

Biofizika I

7. Lumineszcencia és alkalmazásai az orvostudományban

Liliom Károly

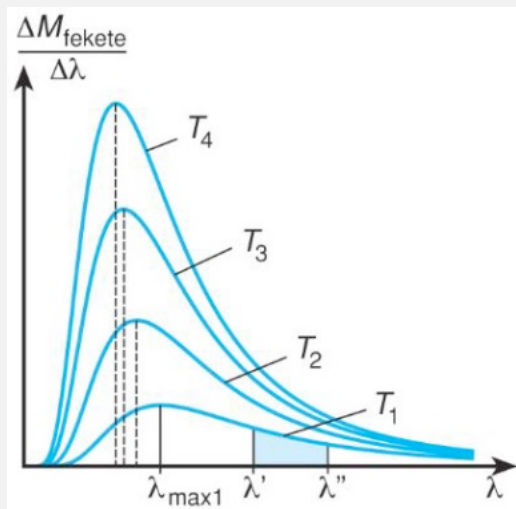
2025. 10. 22.

liliom.karoly@semmelweis.hu

karoly.liliom.mta@gmail.com

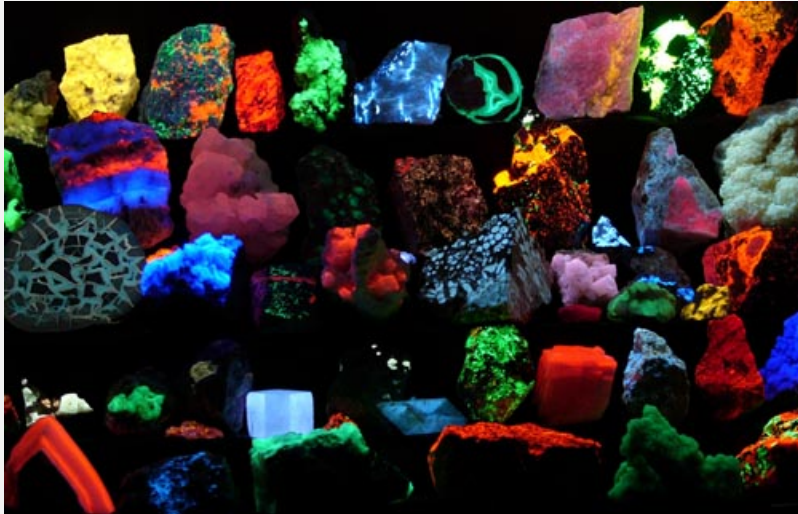
A fényemisszió formái

- Hőmérsékleti (feketetest) sugárzás
- Lumineszcencia
- Lézer

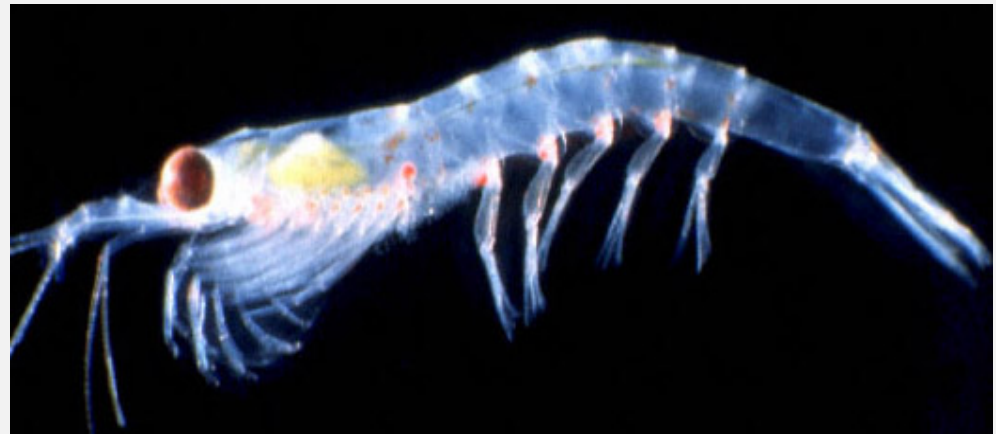


Lumineszcencia: a testek által a hőmérsékleti sugárzáson felül kibocsájtott többlet-sugárzás (hideg fény).

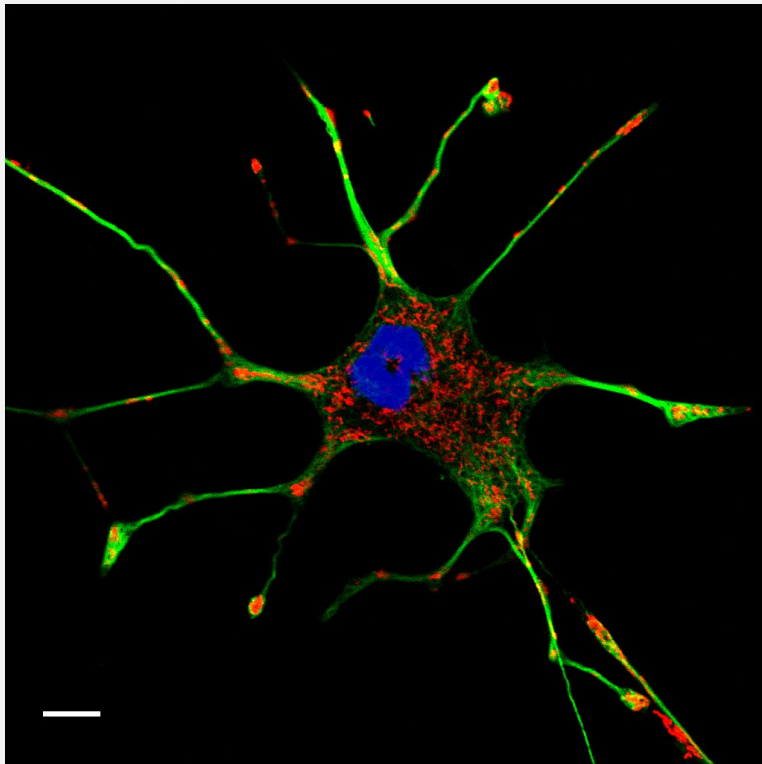
Lumineszcencia a természetben



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

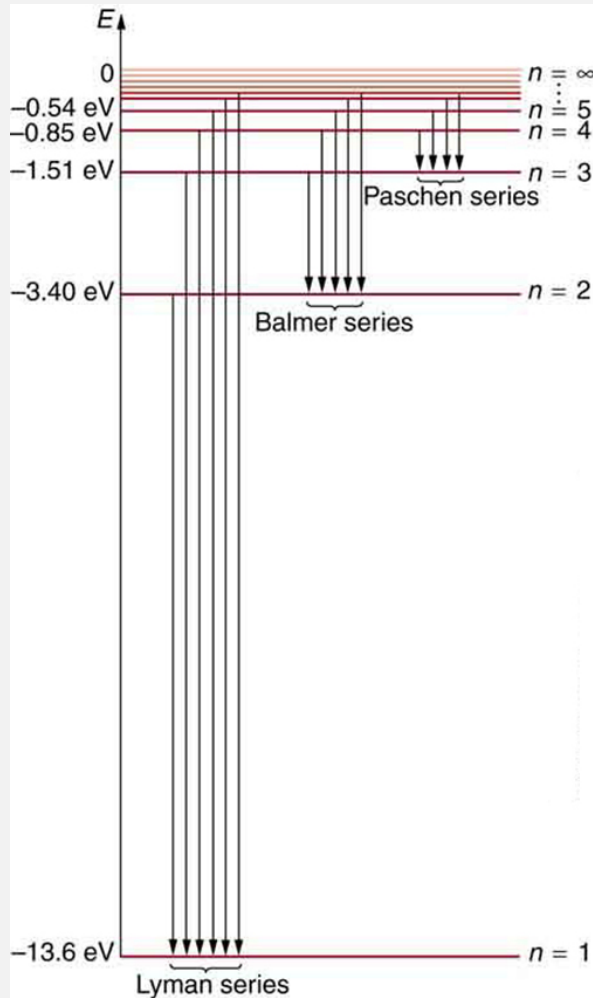


Lumineszcencia alkalmazásai



Atomi energiaszintek

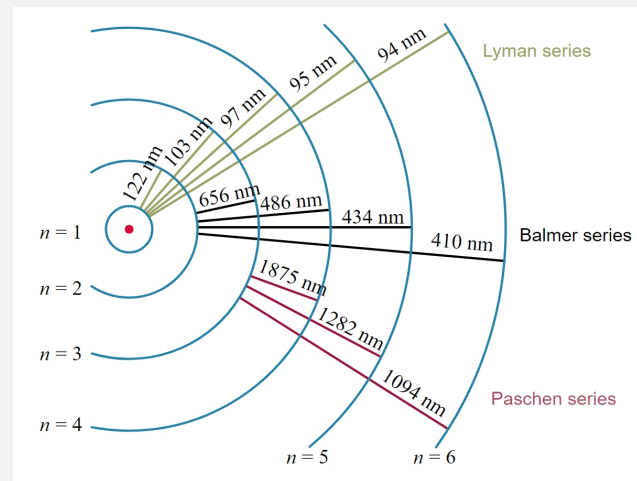
Jablonski-diagram



A hidrogén elnyelési színeképe:

