

Biofizika I

7. Lumineszcencia és alkalmazásai az orvostudományban

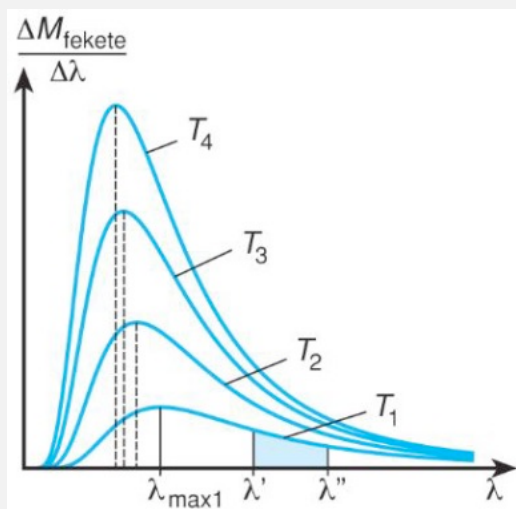
Liliom Károly

2024. 10. 16.

liliom.karoly@semmelweis.hu
karoly.liliom.mta@gmail.com

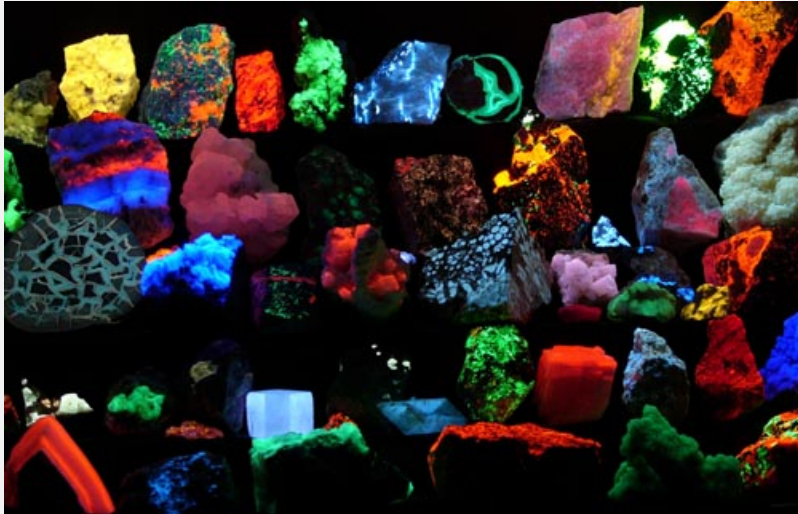
A fényemisszió formái

- Hőmérsékleti (feketetest) sugárzás
- Lumineszcencia
- Lézer



Lumineszcencia: a testek által a hőmérsékleti sugárzáson felül kibocsájtott többlet-sugárzás (hideg fény).

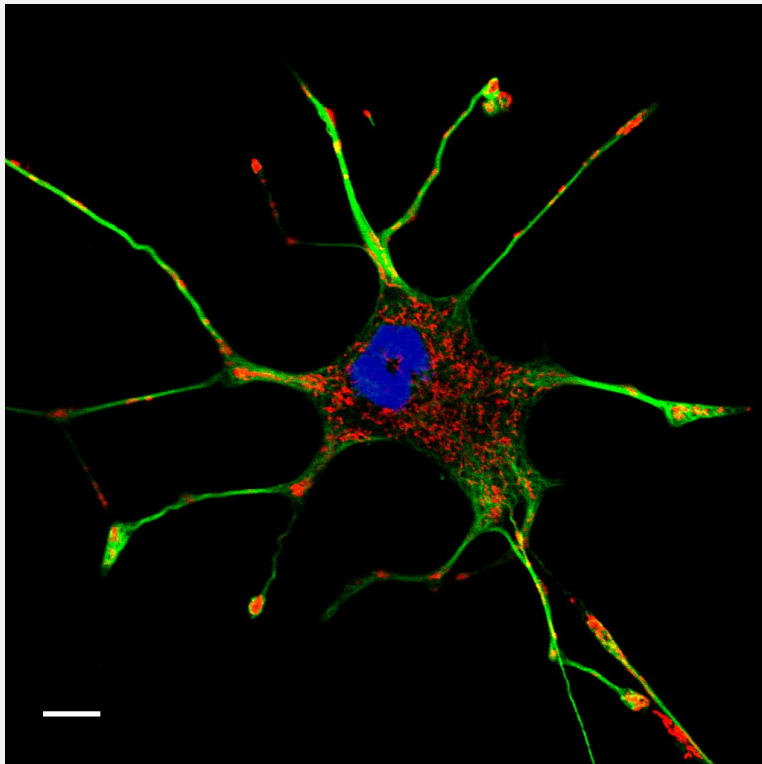
Lumineszcencia a természetben



ásványok, medúzák, plankton, algák, növények...

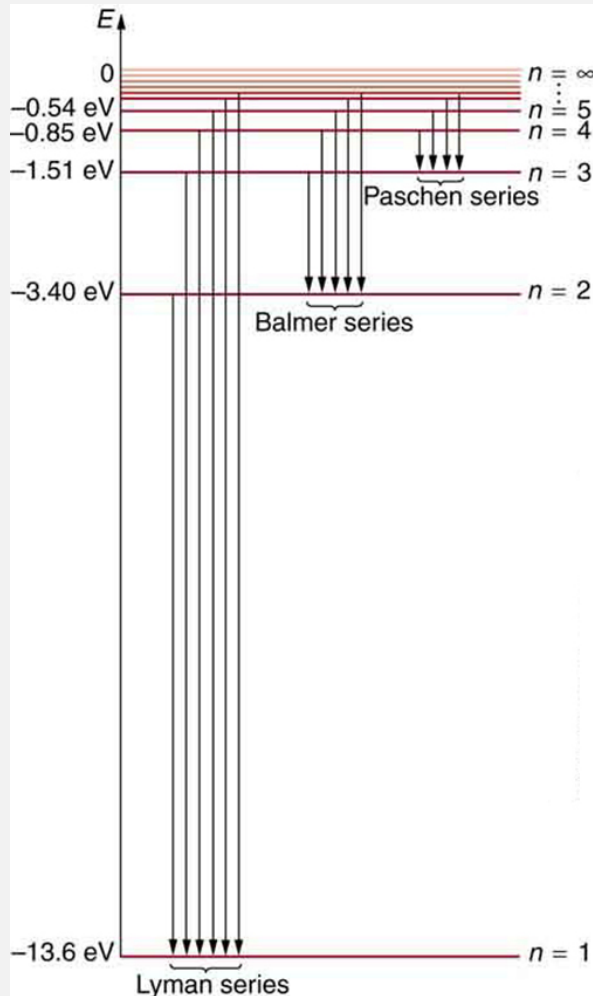


Lumineszcencia alkalmazásai



Atomi energiaszintek

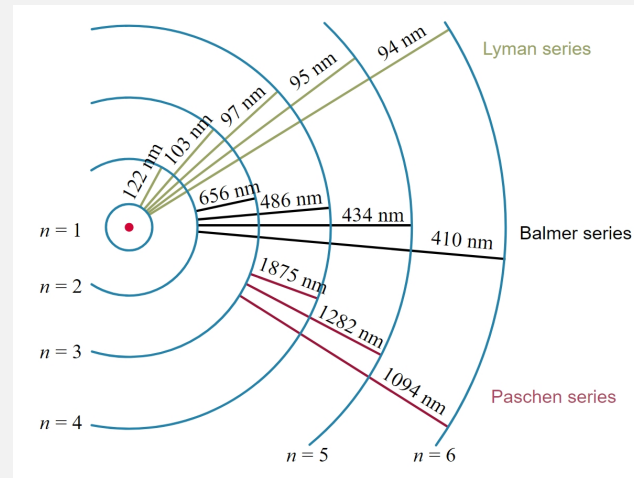
Jablonski-diagram



A hidrogén elnyelési színeképe:

