

Fizioterápia MSc – Biofizika

Fény és anyag kölcsönhatásai

Dr. Voszka István előadása alapján

Dr. Liliom Károly

Biofizikai és Sugárbiológiai Intézet

karoly.liliom.mta@gmail.com

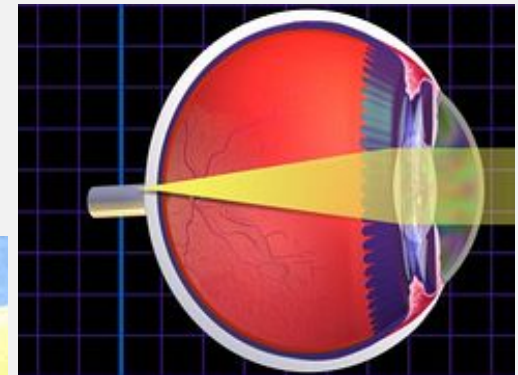
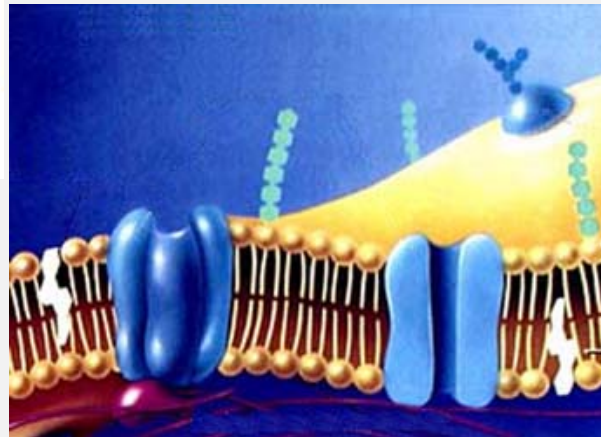
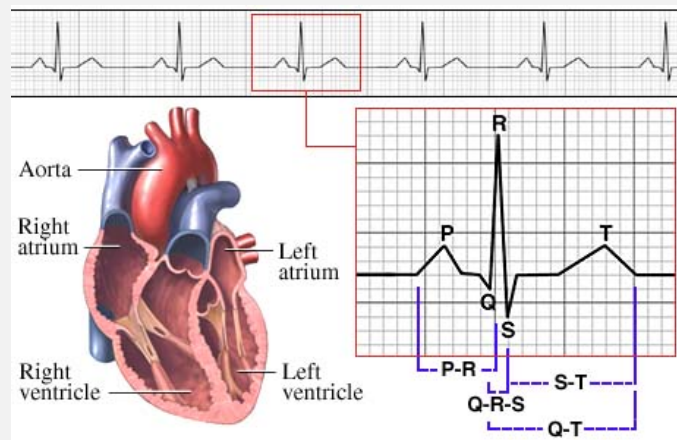
voszka.istvan@med.Semmelweis-univ.hu

2023. 10. 16.

Mi a biofizika tárgya?

Biológiai jelenségek fizikai leírása/értelmezése

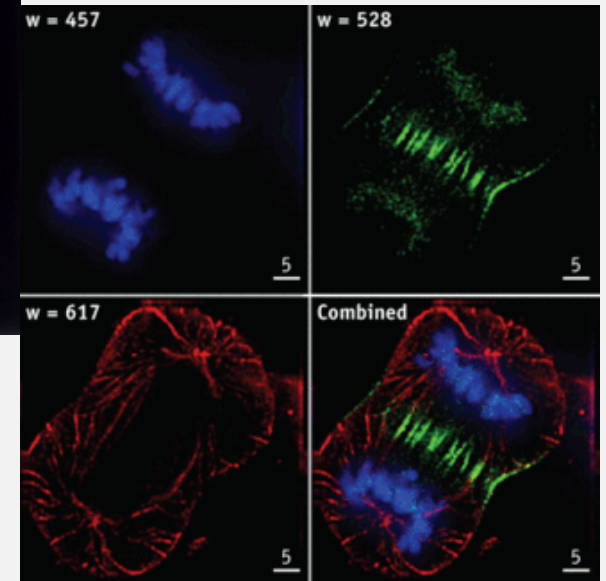
Pl. szívműködés, membránok szerkezete és működése, érzékelés stb.



Mi a biofizika tárgya?

A biológiában és orvostudományban alkalmazott fizikai módszerek tárgyalása

Pl. EKG, röntgendiagnosztika, mikroszkópos technikák stb.



Fizikai alapismeretek

„középiskolás” fizika és matematika kereteiben maradunk



Biofizikai és Sugárbiológiai Intézet
Semmelweis Egyetem - Általános Orvostudományi Kar

Feedback | Dokumentumtar | Adatrekvizit

Kezdőlap **Oktatás** Kutatás Szolgáltatás Munkatársak Elérhetőségek

Általános Orvostudományi Kar

- Az orvosi biofizika matematikai és fizikai alapjai
- Biofizika Gyakorlatok
- Demonstrátori munka
- Modellmembránok
- OMHV intézkedési terv
- Orvosi biofizika I.
- Orvosi biofizika II.
- Orvosi statisztika, informatika és személynéma

Fogorvostudományi Kar

- A biofizika fizikai alapjai
- Biofizika Gyakorlatok
- Biofizika II. (FOK)
- Demonstrátori munka
- Fogorvosi anyagtudomány fizikai alapjai
- Modellmembránok
- OMHV intézkedési terv

Gyógyszerésztudományi Kar

- A biofizika fizikai alapjai
- Biofizika 1. (GyTK)

A biofizika fizikai alapjai

2021-2022

Leírás **Előadások** Vizsga

Általános információk

Szabadon választható tárgy:

14 óra elmélet tömbösítve az első 4 oktatási héten.

Az előadások az EOK Békésy előadótermében lesznek (Tűzoltó u. 37-47) hétfőn 18:40-20:10 között és csütörtökön 17:05-18:35 között.

Előadók: Dr. Kósa Nikoletta, Dr. Orosz Ádám, Dr. Zolcsák Ádám.

A záróteszt az 5. oktatási héten lesz, pontos időpontját később közöljük.

A tantárgy rövid leírása

A tárgy célja a középiskolai oktatás hiányosságainak pótlása, az orvosi biofizika megértéséhez szükséges ismeretek összefoglalása.