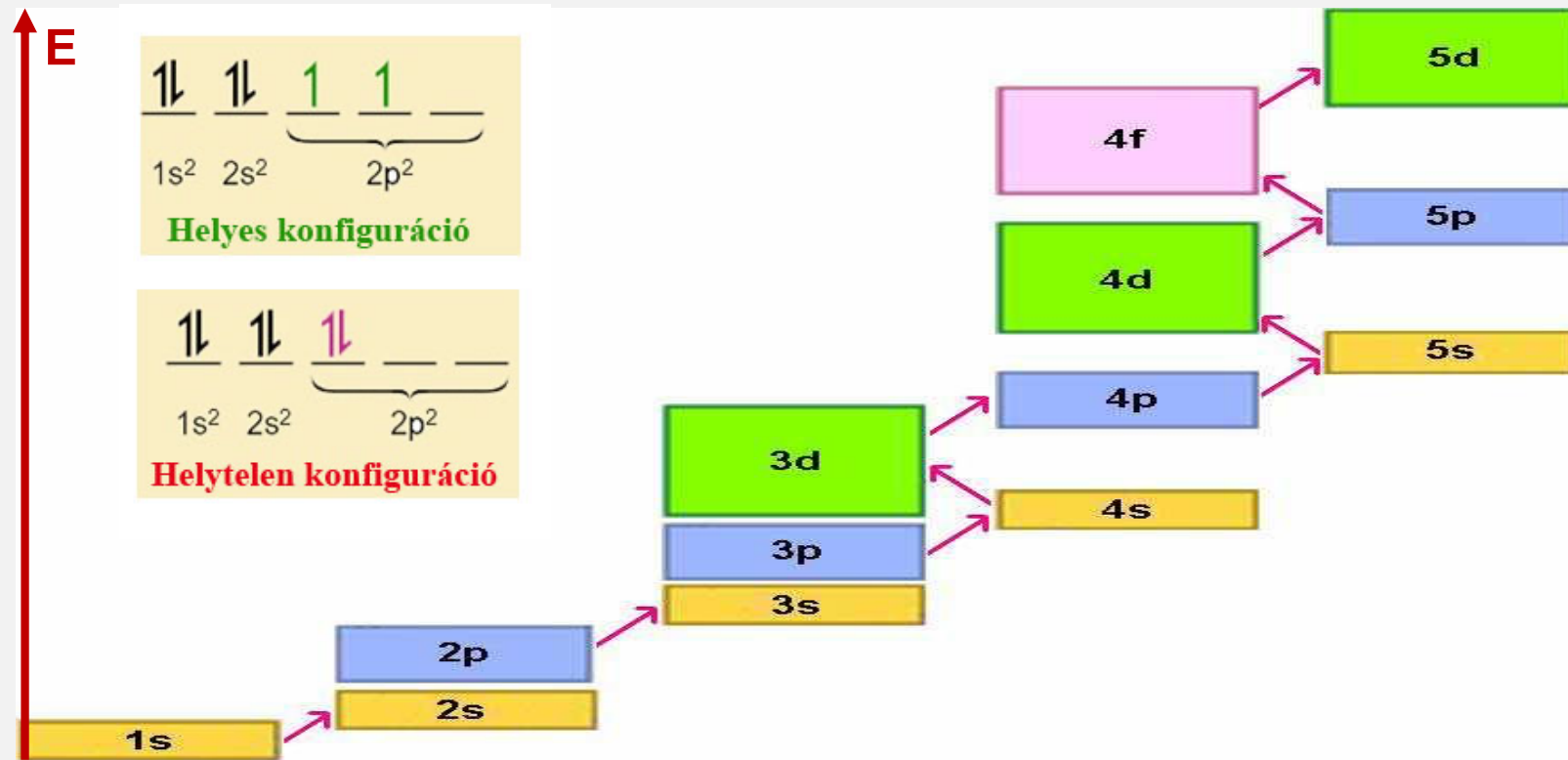


A hidrogén kibocsátási színeképe:



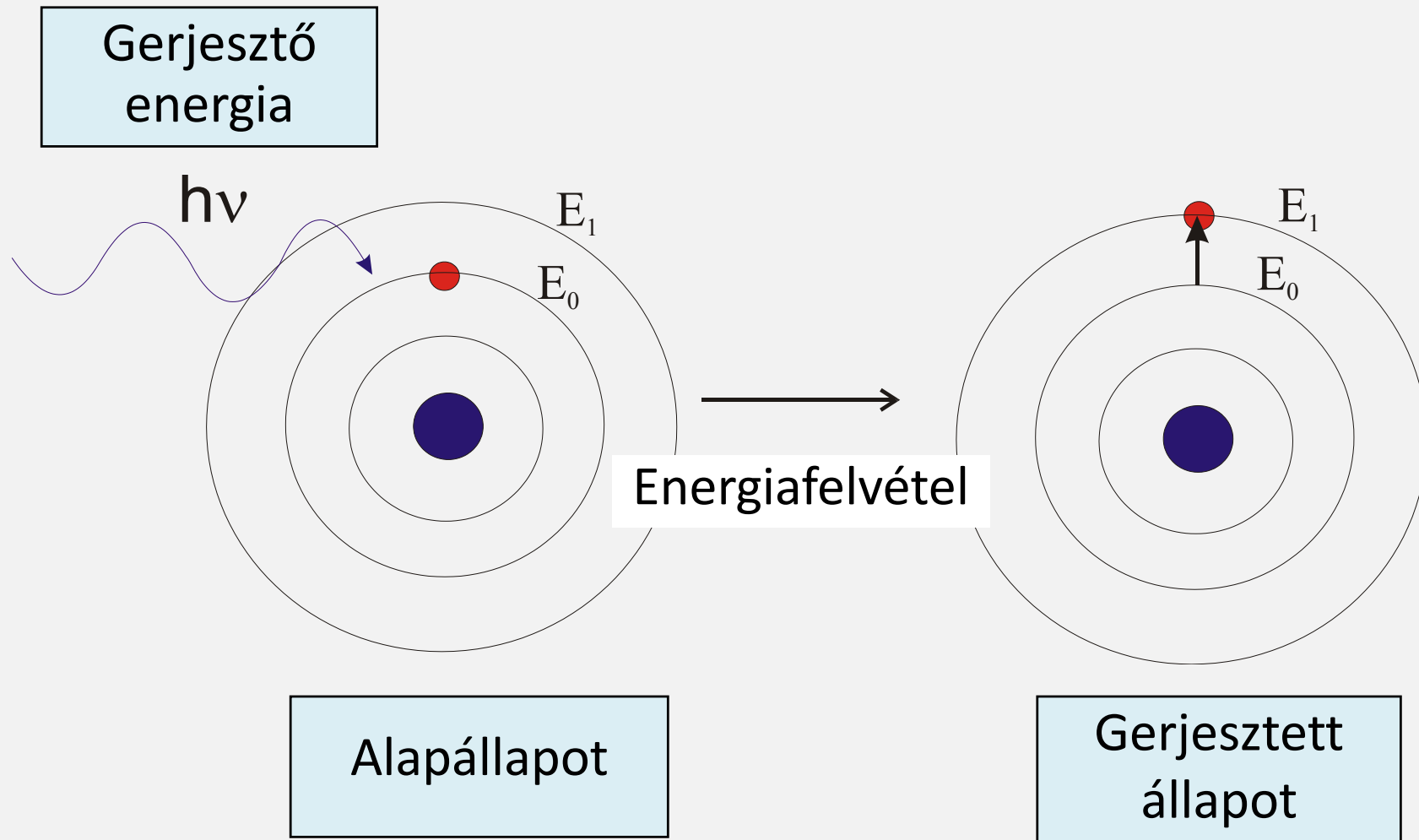
Niels Bohr (1913): Az atomban az elektronok stacionárius pályákon helyezkednek el, nem sugároznak. A stacionárius pályák közötti átmenetek során az elektron a pályák energiakülönbségét kell felvegye, illetve relaxáció során azt sugározza ki.

Atomi energiaszintek



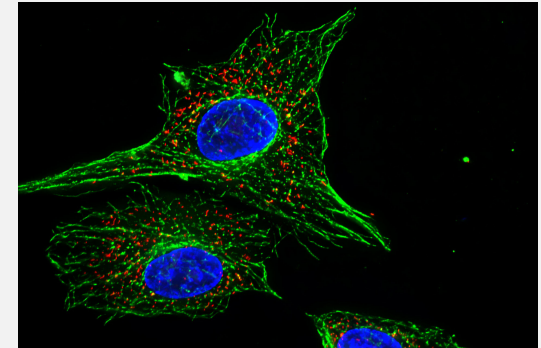
- Az atomban az elektronok energiaállapotai kvantáltak
- A lehetséges legalacsonyabb energiájú állapotot töltik be
- Pauli-féle kizárási elv: egy atomon belül nem létezhet két olyan elektron, amelyeknek mind a négy kvantumszáma megegyezik
- Hund-szabály: adott elektron-konfiguráció mellett a legnagyobb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

Atomi elektronok gerjesztése

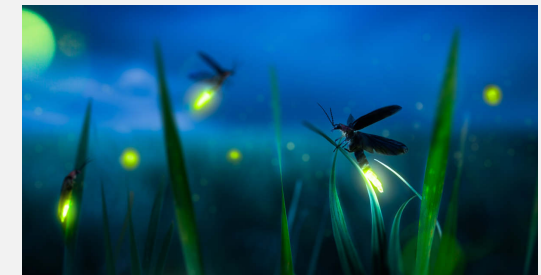


Gerjesztés sokféleképpen lehetséges

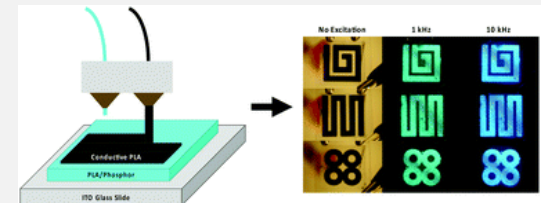
-(fény) foton elnyelése: *fotolumineszcencia*