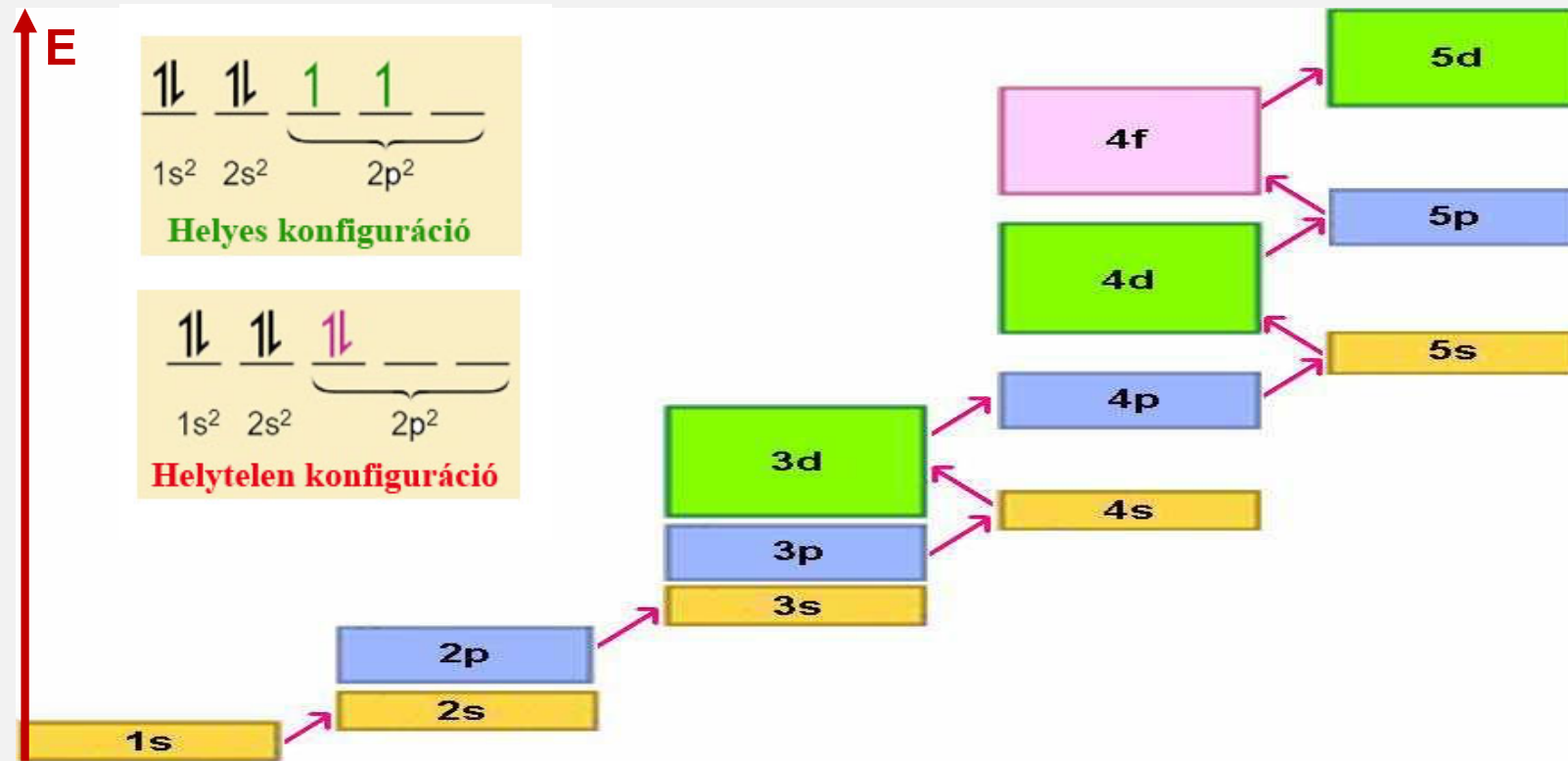


A hidrogén kibocsátási színeképe:



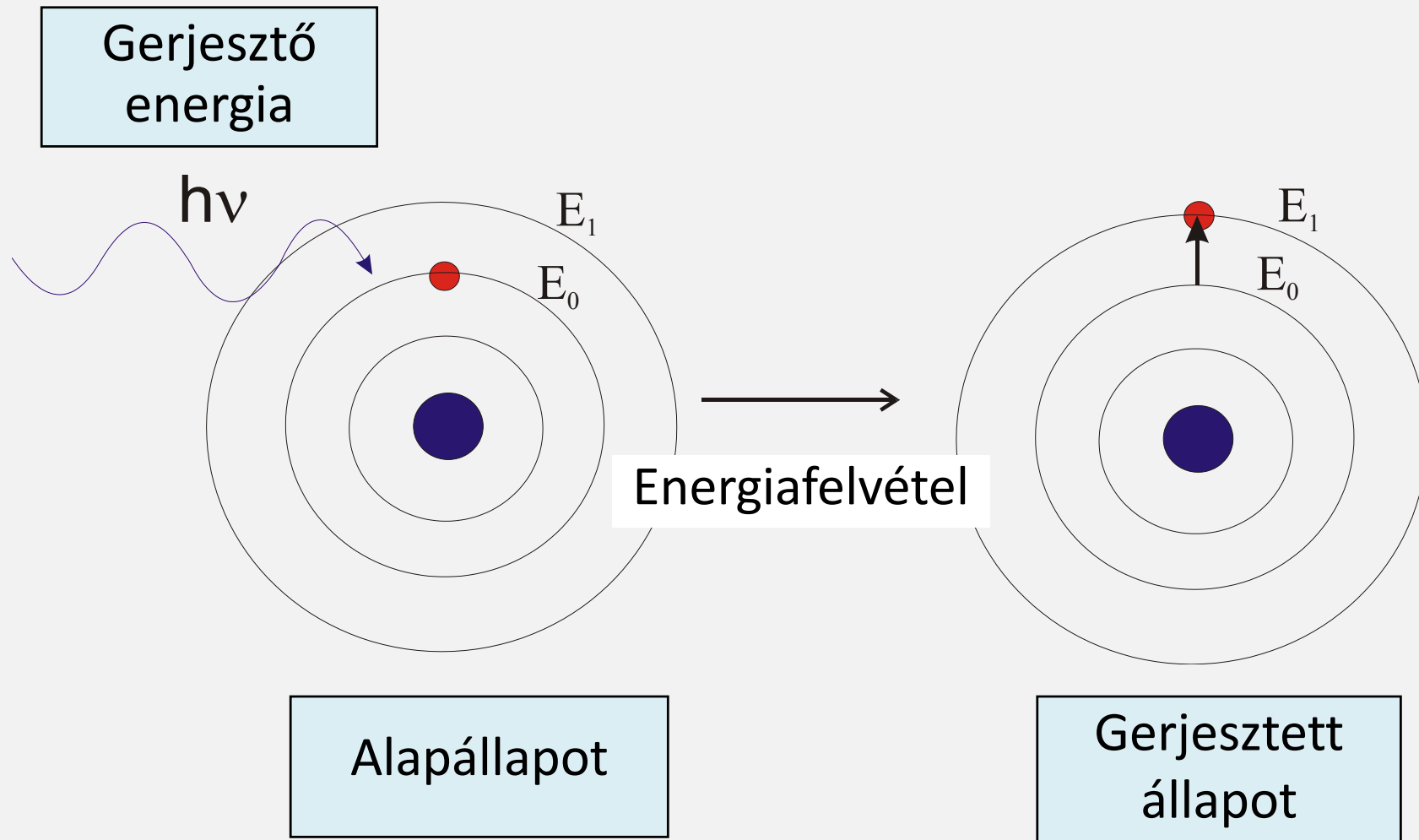
Niels Bohr (1913): Az atomban az elektronok stacionárius pályákon helyezkednek el, nem sugároznak. A stacionárius pályák közötti átmenetek során az elektron a pályák energiakülönbségét kell felvegye, illetve relaxáció során azt sugározza ki.

Atomi energiaszintek



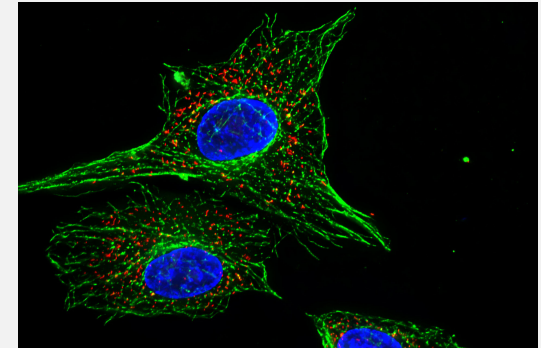
- Az atomban az elektronok energiaállapotai kvantáltak
- A lehetséges legalacsonyabb energiájú állapotot töltik be
- Pauli-féle kizárási elv: egy atomon belül nem létezhet két olyan elektron, amelyeknek mind a négy kvantumszáma megegyezik
- Hund-szabály: adott elektron-konfiguráció mellett a legnagyobb eredő spin-értékű állapotnak van a legalacsonyabb energiája.

Atomi elektronok gerjesztése



Gerjesztés sokféleképpen lehetséges

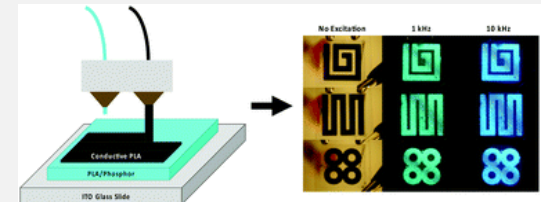
-(fény) foton elnyelése: *fotolumineszcencia*



-kémiai reakció energiája: *kemo/bio-lumineszcencia*



-elektromos tér vagy áram: *elektrolumineszcencia*



-mechanikai deformáció: *tribolumineszcencia*

mentacukor

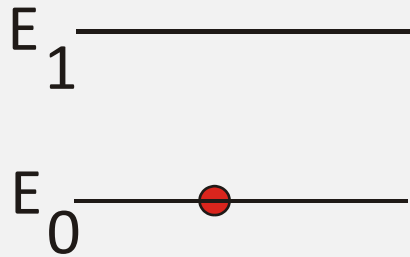


-hőközlés: *termolumineszcencia*

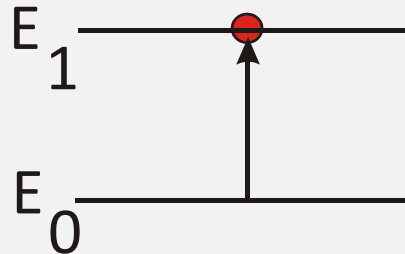
Wulfenit



A relaxáció mechanizmusa

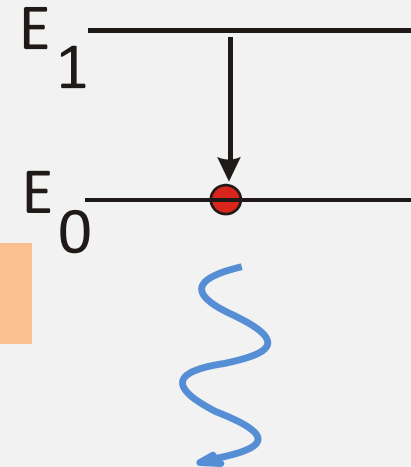


külső héjon lévő
elektron gerjesztése



elektron visszatérése
alapállapotba

Spontán, külső hatás nélkül!