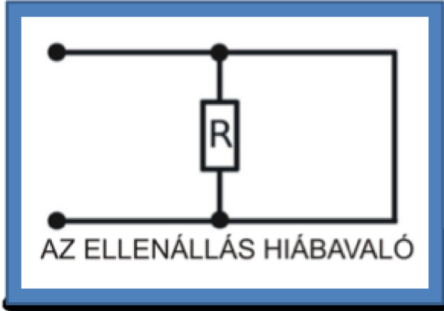
A tantárgy elsajátításához szükséges segédanyagok (könyv, jegyzet, egyéb)

 [alapfizika jegyzet \[pdf\]](#)

Fizikai alapismeretek

Vizsgareleváns kiegészítő anyag
az „orvosi biofizika” és „biofizika” kurzusokhoz

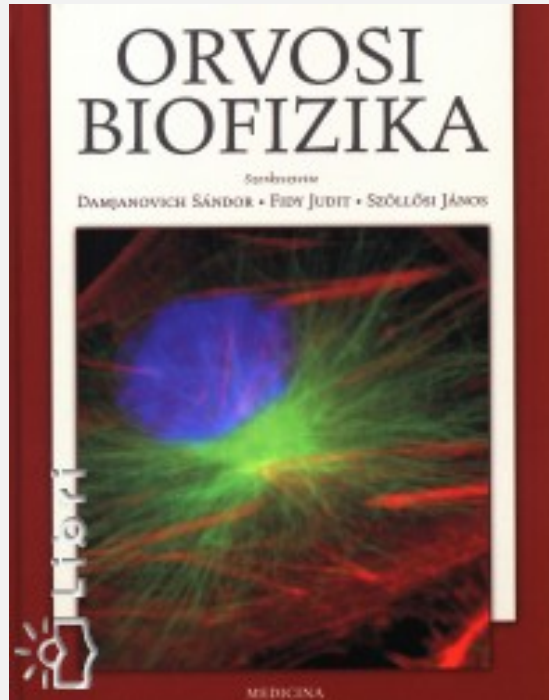
Összeállította: Dr. Tölgyesi Ferenc, egyetemi docens



AZ ELLENÁLLÁS HIÁBAVALÓ

Semmelweis Egyetem
Biofizikai és Sugárbiológiai Intézet
2016

Ajánlott irodalom:



Damjanovich S, Fidy J, Szöllősi J (szerk.)

Orvosi Biofizika (Medicina, 2007)

II., VIII., IX. fejezetek

<https://biofiz.semmelweis.hu/index.php?p=dokumentumtar>

Sugárzások

Sugárzás: energia kibocsátása és terjedése

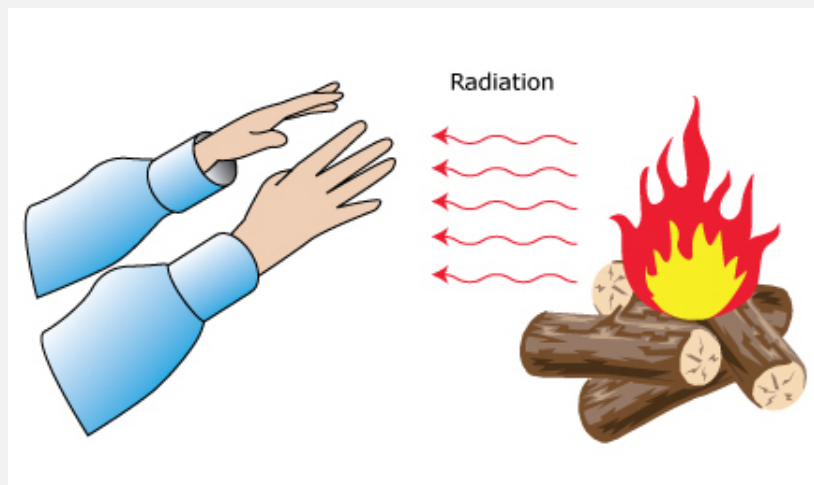
Milyen példákat tapasztalunk magunk körül?