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

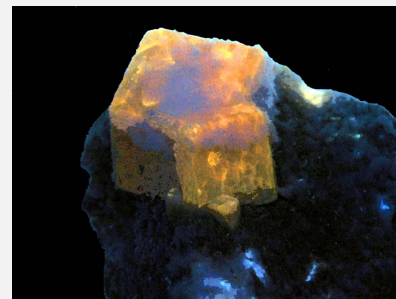


-elektromos tér vagy áram: *elektrolumineszcencia*



-mechanikai deformáció: *tribolumineszcencia*

mentacukor

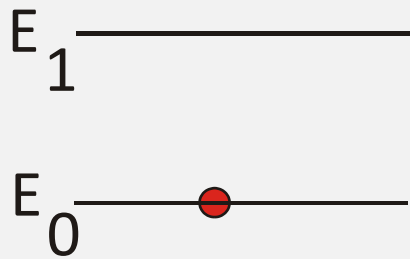


Wulfenit

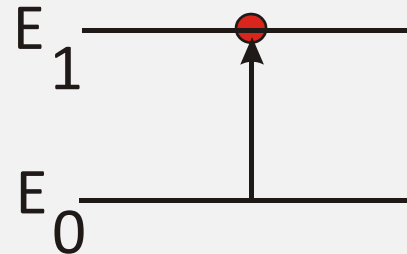
-hőközlés: *termolumineszcencia*



A relaxáció mechanizmusa

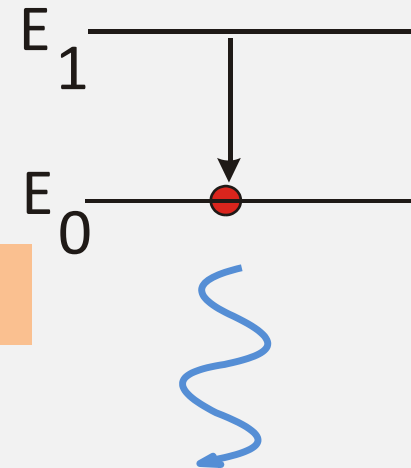


külső héjon lévő elektron gerjesztése



elektron visszatérése alapállapotba

Spontán, külső hatás nélkül!



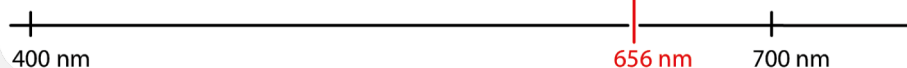
fényemisszió

$$hf = E_1 - E_0$$

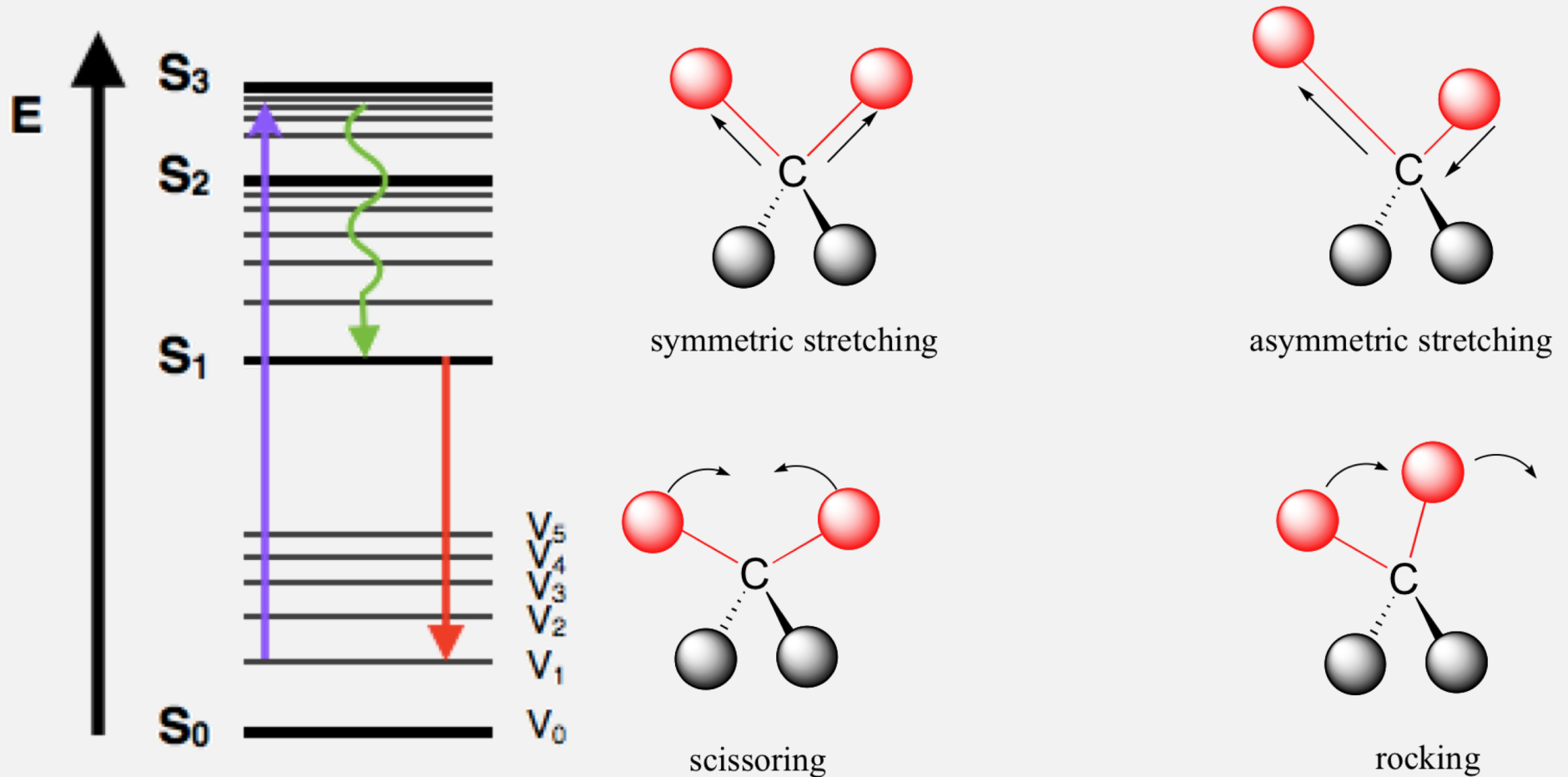
A hidrogén elnyelési színeke:



A hidrogén kibocsátási színeke:

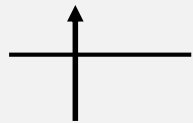
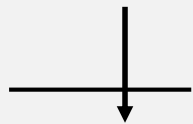


Molekulák energiaszintjei



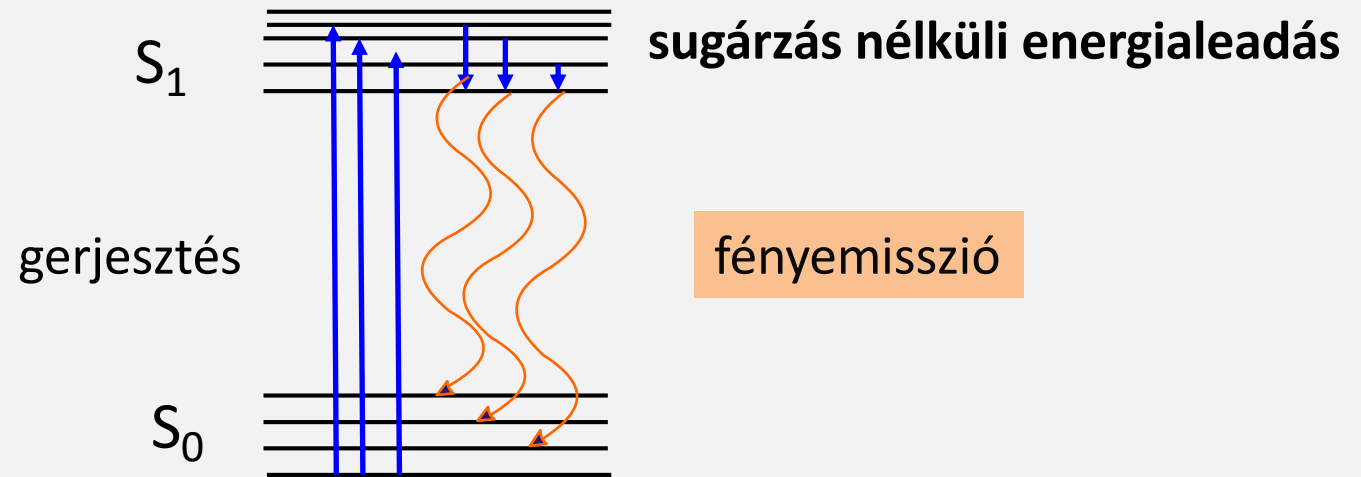
A vibrációs energiaszintek is kvantáltak!