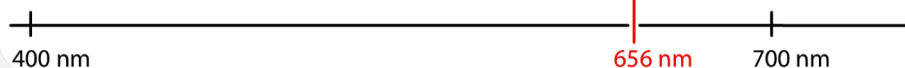
fényemisszió

$$hf = E_1 - E_0$$

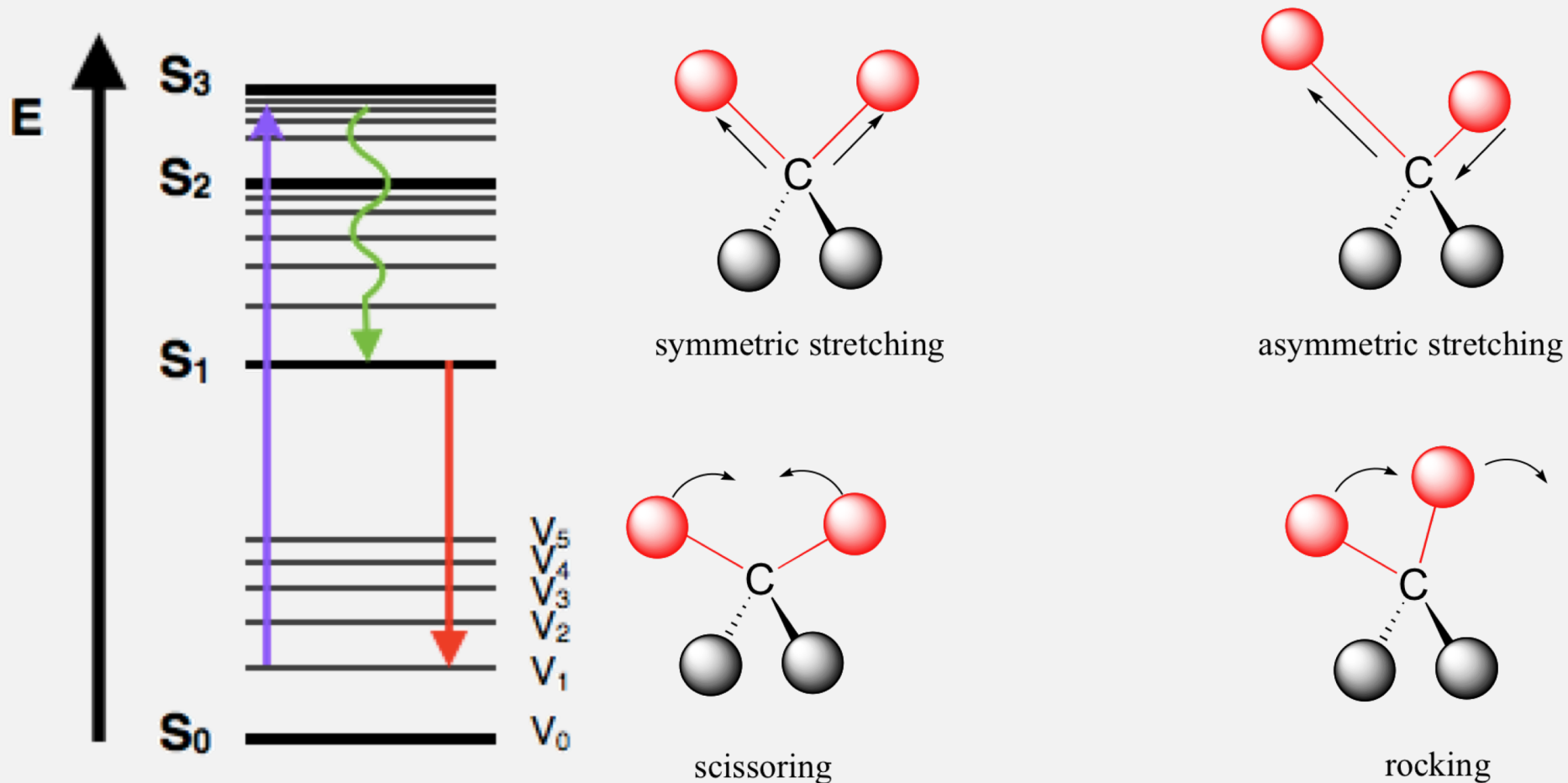
A hidrogén elnyelési színeképe:



A hidrogén kibocsátási színeképe:

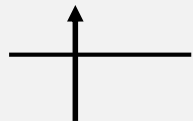
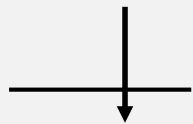


Molekulák energiaszintjei



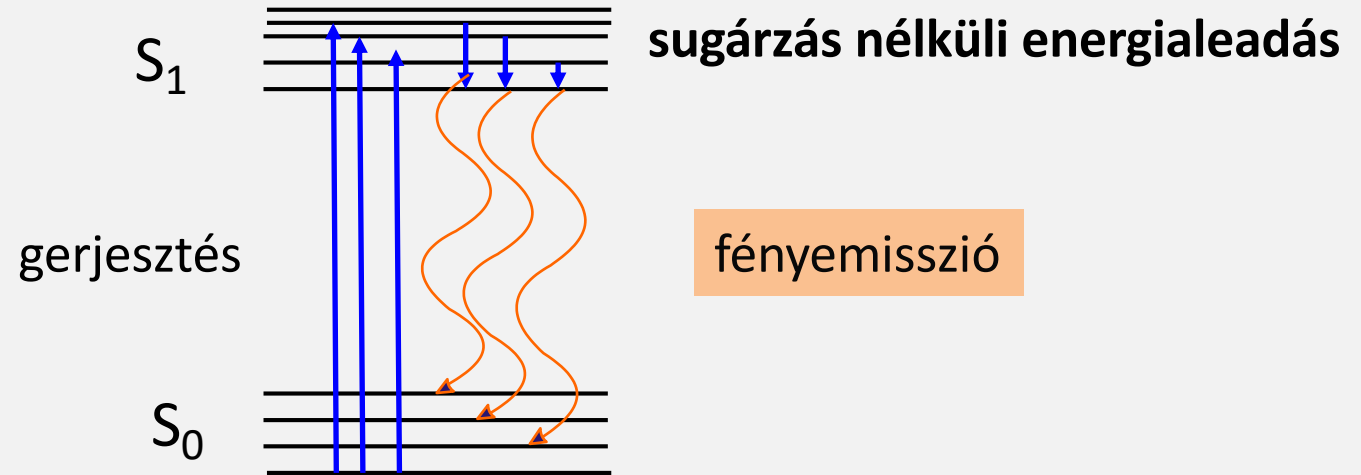
A vibrációs energiaszintek is kvantáltak!

Fluoreszcencia mechanizmusa



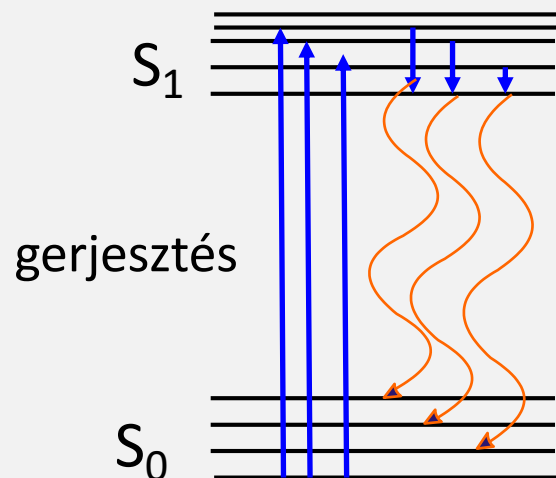
Szingulett állapot

Párosított spinű
elektronok



Fluoreszcencia

Fényemisszió spinváltás nélkül!



Kasha-szabály:

a fényemisszió a legalsó gerjesztett elektronállapot legalsó rezgési nívójáról történik



$$E_{\text{gerjesztés}} \geq E_{\text{fluoreszcencia}}$$

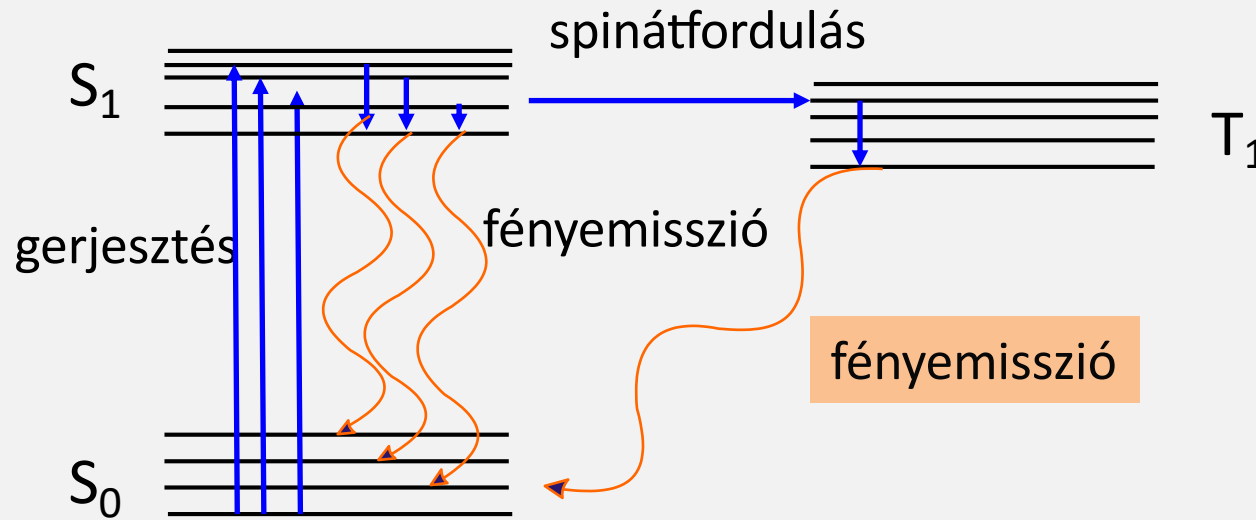
$$\lambda_{\text{gerjesztés}} \leq \lambda_{\text{fluoreszcencia}}$$

Stokes-eltolódás

$$E = h^*c/\lambda$$

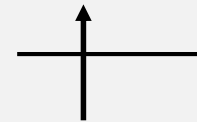
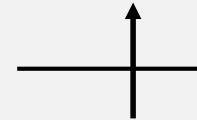