hang

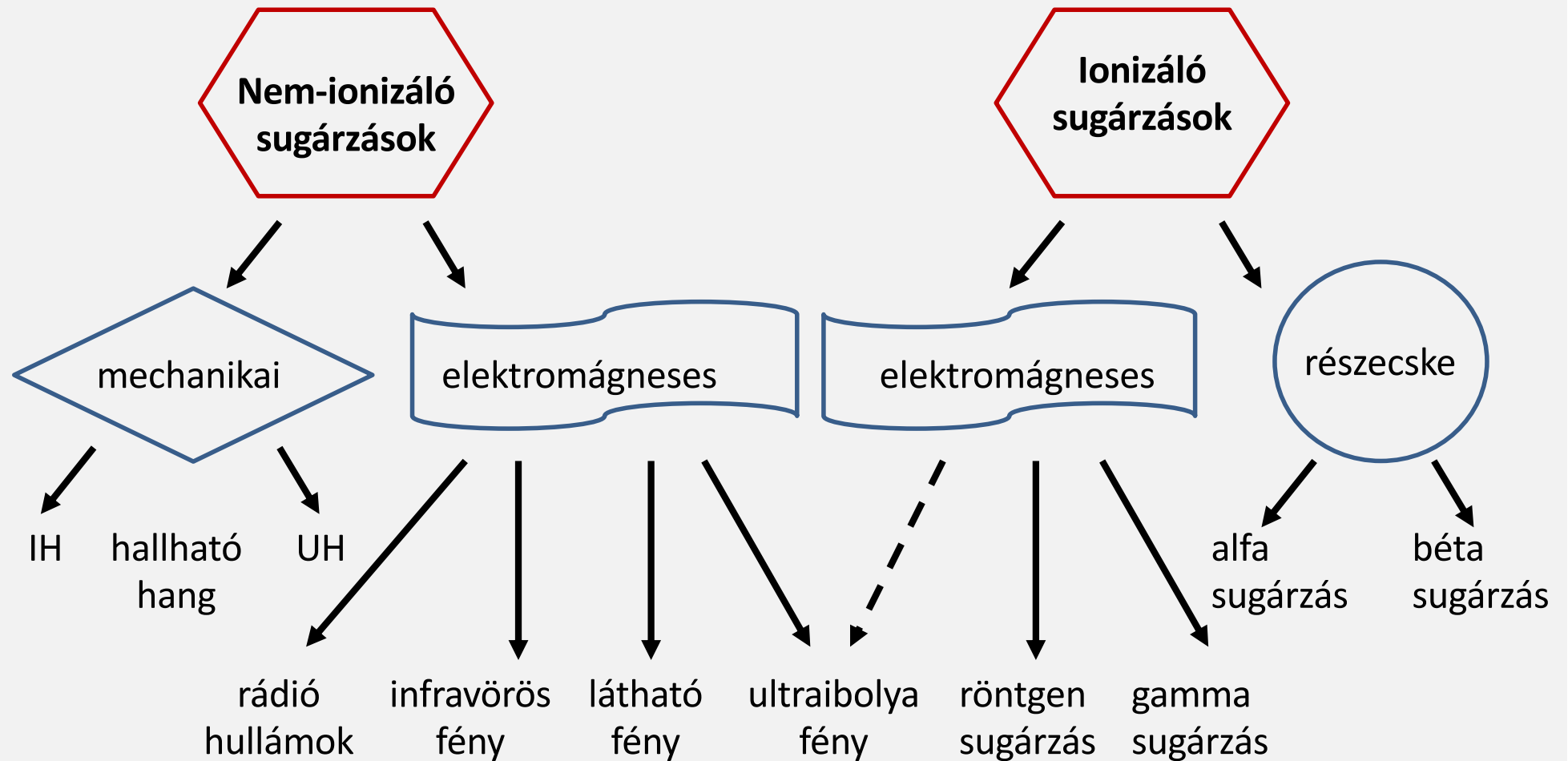
fény

rádióhullámok

magsugárzások



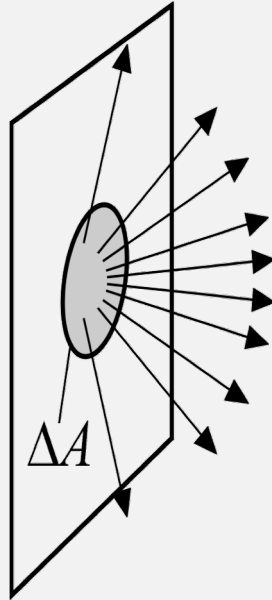
Sugárzások osztályozása



Sugárzásokat jellemző mennyiségek

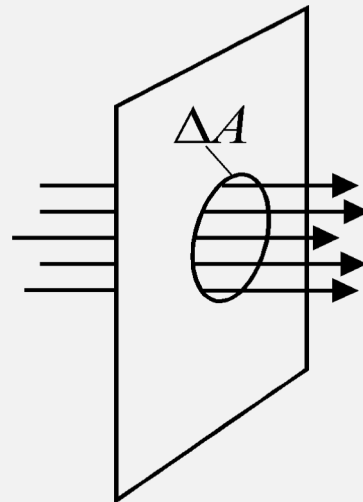
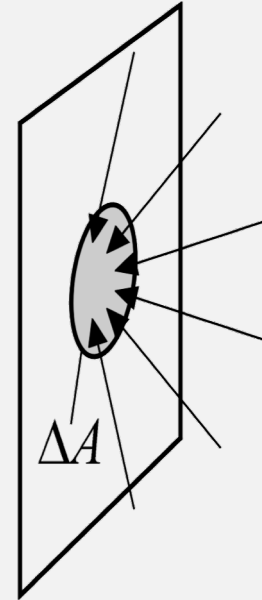
kisugárzott felületi teljesítmény:

$$M = \Delta P / \Delta A = \Delta E / \Delta t \Delta A$$



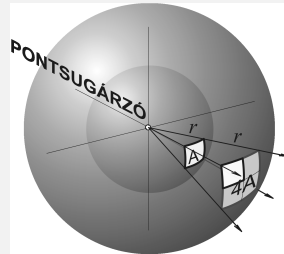
besugárzott felületi teljesítmény:

$$E_{be} = \Delta P / \Delta A \text{ (W/m}^2\text{)}$$



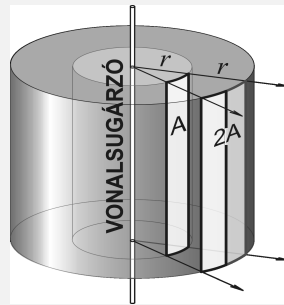
sugárzás intenzitása = sugárzásra
merőleges irányban egységnyi
felületen egységnyi idő alatt
átáramló energia
 $J_E = \Delta E / \Delta t \Delta A$

Sugárforrások osztályozása



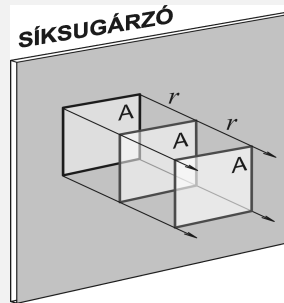
Pontsugárzó forrás:

$$A \sim r^2 \rightarrow J \sim 1/r^2$$



Vonalsugárzó forrás:

$$A \sim r \rightarrow J \sim 1/r$$



Síksugárzó forrás:

$$A \sim \text{állandó} \rightarrow J \sim \text{állandó}$$

Hullámok általános leírása

Rezgés (oszcilláció) következtében kialakuló,
térben és időben periodikus jelenség, amelyben energia terjed



de a hullámok különbözhetnek
az energia fajtája
az energia mennyisége
a terjedés mechanizmusa szerint

Jellemző mennyiségek:

Térbeli periodicitás - *hullámhossz*

λ [m]

Maximális kitérés = *amplitúdó*

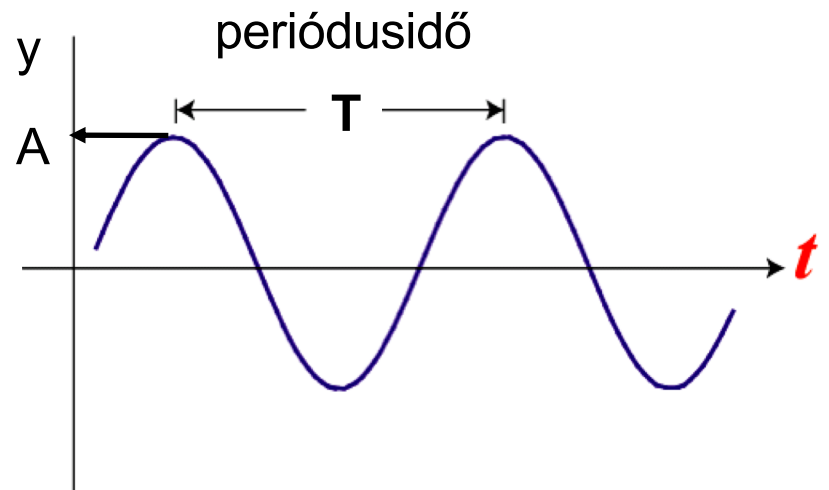
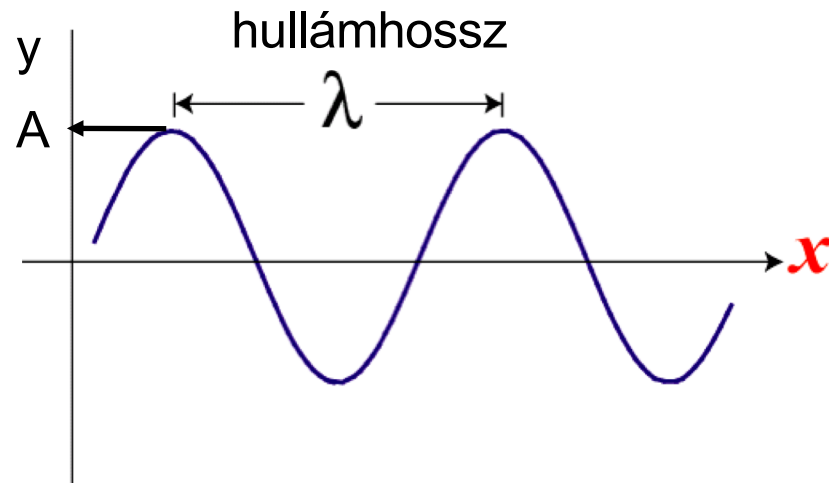
Időbeli periodicitás - periódusidő

