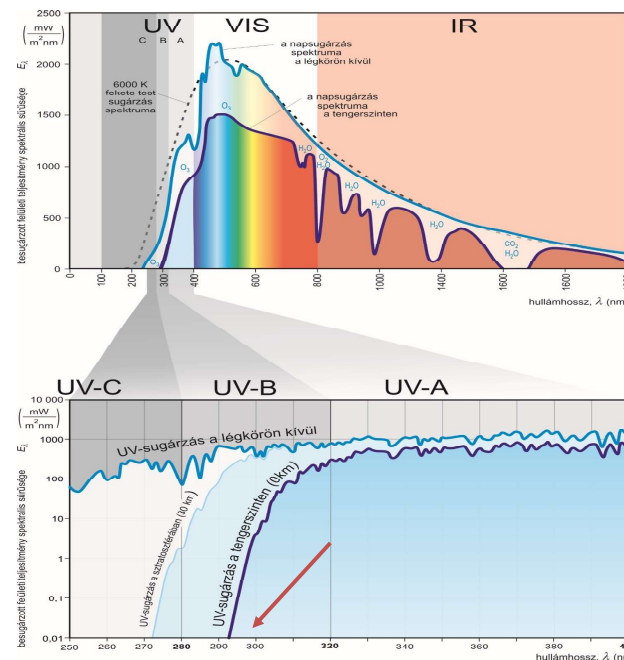
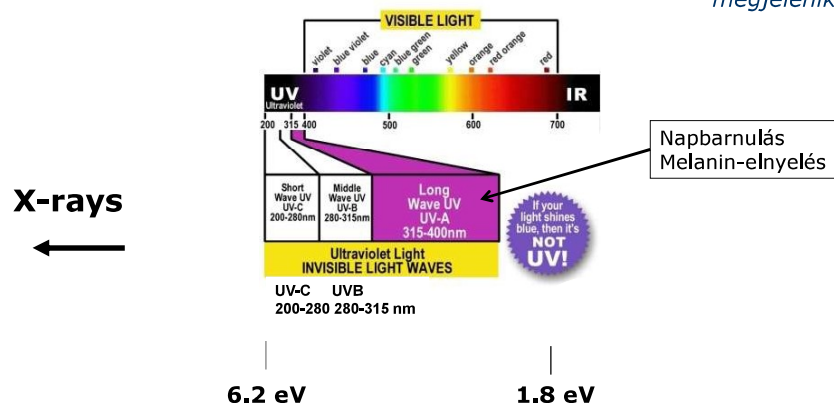
Fényforrások

- Nap 5500-6000 K es fekete test + ózon védelem (UVB -I)
- izzószálas égők (~3000 K): energia nagy része nem a VIS tartományban
halogén gáz-védelem \rightarrow magasabb hőmérséklet \rightarrow fényhozam nő



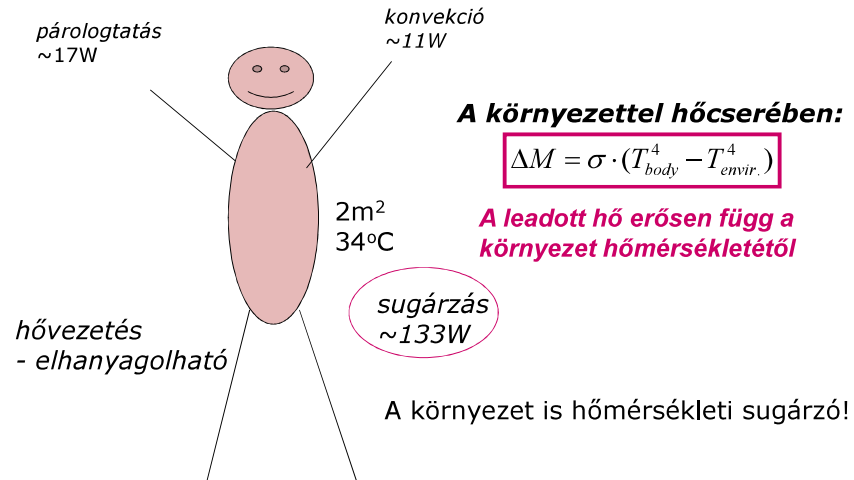
A fényforrások sugárzásának UV tartományú része fontos az élettani hatások szempontjából