Foszforeszcencia mechanizmusa



Foszforeszcencia

**Fényemisszió spinváltozást
követően**

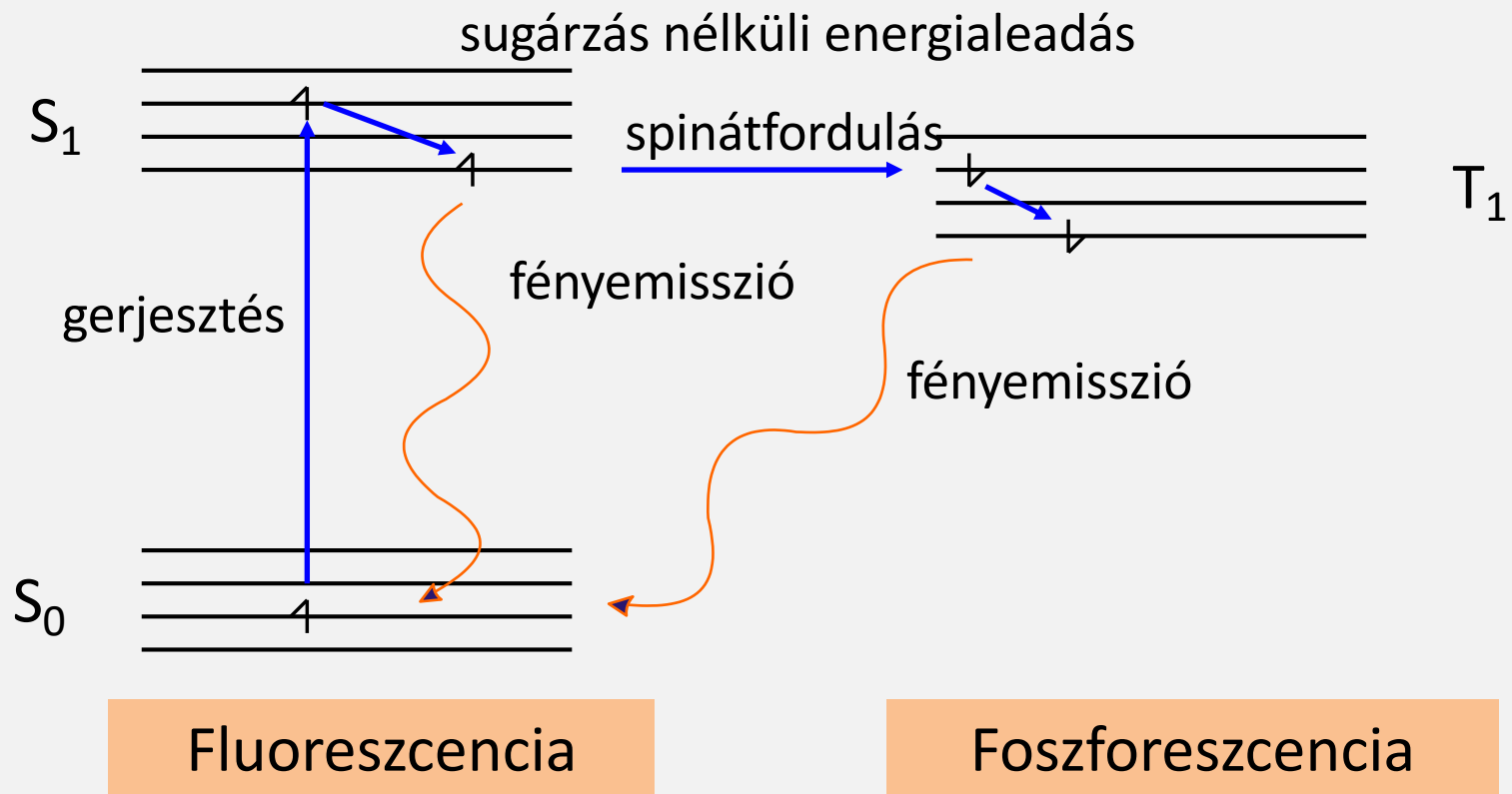


Triplett állapot

Párosítatlan
spinű elektronok

Metastabil állapot

Emittált foton energiájának jellemzése



**Stokes-
eltolódás**

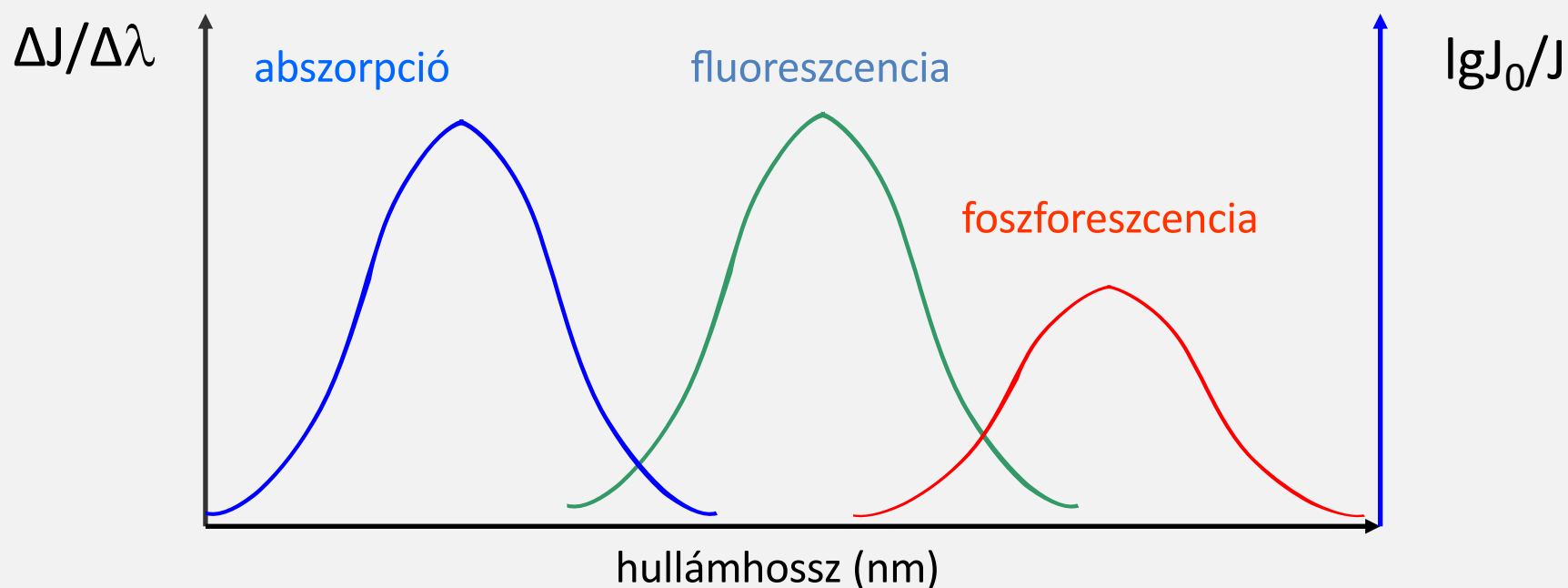
$$E_{\text{gerjesztés}} \geq E_{\text{fluoreszcencia}} > E_{\text{foszforeszcencia}}$$

$$\lambda_{\text{gerjesztés}} \leq \lambda_{\text{fluoreszcencia}} < \lambda_{\text{foszforeszcencia}}$$

Emittált intenzitás hullámhossz szerinti eloszlása

Emissziós spektrum

Molekulák esetében: sávos spektrum



$$\lambda_{\text{gerjesztés}} \leq \lambda_{\text{fluoreszcencia}} < \lambda_{\text{foszforeszcencia}}$$