T [s]

frekvencia, f [Hz]

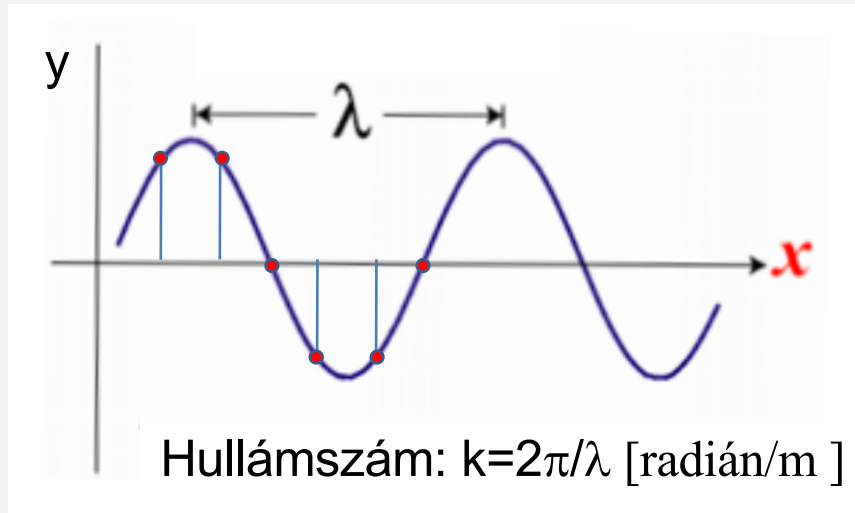
$$f = \frac{1}{T} \left[\frac{1}{s} \right]$$