Fluoreszcencia mechanizmusa



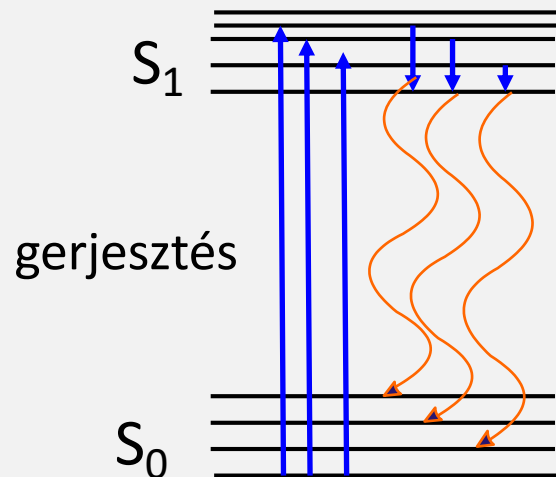
Szingulett állapot

Párosított spinű
elektronok



Fluoreszcencia

Fényemisszió spinváltás nélkül!



Kasha-szabály:

a fényemisszió a legalsó gerjesztett elektronállapot legalsó rezgési nívójáról történik



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

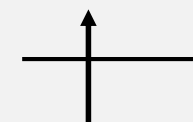
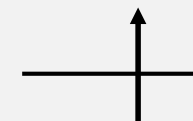
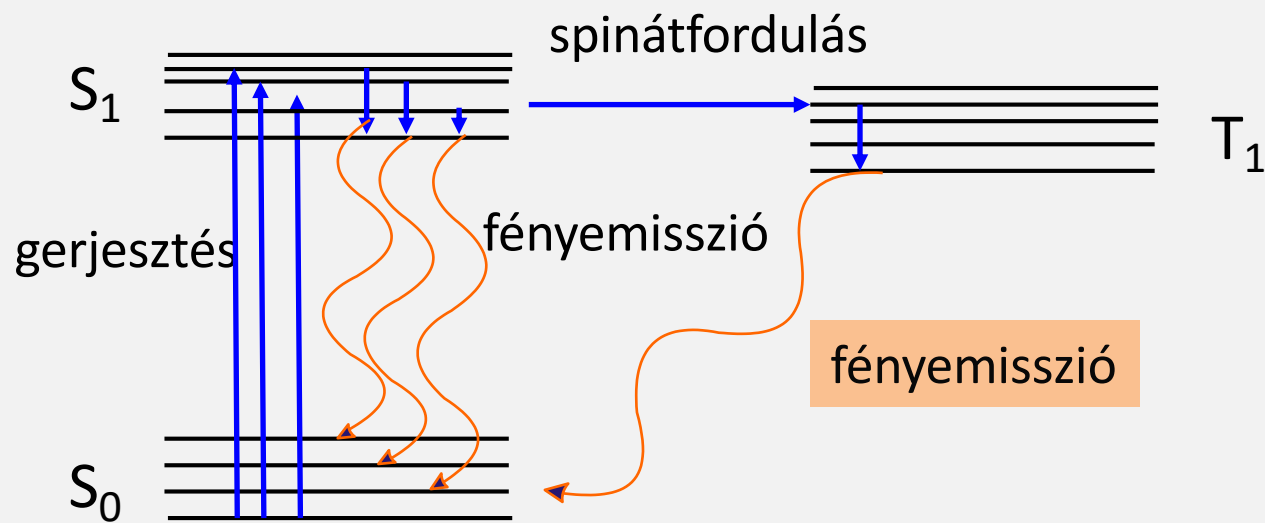
$$\lambda_{\text{gerjesztés}} \leq \lambda_{\text{fluoreszcencia}}$$

Stokes-eltolódás

$$E = h \cdot c / \lambda$$



Foszforeszcencia mechanizmusa



Foszforeszcencia

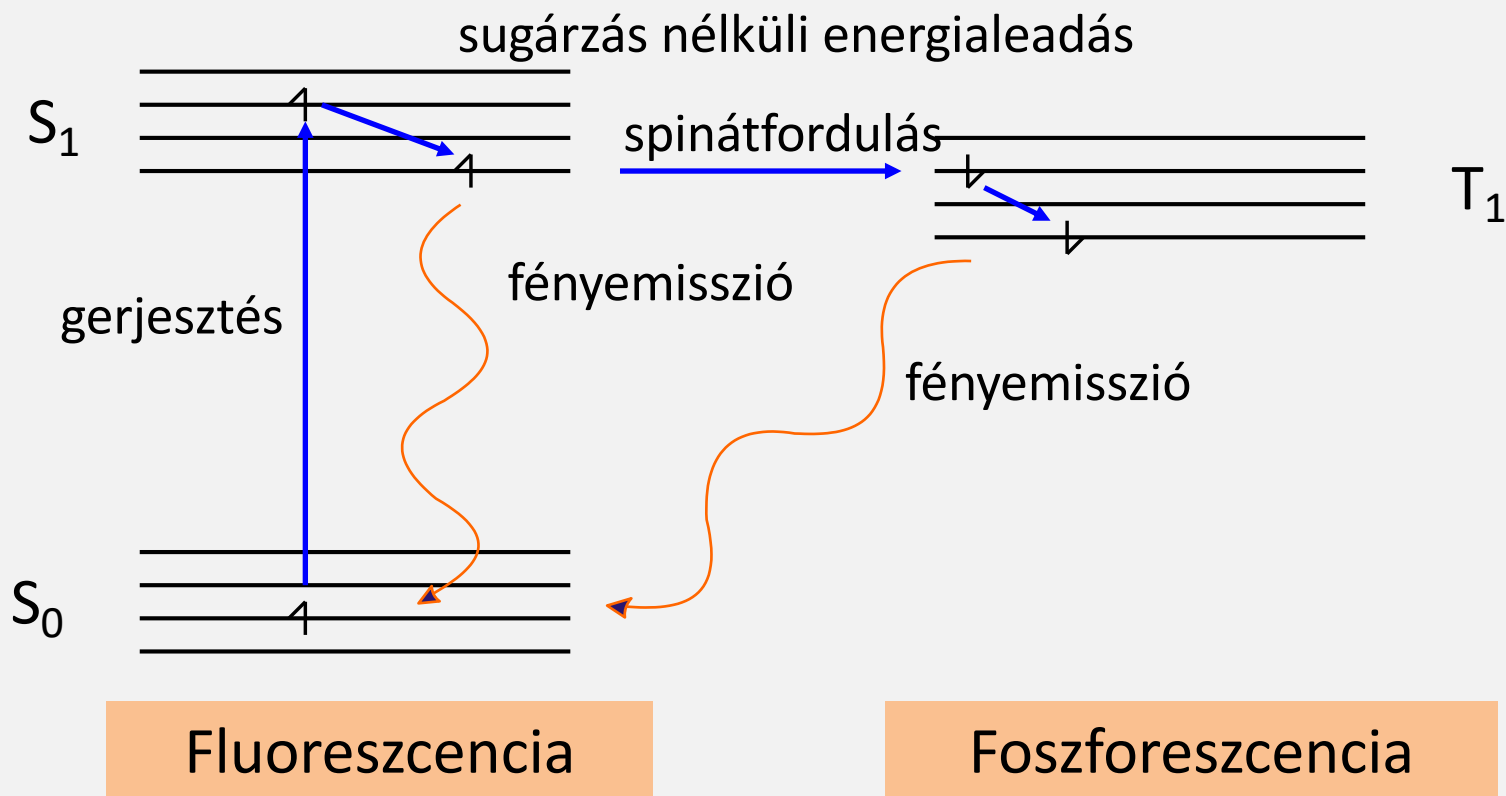
Fényemisszió spinváltozást követően

Triplett állapot

Párosítatlan spinű elektronok

Metastabil állapot

Emittált foton energiájának jellemzése



**Stokes-
eltolódás**

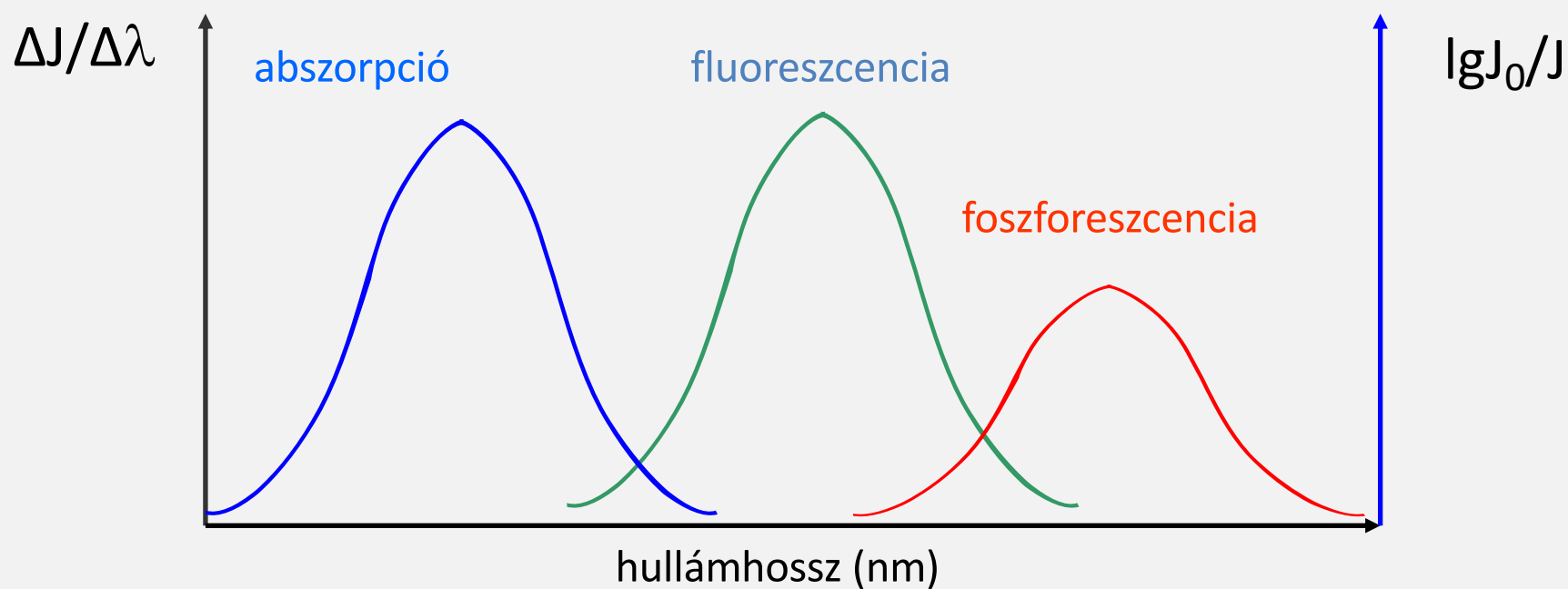
$$E_{\text{gerjesztés}} \geq E_{\text{fluoreszcencia}} > E_{\text{foszforeszcencia}}$$