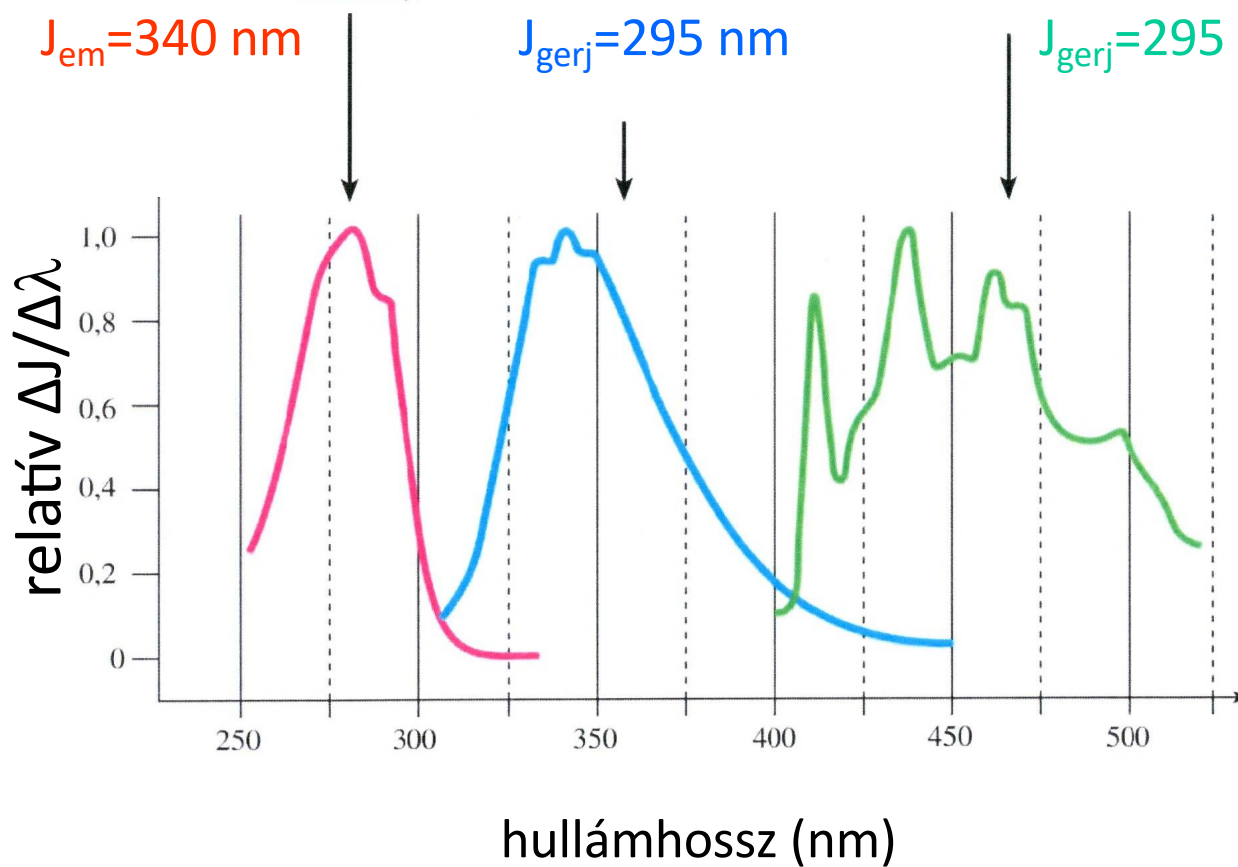
Stokes-eltolódás

Pl.: a triptofán aminosav spektrumai

Fluoreszcencia
gerjesztési spektrum

Fluoreszcencia
emissziós spektrum

Foszforeszcencia
emissziós spektrum



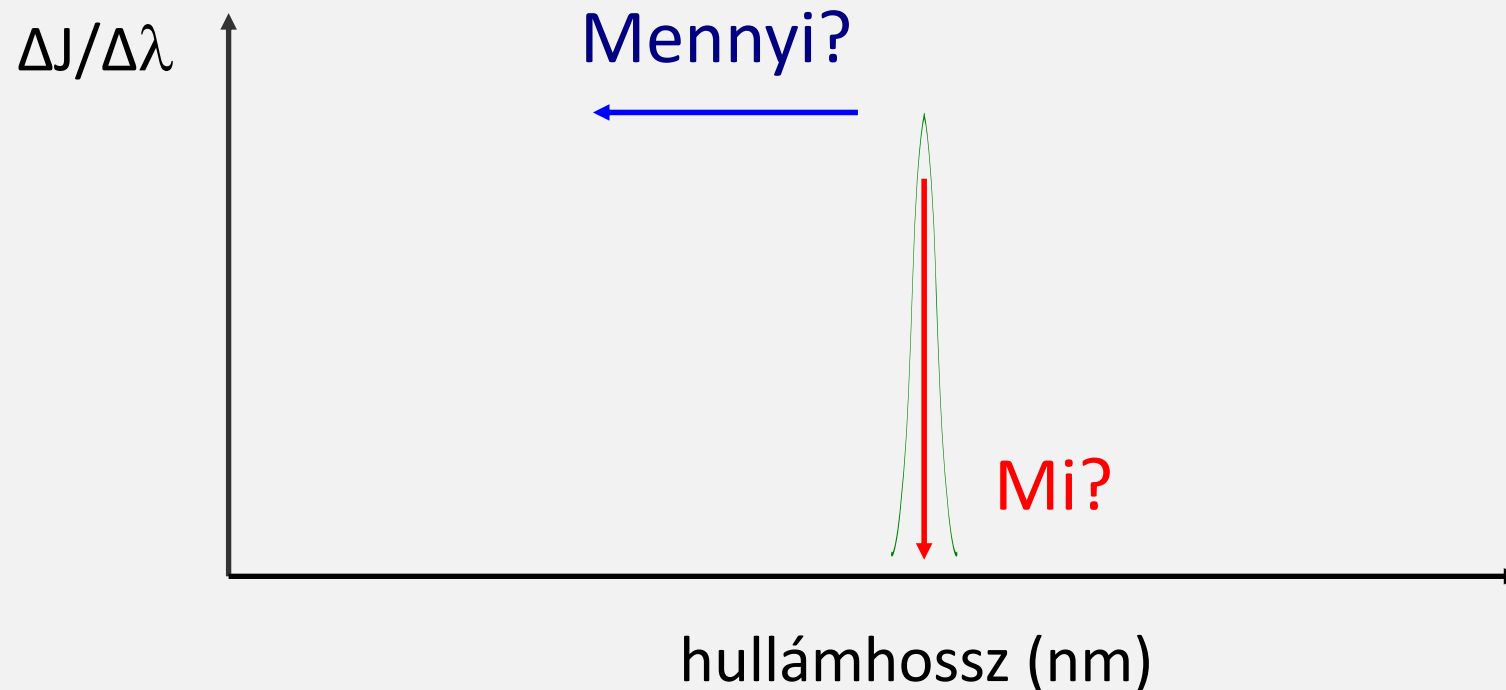
Emisszió jellemzése

Kibocsájtott intenzitás hullámhossz szerinti eloszlása

Emissziós spektrum

Atomok esetében:

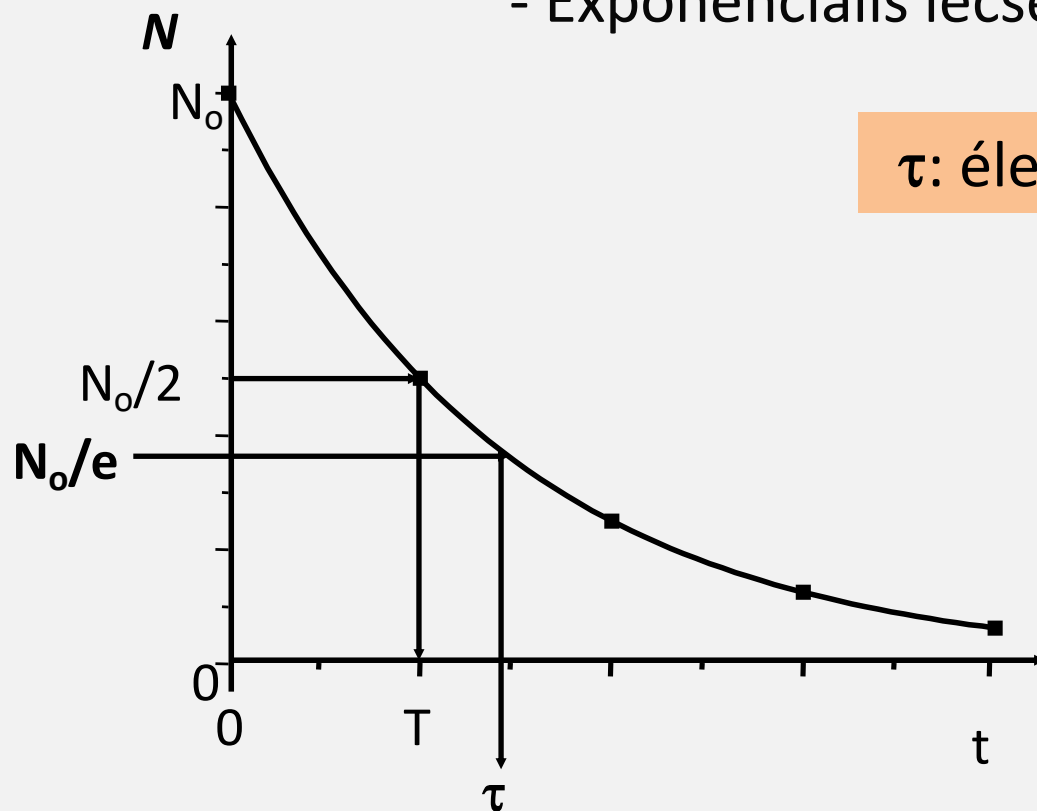
vonalas spektrum



Gerjesztett elektronok
száma

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

- Exponenciális lecsengés



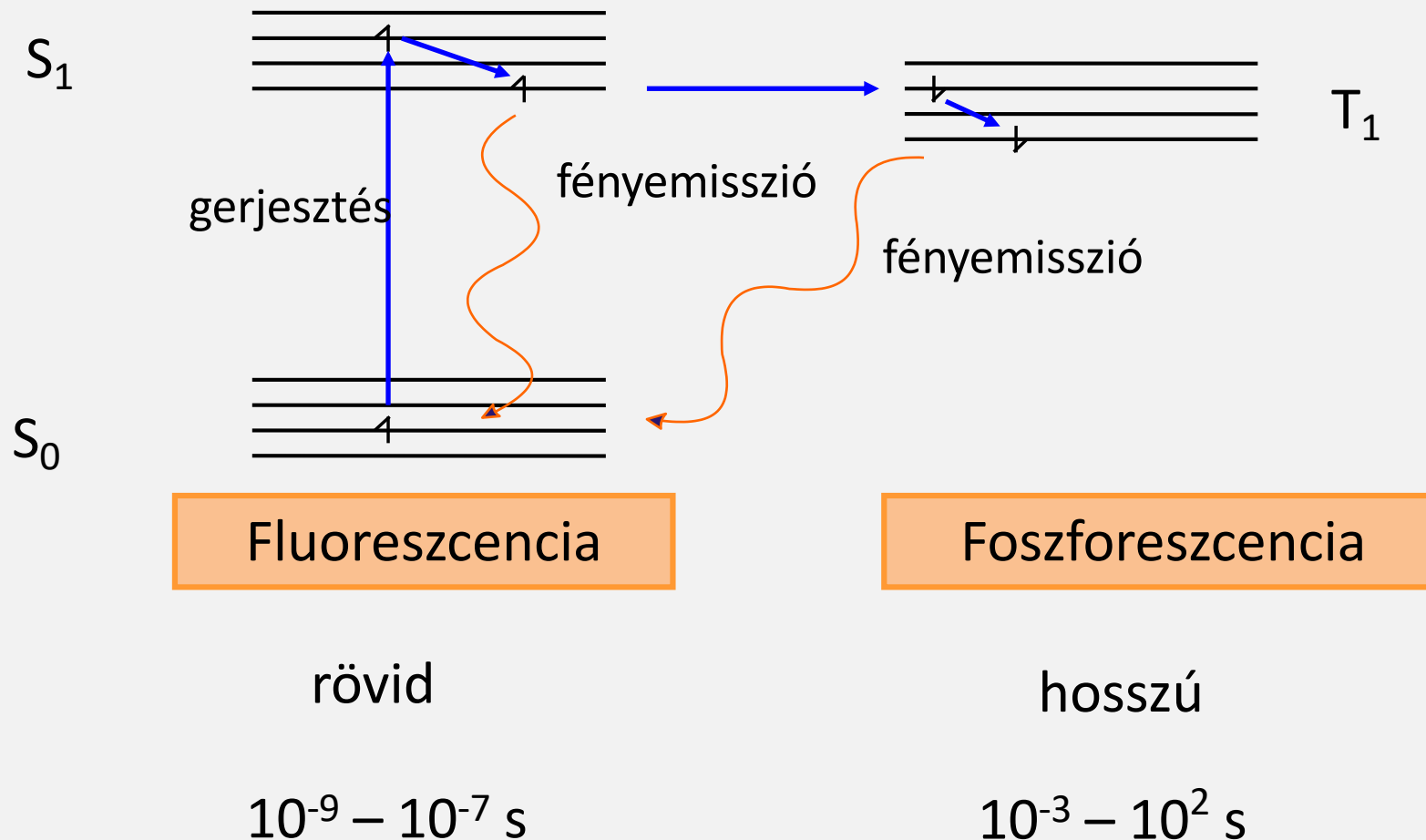
τ : élettartam T : fél-életidő

τ : az az idő, ami alatt a
gerjesztett elektronok
száma a gerjesztés
megszűnése után e -ed
részére csökken

Gerjesztett állapot élettartamának jellemzése

Élettartam

az az idő, ami alatt a gerjesztett elektronok száma a gerjesztés megszűnése után e -ed részére csökken



Minden gerjesztést fényemisszió követ?

- Környezetükkel kölcsönhatásban levő molekulák (oldatban, sejtekben, szövetekben) elektronjai ritkán adják le *fotonemisszióval* a gerjesztéskor felvett energiájukat.
- Sokkal valószínűbb, hogy az energialeadás sugárzás nélkül, vagyis hő keltésével vagy kémiai reakciók útján történik.

Minden gerjesztést fényemisszió követ?

Fluoreszcencia kvantumhatásfoka (Q_F)

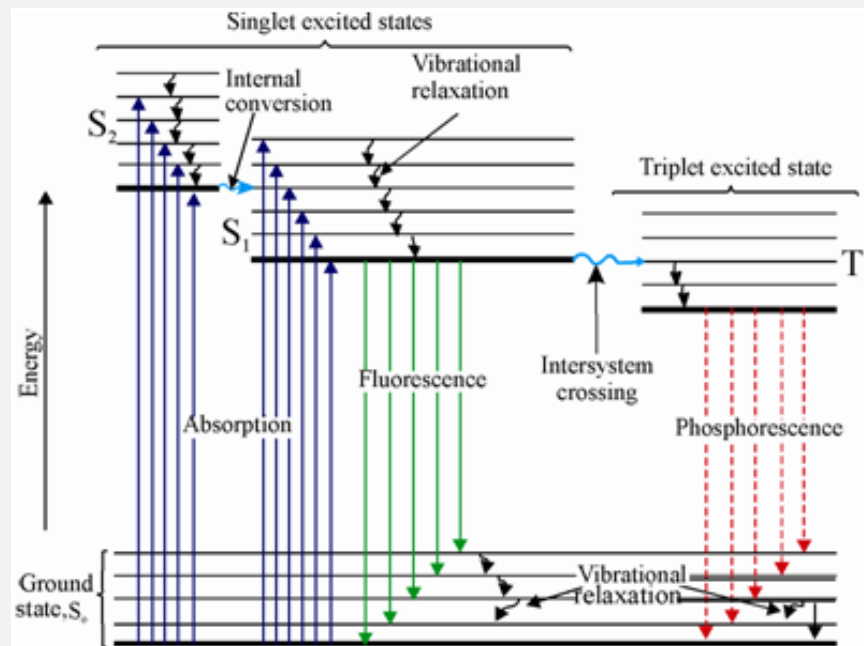
Q_F = kisugárzott fotonok száma / elnyelt fotonok száma

$$Q_F \leq 1$$

Lumineszcencia összefoglalás

A lumineszcencia fajtái:

- fluoreszcencia
- foszforeszcencia



Jellemzésük:

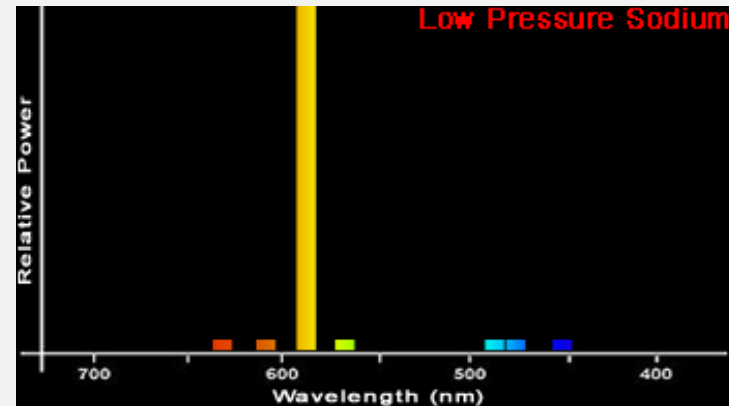
- emissziós spektrum:
 - típusa
 - maximumának helye
 - alakja
 - amplitúdója
- élettartam
- kvantumhatásfok

A lumineszcencia alkalmazási területei

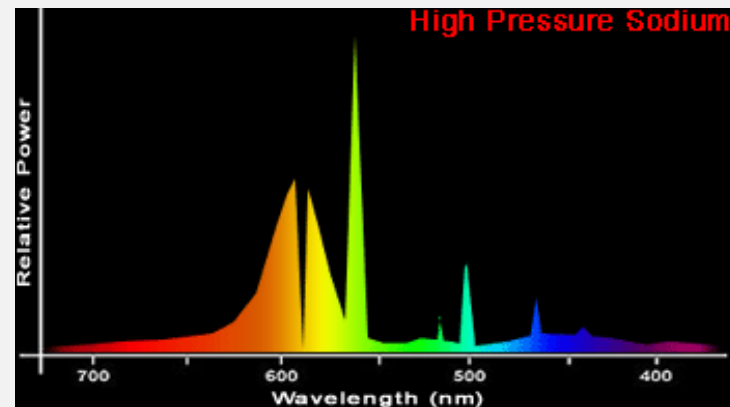
- fényforrások (világítás, sterilizálás, szolárium, terápiais alkalmazások, stb.)
- koncentráció meghatározása (pl. lángfotométer)
- lumineszcencia spektroszkópia
- lumineszcencia (fluoreszcencia) mikroszkópia
- diagnosztika
- dózismérés (lásd majd dozimetria)
- régészeti kormeghatározás
- belső építészet
- biztonságtechnika ...

Fényforrások

Fémgőz lámpák



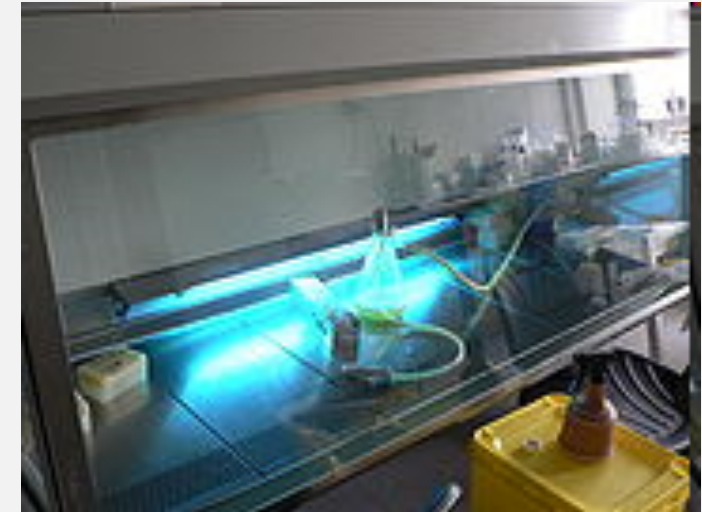
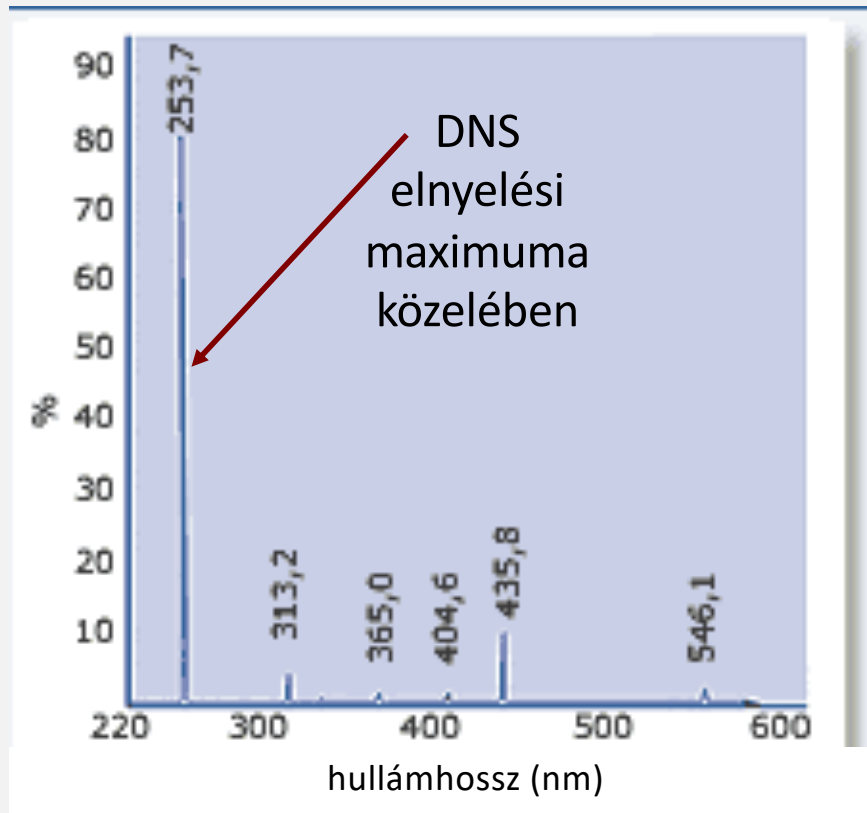
Kisnyomású Na-gőz lámpa
emissziós spektruma