Ózon pajzs sérülése \rightarrow Nap spektrumának UVB tartománya megjelenik



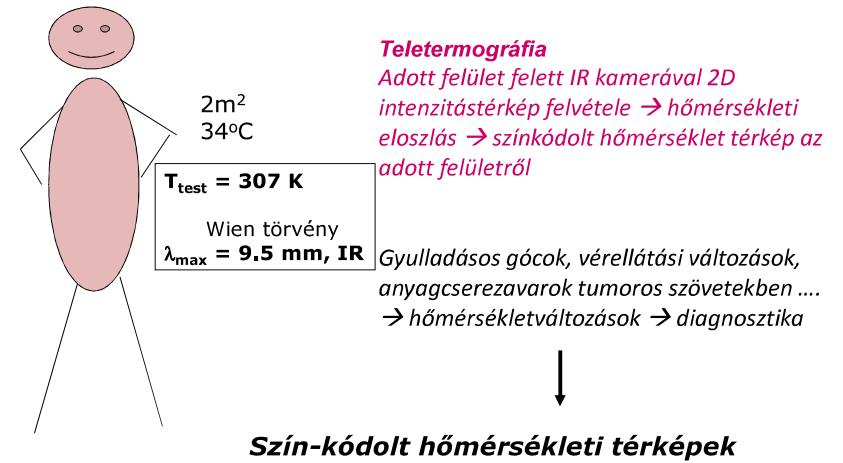
A Nap sugárzásának UV tartományát a légkör elnyelése szűri ki **O₃ tartalom!**

Az emberi szervezet hőegyensúlya



Diagnosztikai alkalmazások

700 K (430 C) alatt a sugárzás az IR tartományba esik

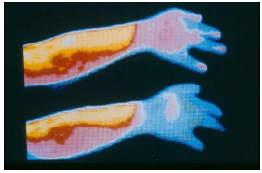


Egészséges kutya

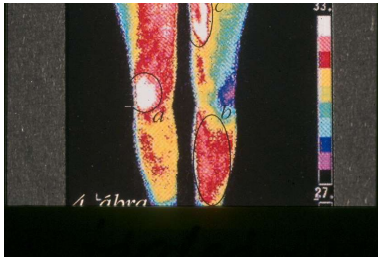
Példák



Diagnosztika teletermográfia alapján



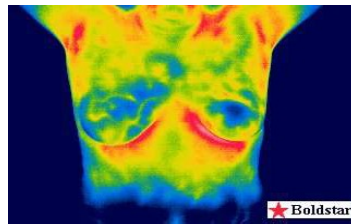
Cigarettázás: beszűkült vérerek



Gyulladások és trombózis

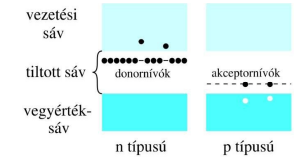
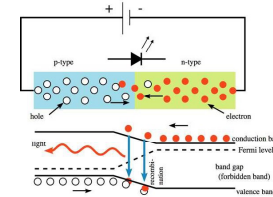


mellrák



Szilárd félvezető diódák **LED- Light Emitting Diode**

- Energiatakarékos, hosszú élettartam
- Alapvetően olcsó, de probléma a spektrum \longleftrightarrow Nap
- Intenzív emisszió



Áram hatása: lyukak (vegyérték sáv) és elektronok (vezetési sáv) áramlanak a **pn** - dióda határrétegébe és rekombinálódnak. Az energiakülönbség fényfoton formájában kisugárzódik.



A dióda anyagától függő vonalas spektrum

Lézerek - még jön.....

Köszönöm a figyelmet!