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

Emittált intenzitás hullámhossz szerinti eloszlása

Emissziós spektrum

Molekulák esetében: sávos spektrum

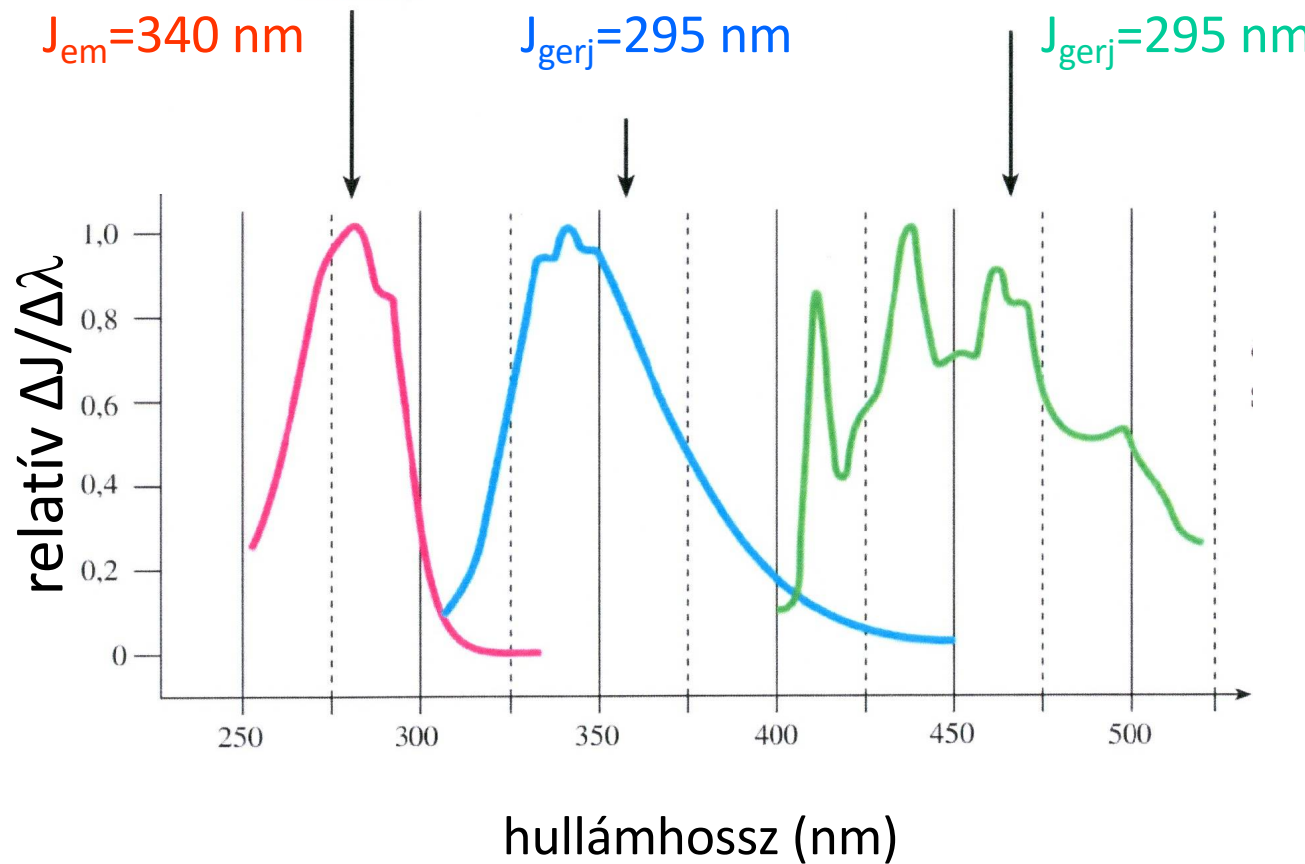


$$\lambda_{\text{gerjesztés}} \leq \lambda_{\text{fluoreszcencia}} < \lambda_{\text{foszforeszcencia}}$$

Stokes-eltolódás

Pl.: a triptofán aminosav spektrumai

Fluoreszcencia gerjesztési spektrum Fluoreszcencia emissziós spektrum Foszforeszcencia emissziós spektrum



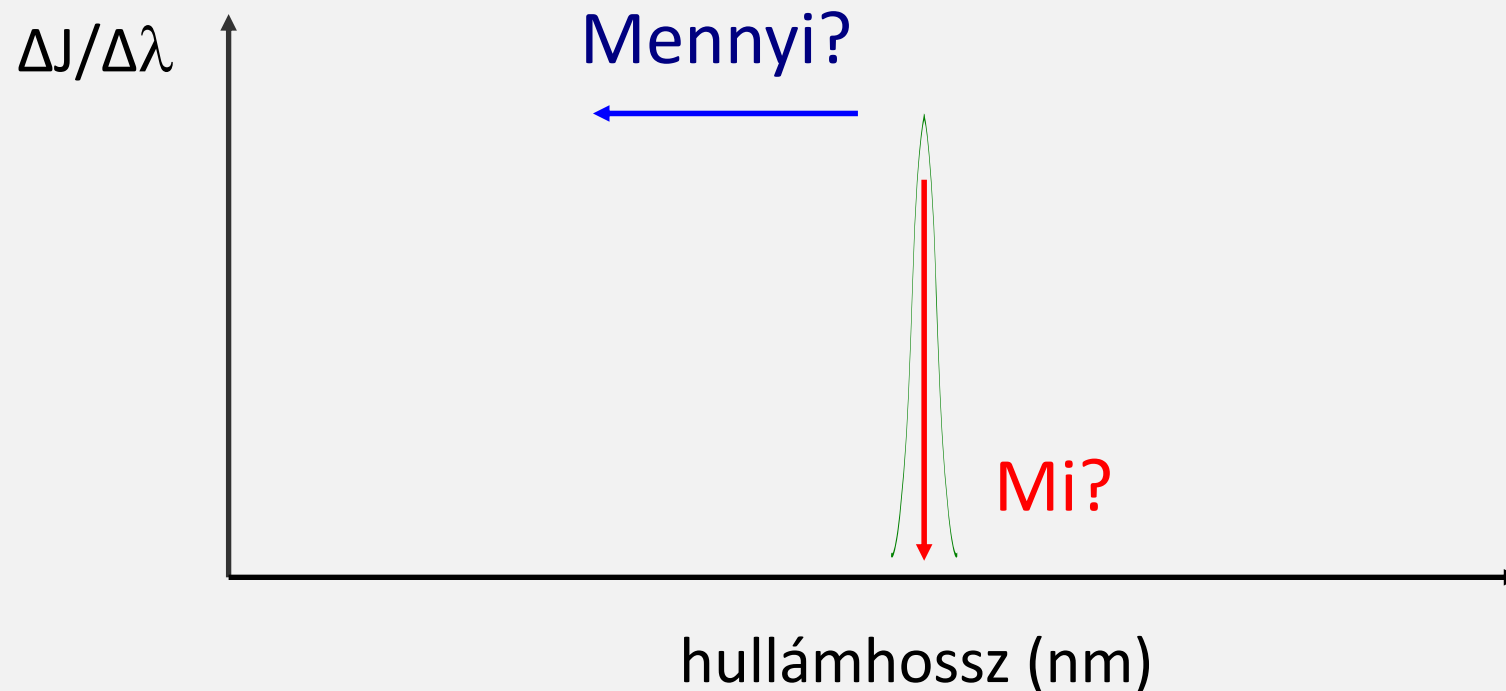
Emisszió jellemzése

Kibocsájtott intenzitás hullámhossz szerinti eloszlása

Emissziós spektrum

Atomok esetében:

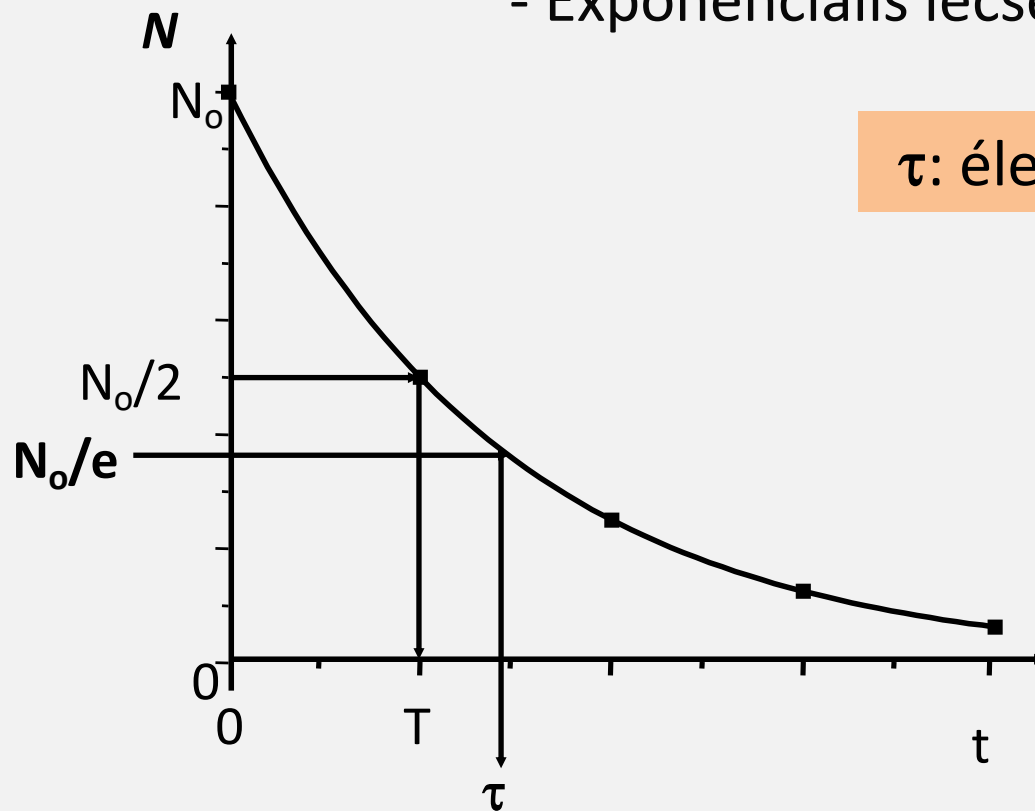
vonalas spektrum



Gerjesztett elektronok
száma

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

- Exponenciális lecsengés



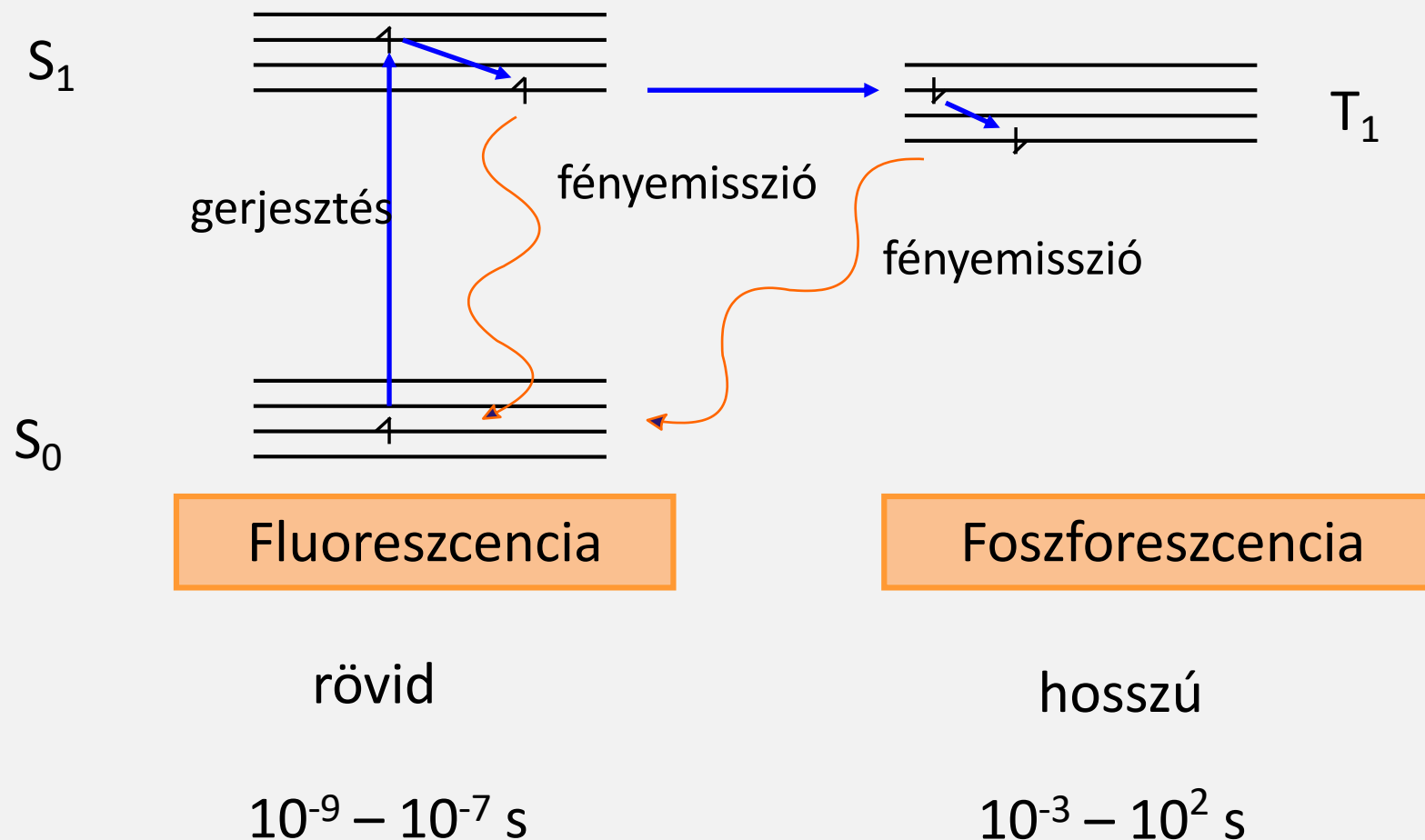
τ : élettartam T : fél-életidő

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)

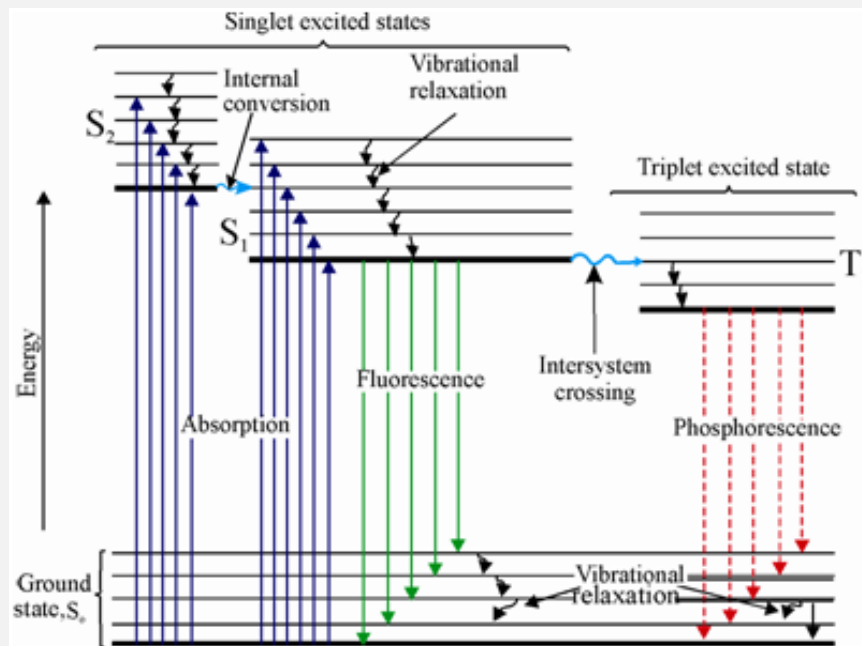
Q_F = kisugárzott fotonok száma / elnyelt fotonok száma

$$Q_F \leq 1$$

Lumineszcencia összefoglalás

A lumineszcencia fajtái:

- fluoreszcencia
- foszforeszcencia



Jellemzésük:

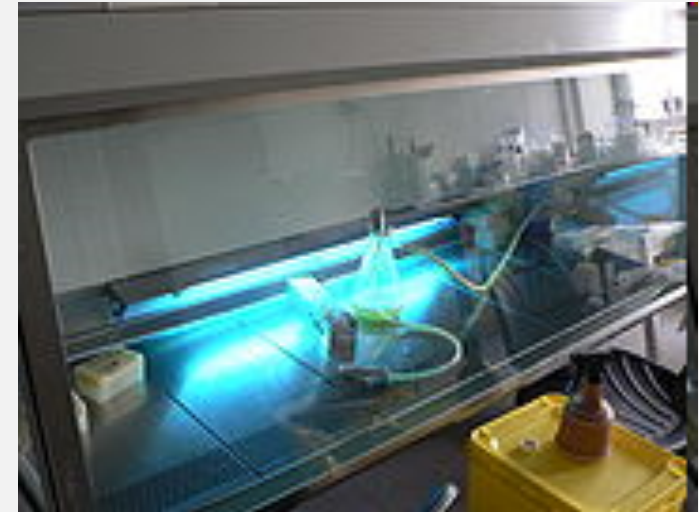
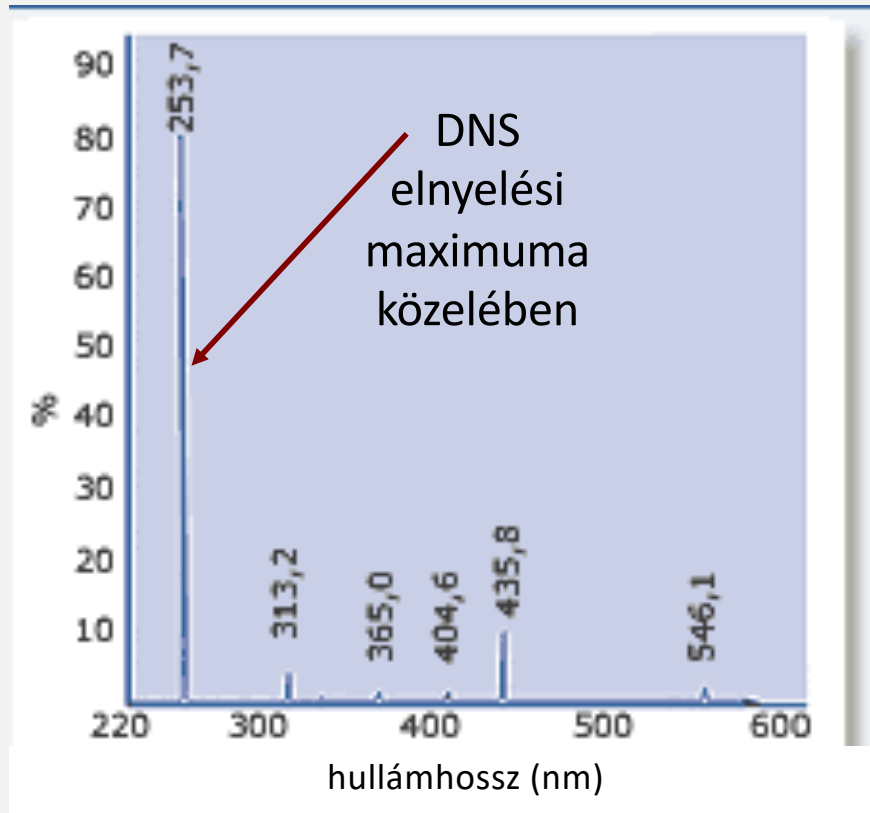
- emissziós spektrum:
 - típusa
 - maximumának helye
 - alakja
 - amplitúdója
- élettartam
- kvantumhatásfok

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 ...



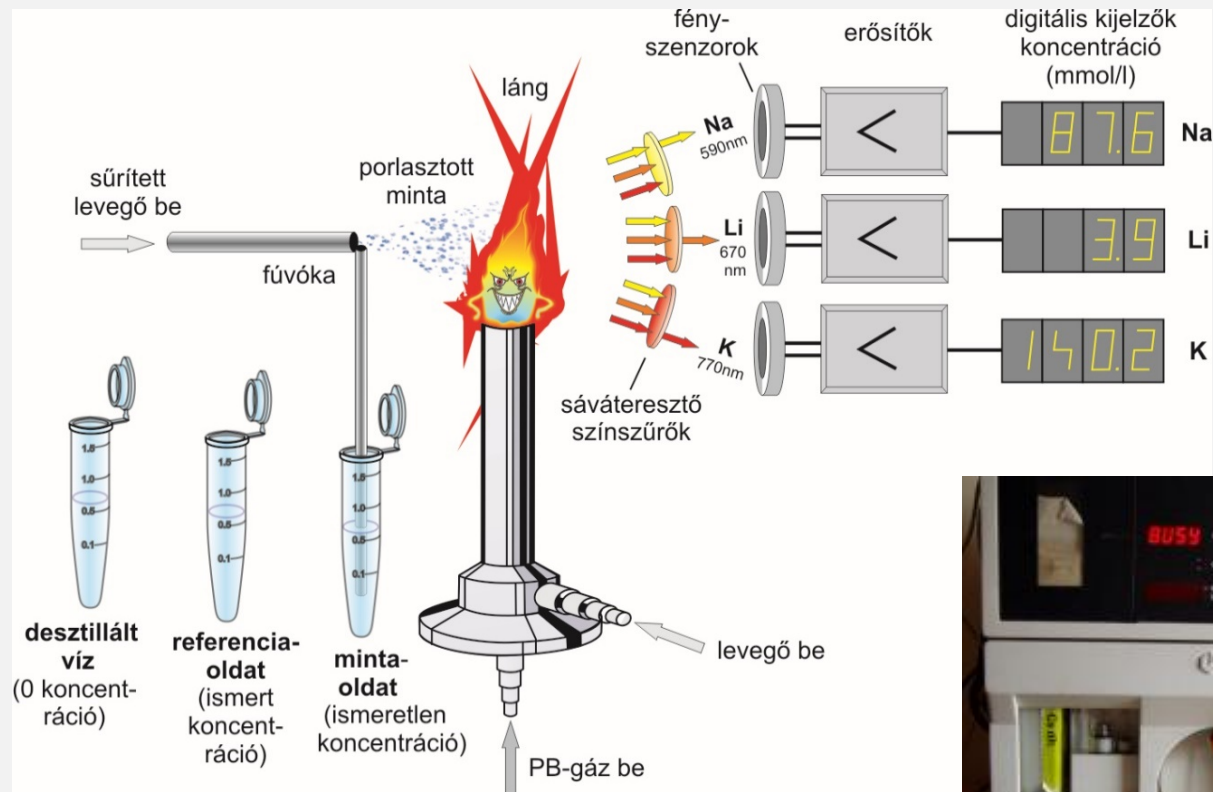
Kisnyomású Hg-gőz lámpa



Sterilizálás
„germicid lámpa”

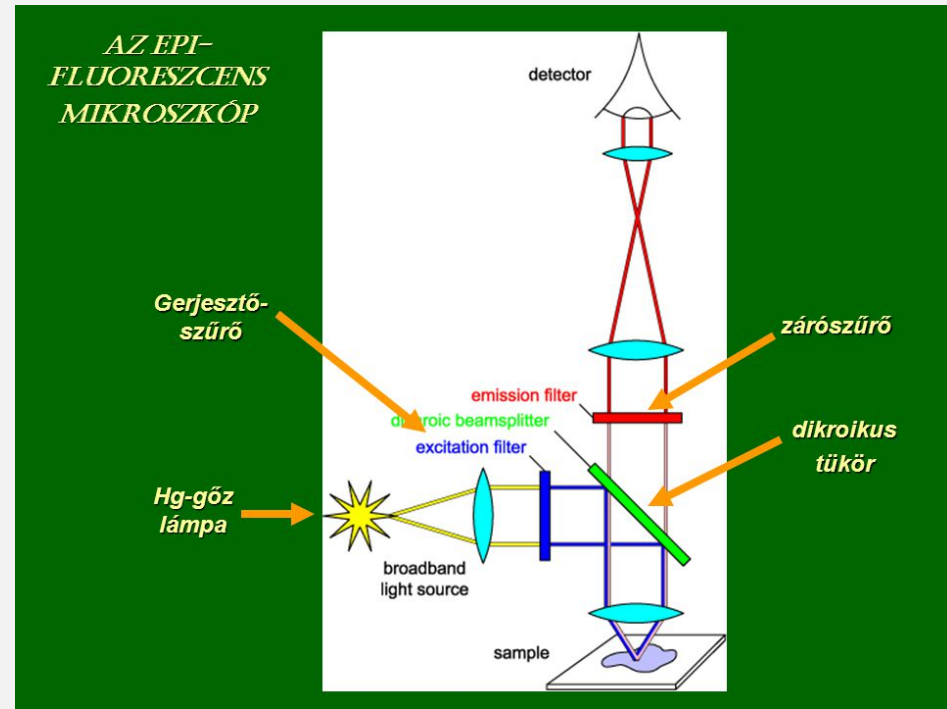
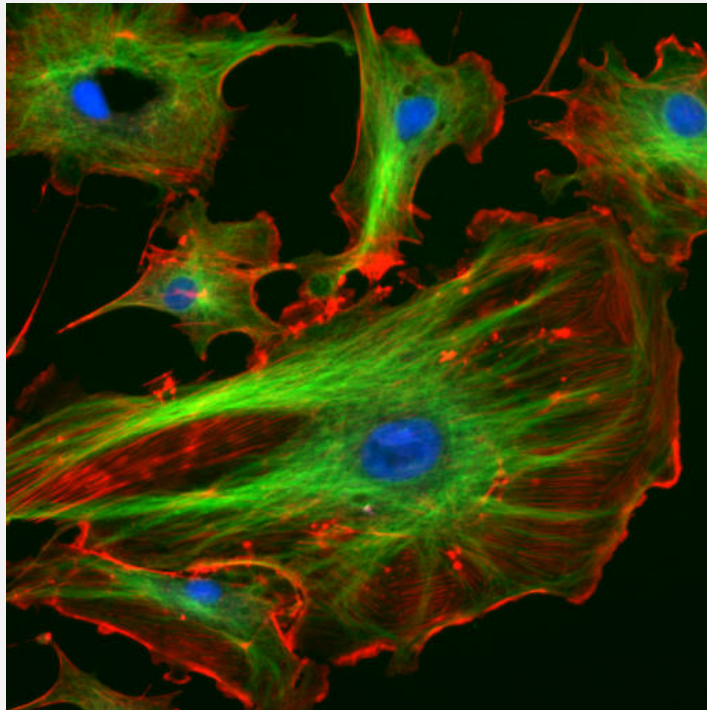


Lángfotométer

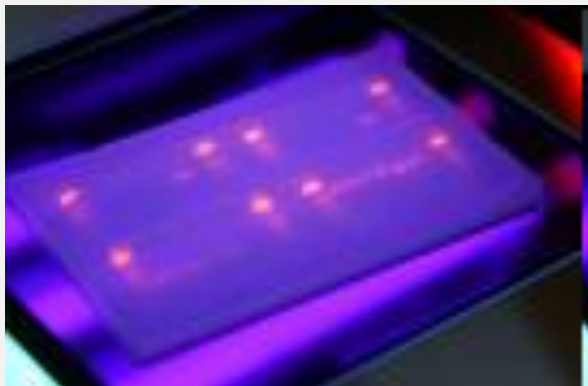


K^+ , Li^+ és Na^+ mennyiségi meghatározása

Fluoreszcens mikroszkópia



Laboratóriumi alkalmazás számos területe...