Nagynyomású Na-gőz lámpa
emissziós spektruma



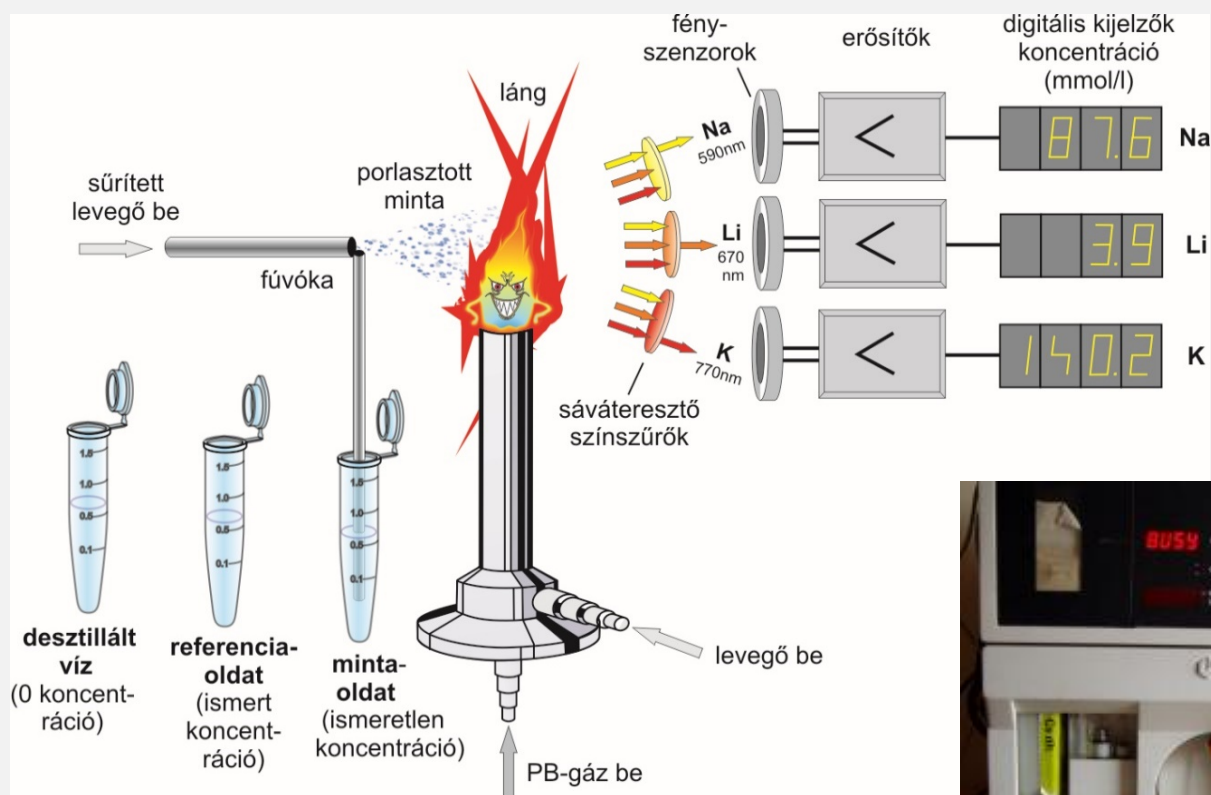
Kisnyomású Hg-gőz lámpa



Sterilizálás
„germicid lámpa”

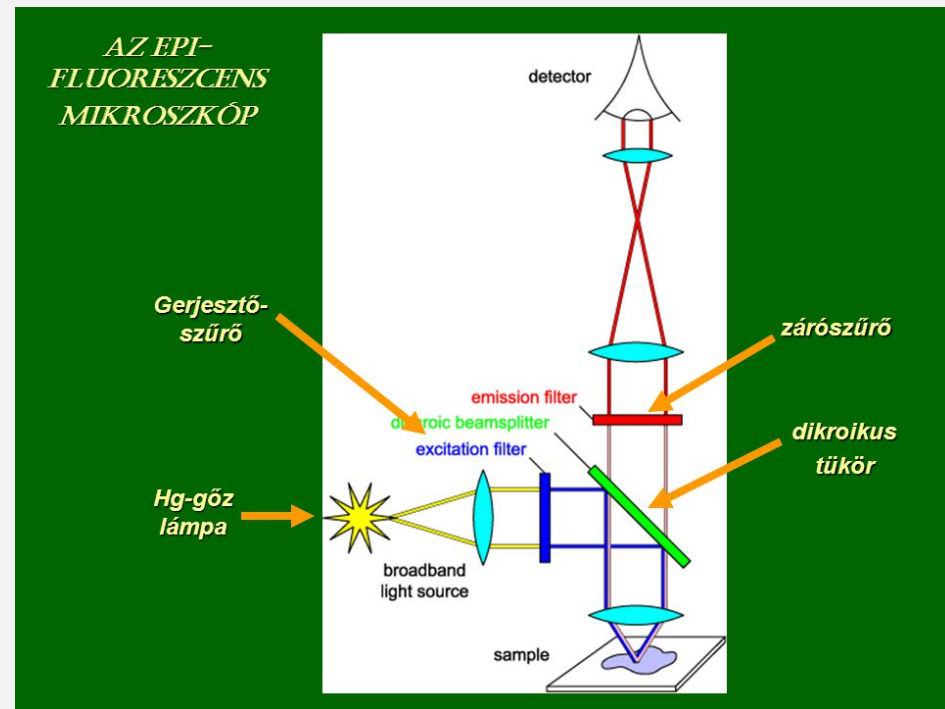
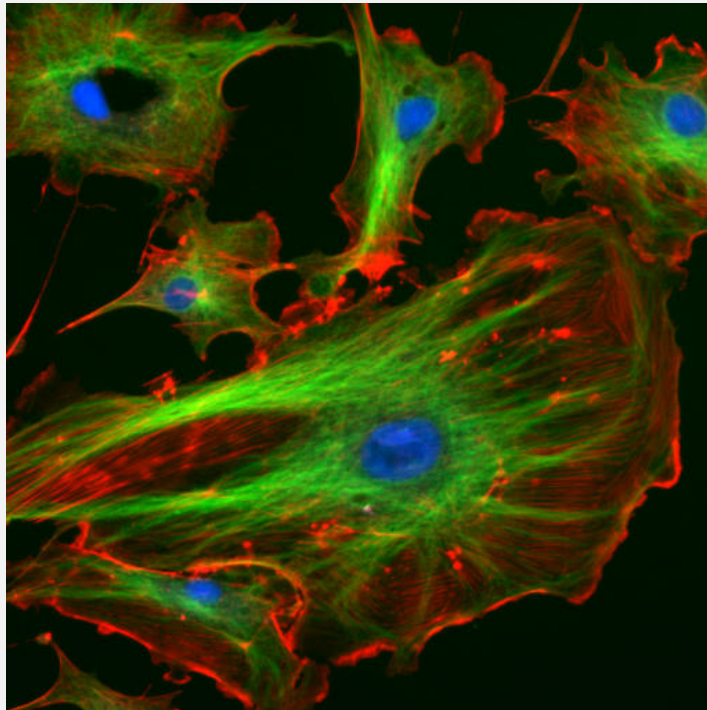


Lángfotométer

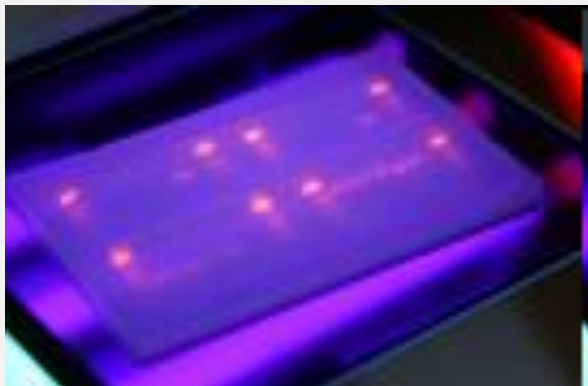


K^+ , Li^+ és Na^+ mennyiségi meghatározása

Fluoreszcens mikroszkópia



Laboratóriumi alkalmazás számos területe...