hullámsebesség: $c = \lambda/T = \lambda f$



Fázis: kitérési állapot

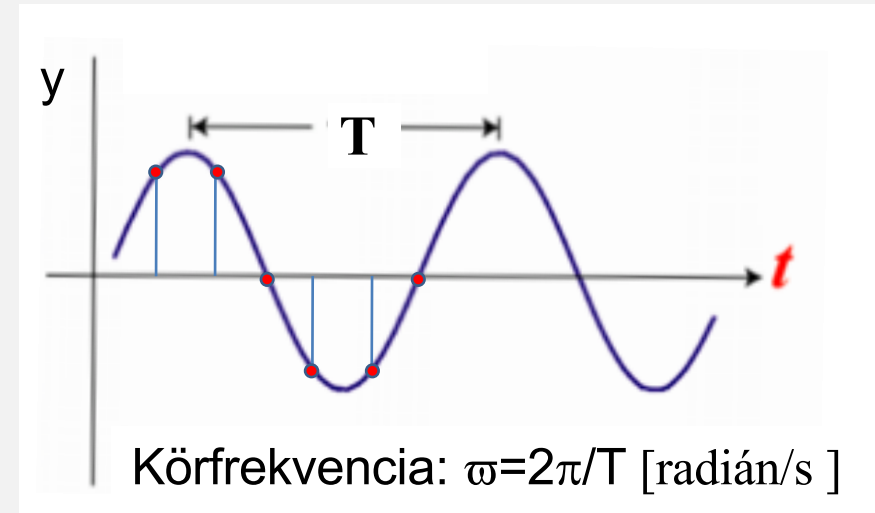
térben vizsgálva



$$\phi(x)=kx+\phi_0$$



időben vizsgálva



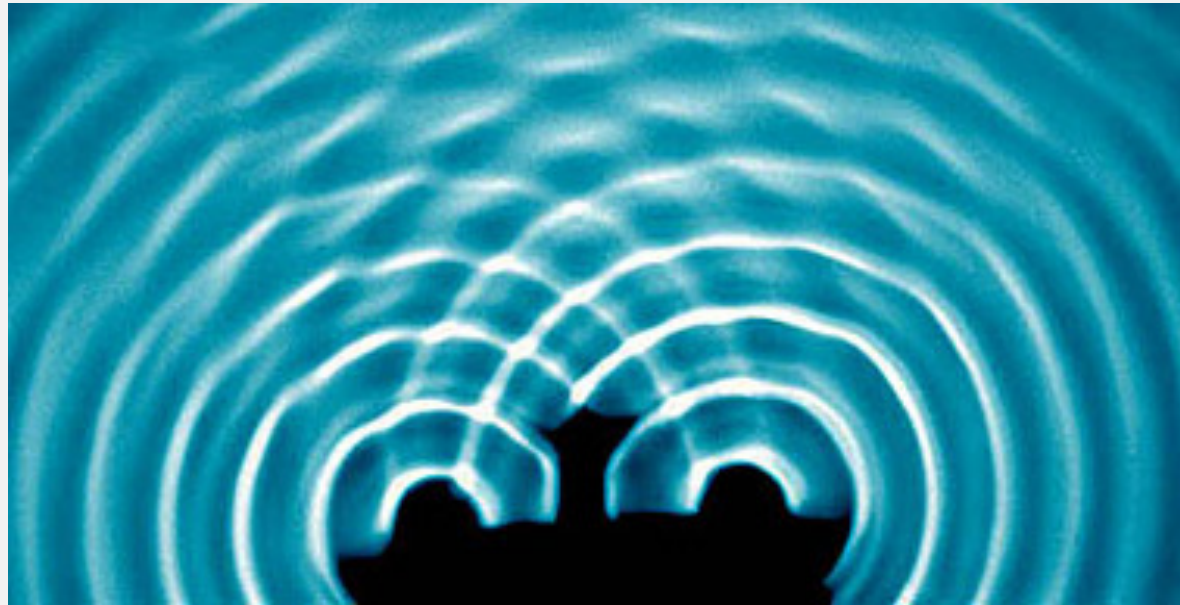
$$\phi(t)=\omega t+\phi_0$$



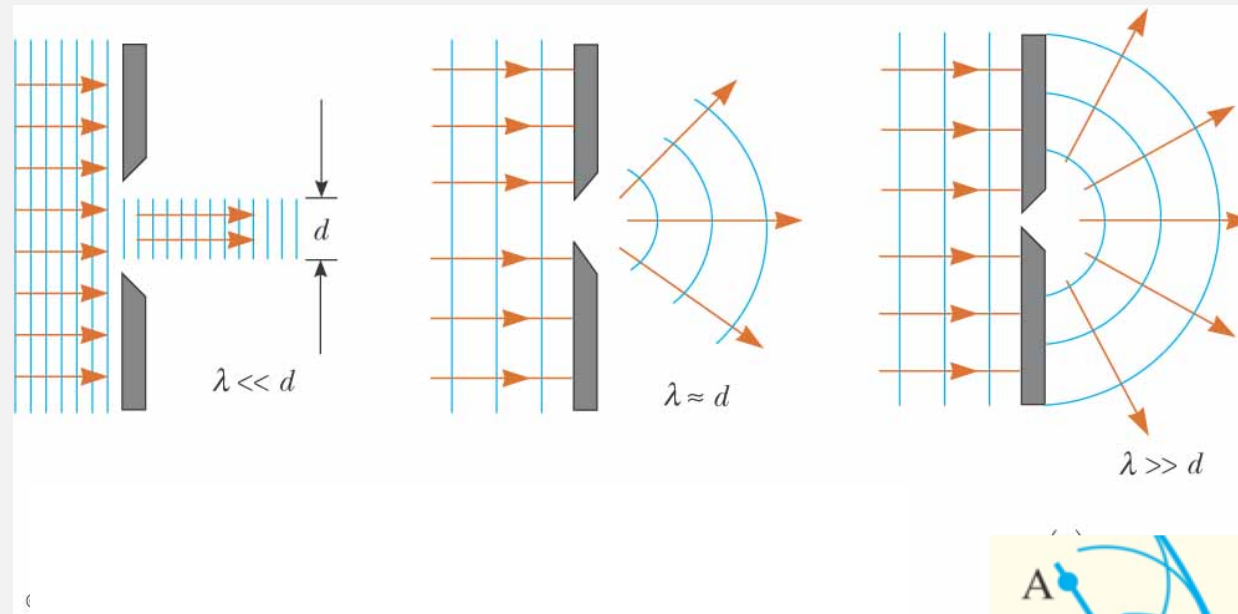
$$\phi=\omega t+kx+\phi_0$$

Hullámtermészetet bizonyító jelenségek:

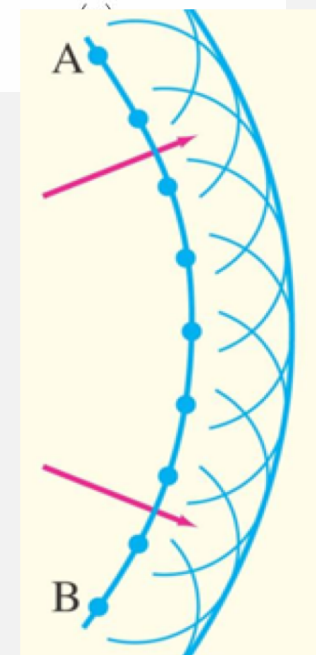
- elhajlás
- szuperpozíció/interferencia
- polarizáció



Hullámok elhajlása

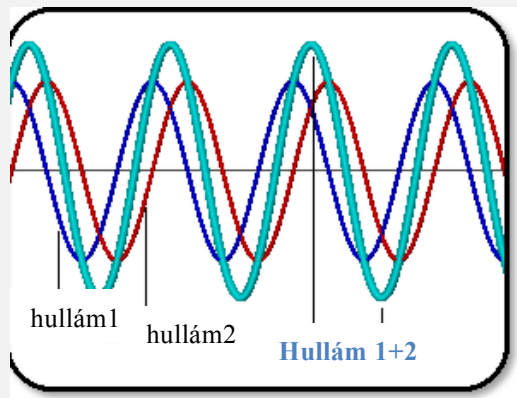


Huygens-elv: egy hullámfelület minden pontjából elemi hullámok indulnak ki. Az új hullámfelület az elemi hullámok burkolófelülete.

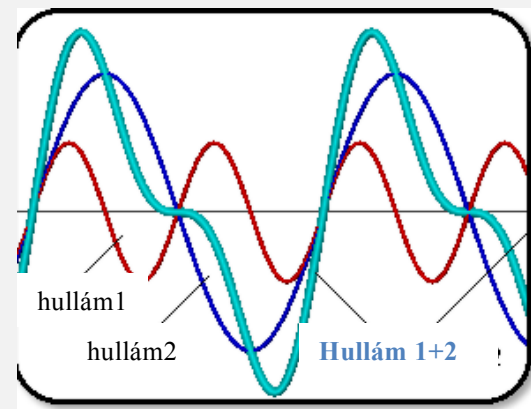


Szuperpozíció elve:

az eredő kitérés a találkozó hullámok kitéréseinek összege,
azaz a tér egyes pontjaiban a jelenlévő rezgések összeadódnak