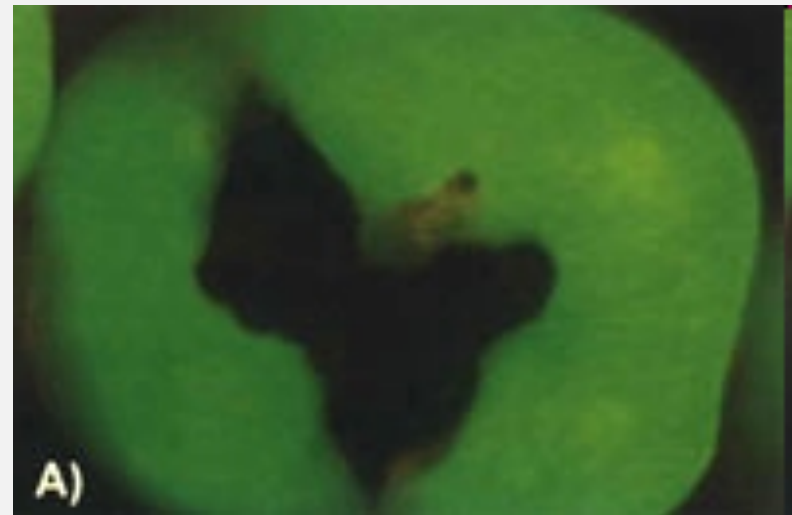
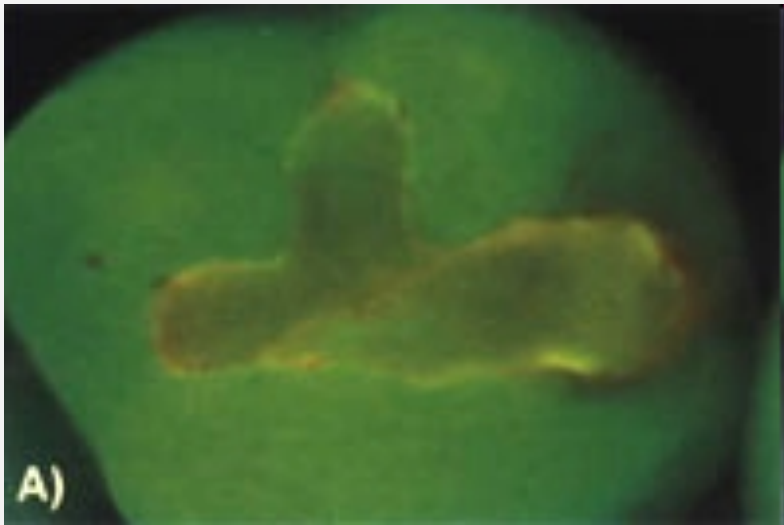
gélfestés



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

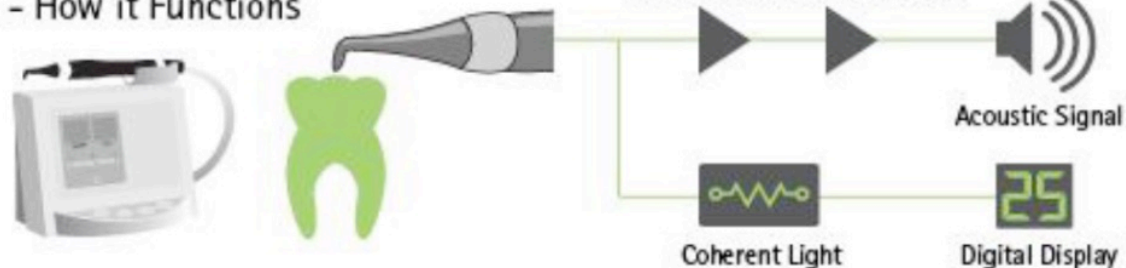


Figure (5) Spectra camera with spacer on (Kurtzman, 2010).

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

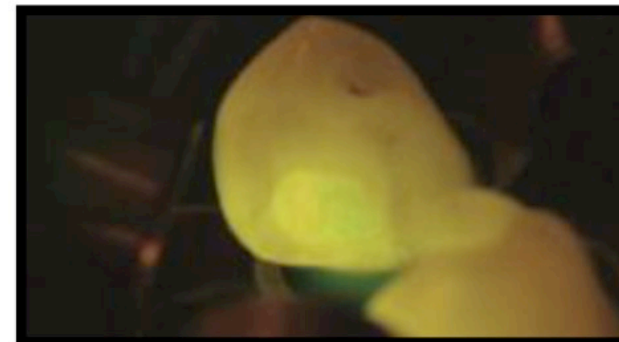
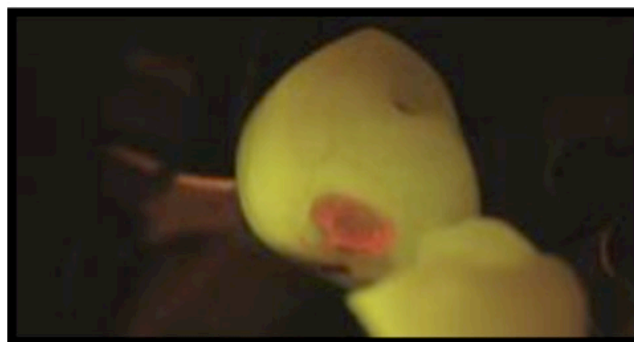
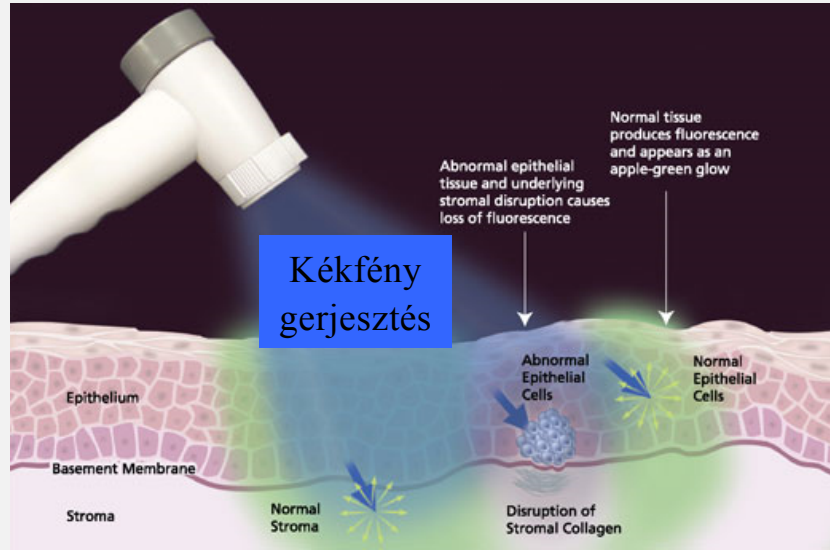
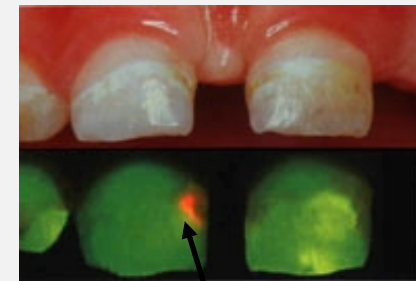


Figure (8) Photos showed cavity illumination with Facelight before and after caries excavation (21).

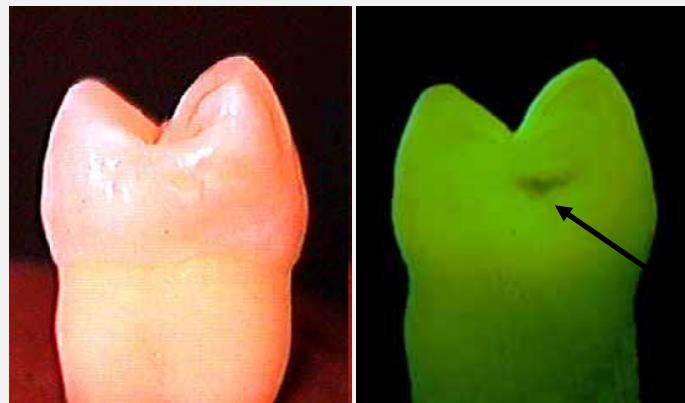


Egészséges és malignus szövetek eltérő fluoreszcens tulajdonságai

Tejfogak felszíne natív állapotban és fluoreszcens festés után



Aktív caries



Kezdődő caries

Fog felszíne natív állapotban és fluoreszcens festés után

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

Herényi Levente: Orvosegyetemi fizika - Megérthető összefüggésekkel és matematikai alapokkal kezdőknek és haladóknak. Semmelweis Kiadó 2024