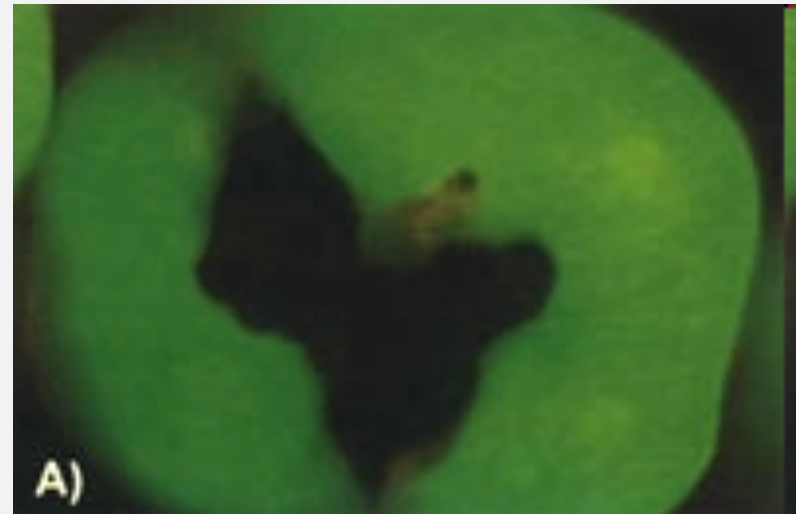
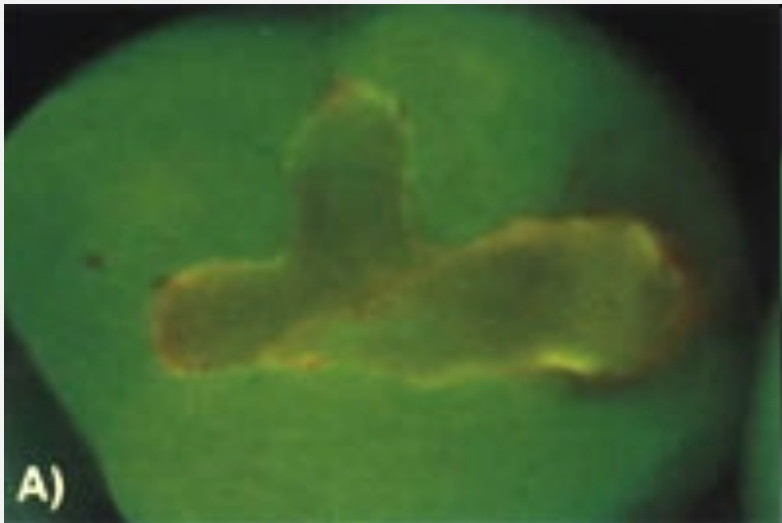
gélfestés



fluoreszcens állatmodell

Példák fogorvosi alkalmazásra

Piros fluoreszcencia a tömés peremén jelzi
a tökéletlen illeszkedést és a megtelepedő
baktériumokat



Amalgám tömés elégtelen illeszkedése

0 – 14	No special measures.
15 – 20	Usual prophylactic measures.
21 – 30	More intensive prophylaxis or restoration: indication is dependent on: *Caries activity. *Caries risk. * Recall interval, etc.
from 30	Restoration and more intensive prophylaxis.

KaVo DIAGNOdent
- How it Functions

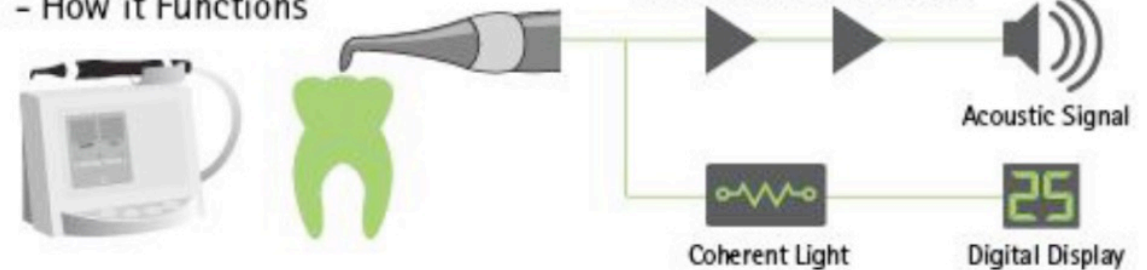
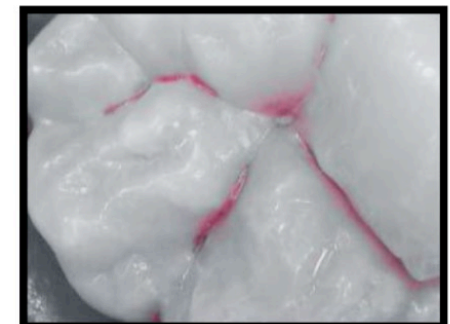


Figure (5) Spectra camera with spacer on (Kurtzman, 2010).

Table 2: Interpretation of Spectra data (Kurtzman, 2010).

Displayed Color	GREEN → BLUE → RED → ORANGE → YELLOW				
Displayed Number	1 —————→ 5				
Depth of Involvement	Sound Enamel	Initial Enamel Caries	Deep Enamel Caries	Initial Dentin Caries	Deep Dentin Caries



SOPROCARE. (A) Carious lesion invisible in DAYLIGHT mode. (B) Carious lesion visible in CARIO mode

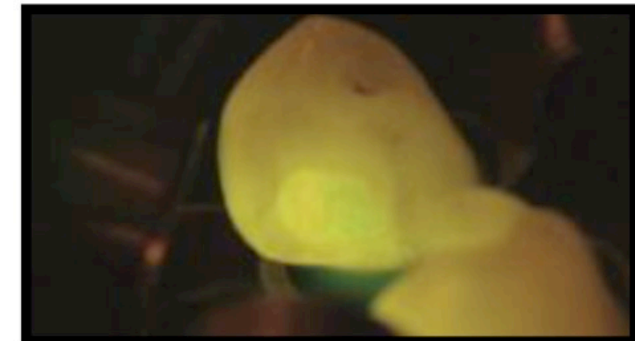
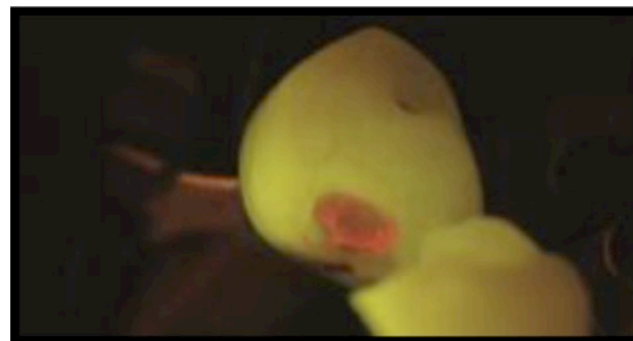
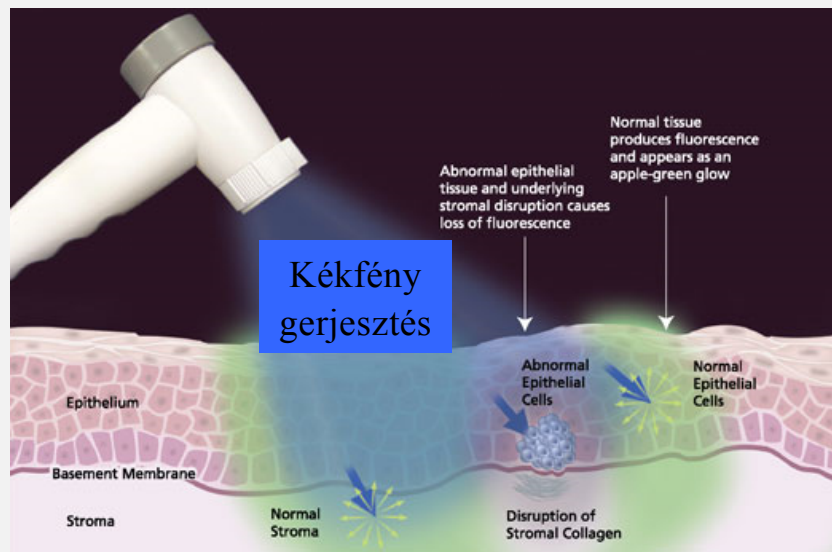


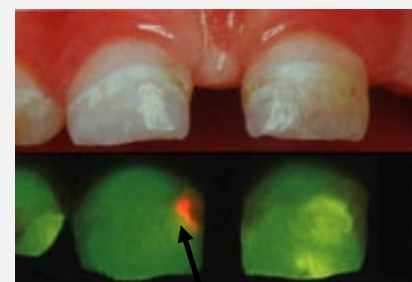
Figure (8) Photos showed cavity illumination with Facelight before and after caries excavation (21).



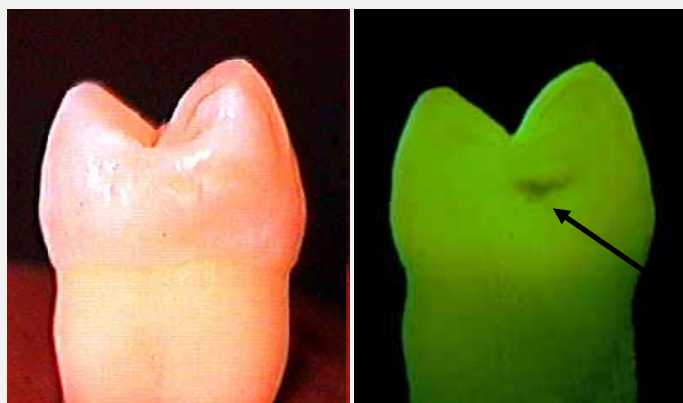
Kérfény
gerjesztés

Egészséges és malignus szövetek eltérő
fluoreszcens tulajdonságai

Tejfogak felszíne
natív állapotban és fluoreszcens
festés után



Aktív caries



Fog felszíne
natív állapotban és fluoreszcens festés után

*Kezdődő
caries*

Ellenőrző kérdések

Lumineszcencia

Alapállapot – gerjesztett állapot

Gerjesztés fajtái

Jablonski diagram

Fluoreszcencia

Foszforeszcencia

Kasha-szabály

Stokes-eltolódás

Élettartam

Kvantumhatásfok

Fényforrások

Orvosi/fogorvosi alkalmazások

Kapcsolódó fejezetek:

Damjanovich, Fidy, Szöllősi: Orvosi Biofizika

II. 2.2

2.2.4

2.2.6

VI.3.3

3.3.1

3.3.2

3.3.3