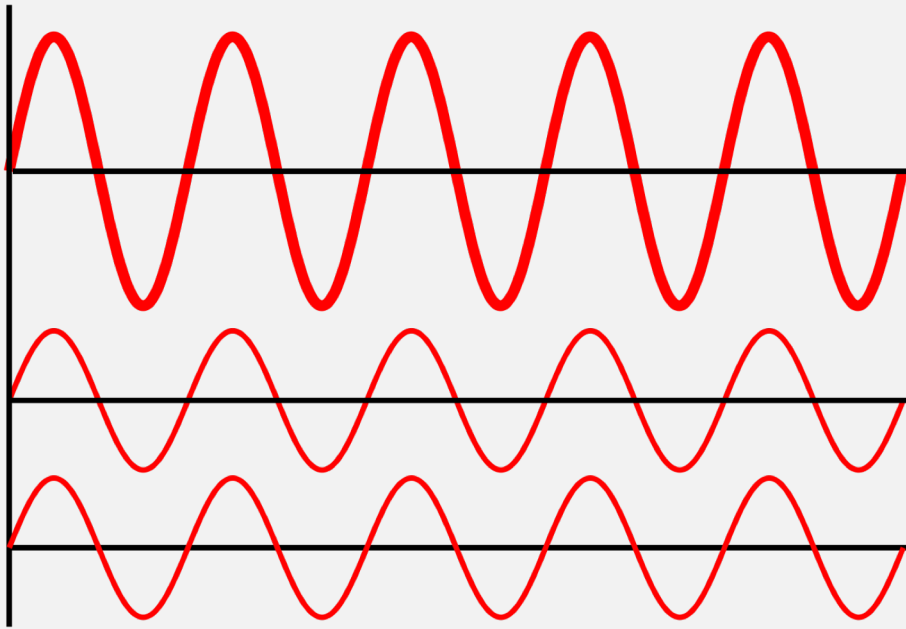
azonos frekvencia



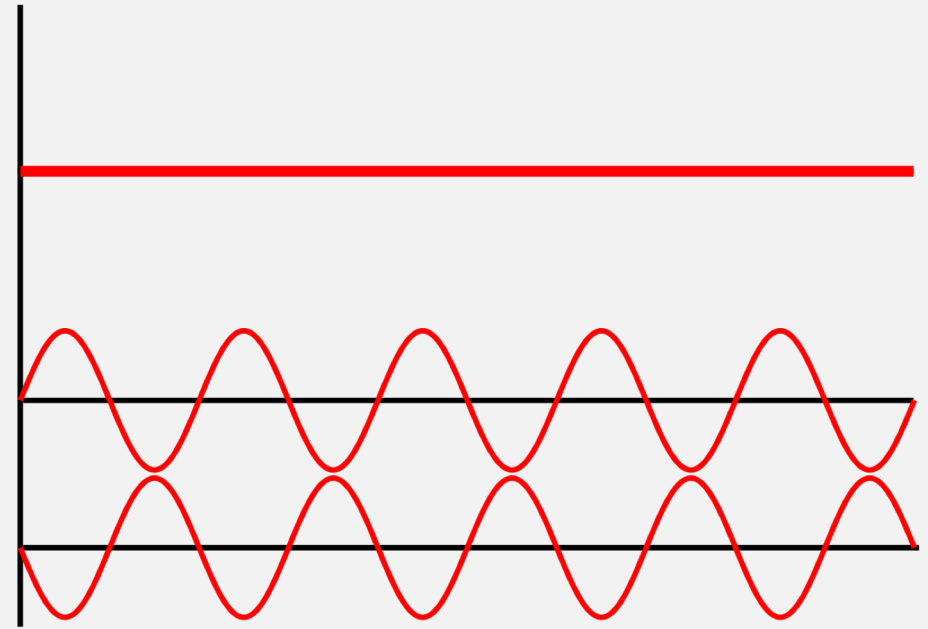
nem azonos frekvencia

Interferencia - koherens hullámok szuperpozíciója

(koherens hullámok: a fáziskülönbség állandó)



azonos fázis
pozitív interferencia



ellentétes fázis
negatív interferencia

A fény természete

Hullám?



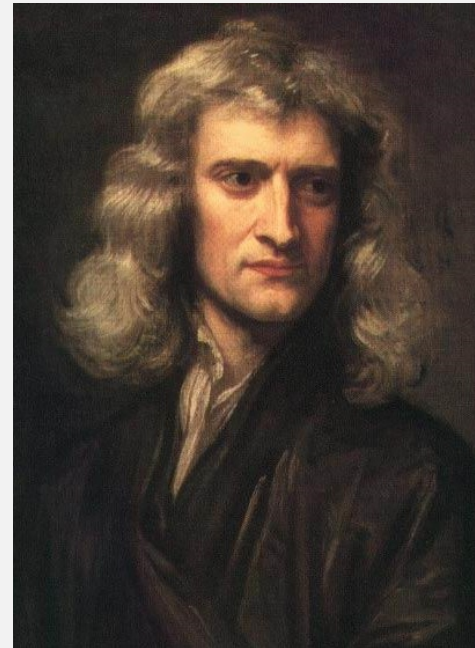
Christiaan Huygens

(1629 - 1695)

Traité de la lumière

1690

Részecske?



Isaac Newton

(1642 - 1727)

Opticks

1704

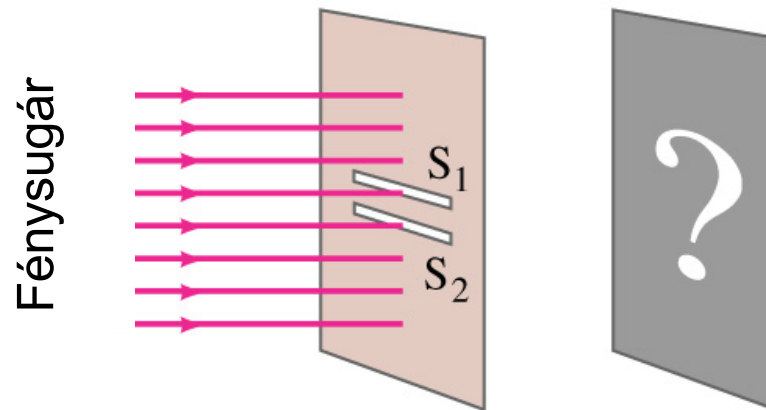


Thomas Young
(1773-1829)

A fény hullám vagy részecske?

1. Young kétréses kísérlete

Mit látunk az ernyőn?





Thomas Young
(1773-1829)

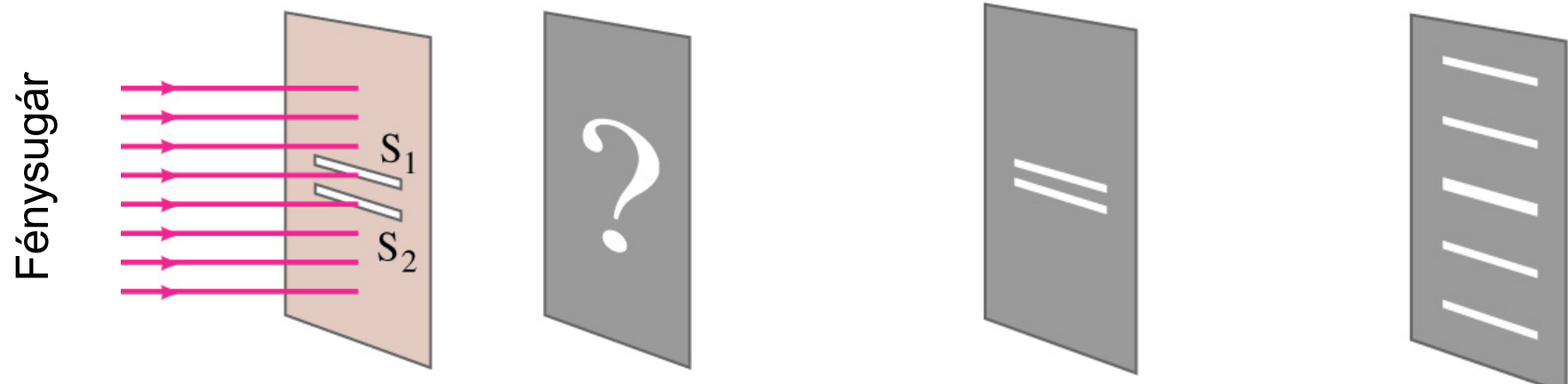
A fény hullám vagy részecske?

1. Young kétréses kísérlete

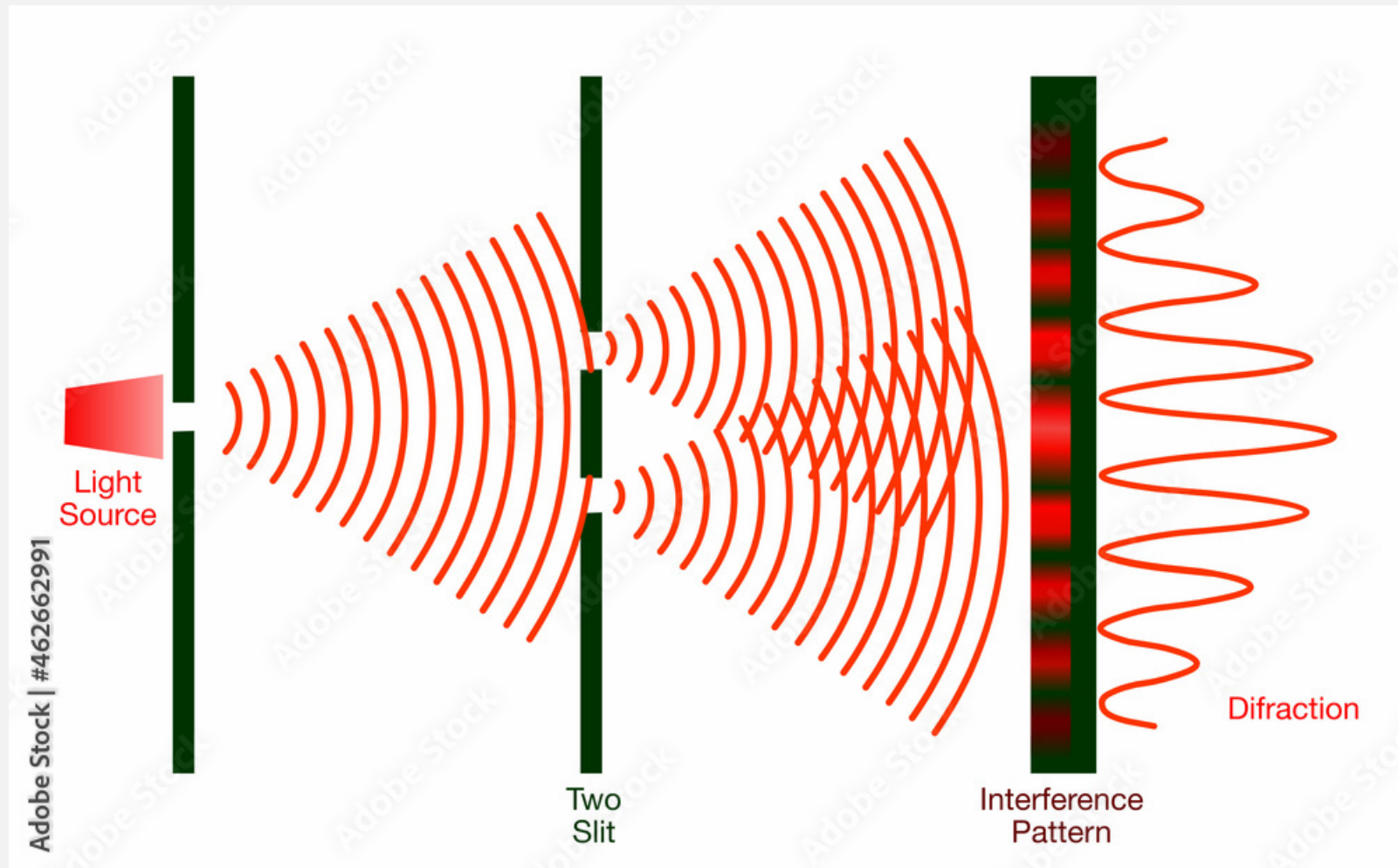
Mit látunk az ernyőn?

ha részecske

ha hullám



Young-féle kétréses kísérlet





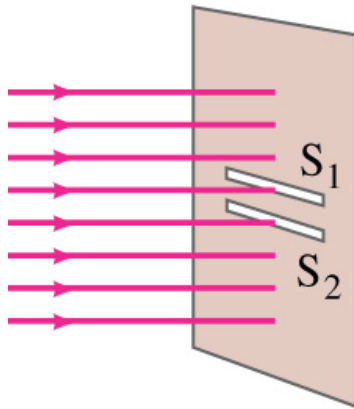
Thomas Young
(1773-1829)

A fény hullám vagy részecske?

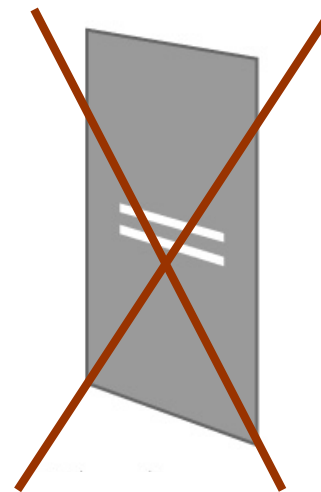
1. Young kétréses kísérlete

Mit látunk az ernyőn?

Fénysugár



ha részecske



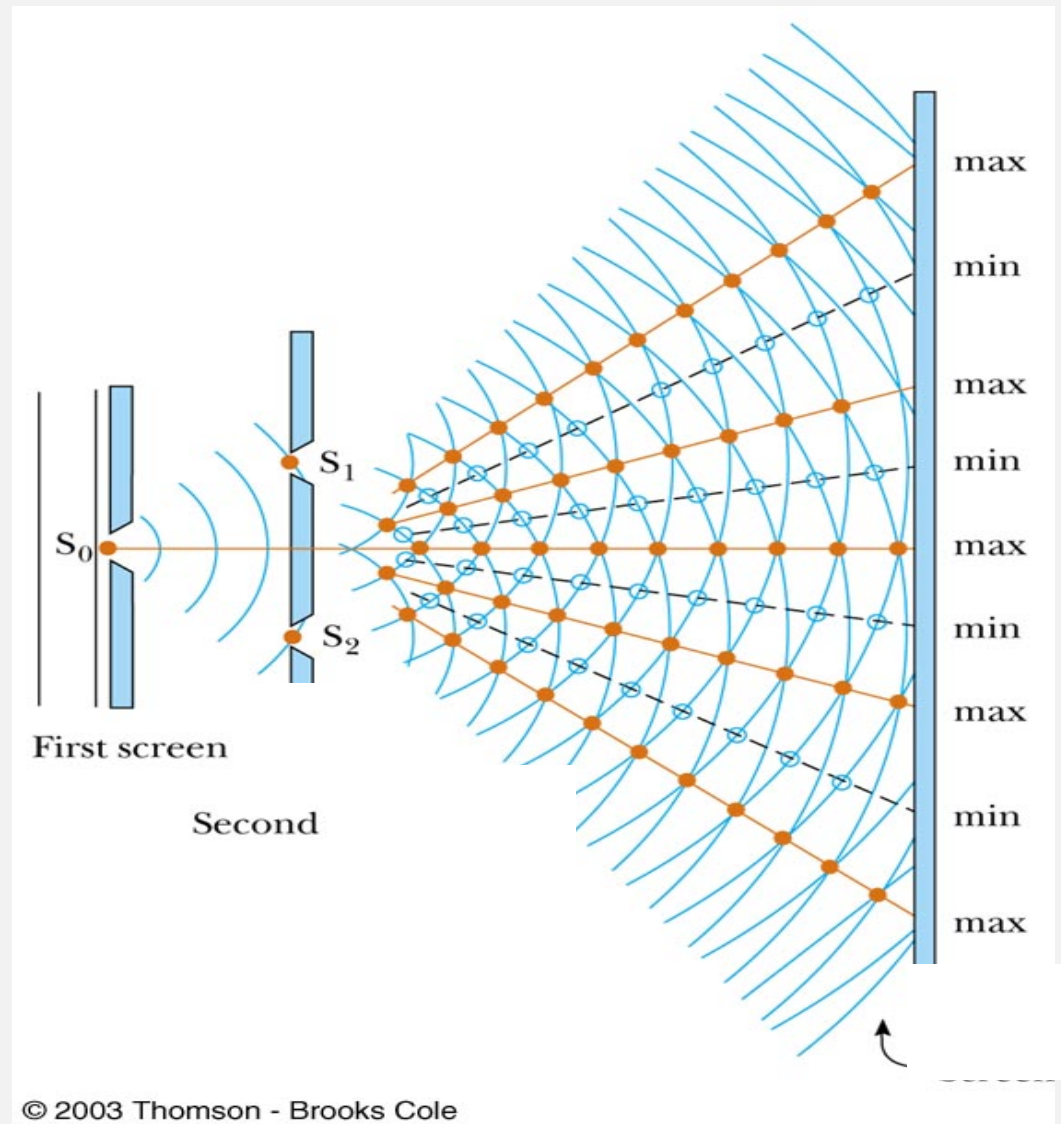
ha hullám



Young-kísérlet magyarázata az interferenciával

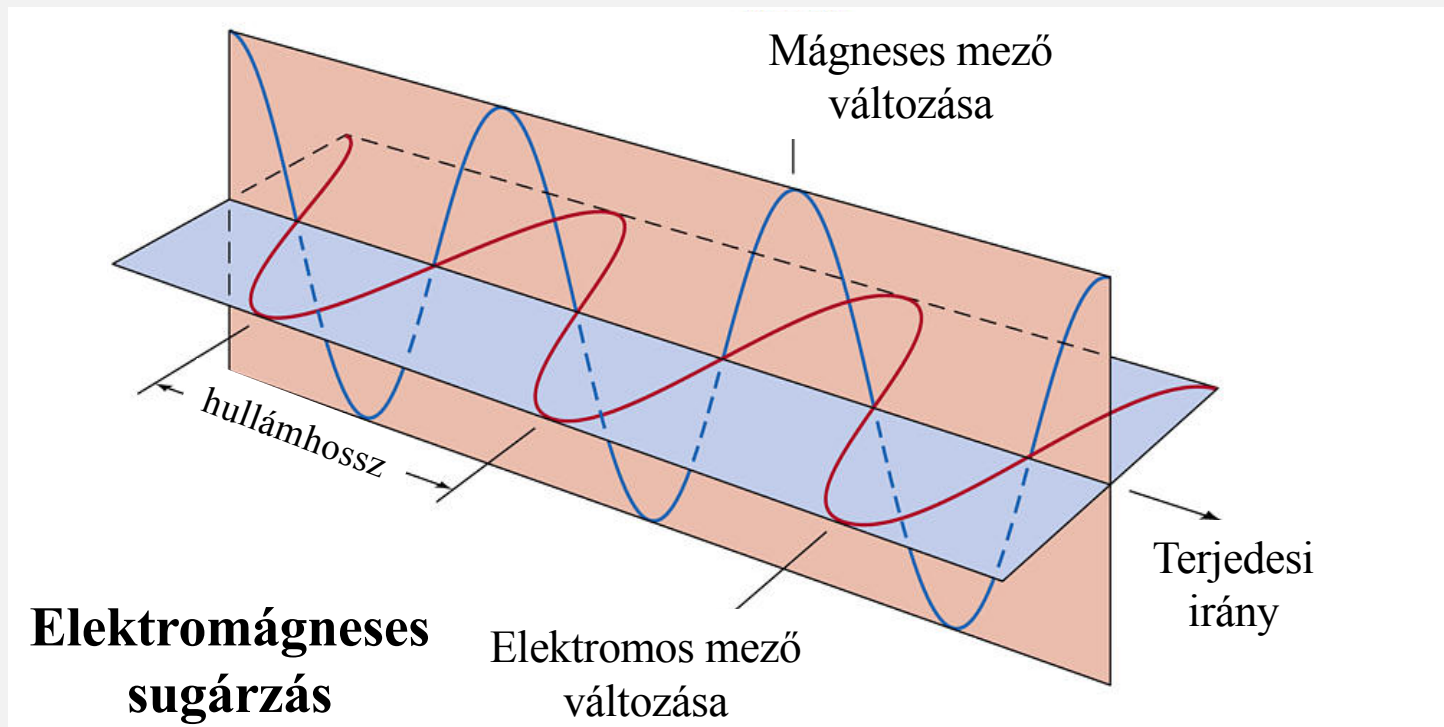
S_1 és S_2 rések elemi hulláforrások

A résekből kiinduló hullámok
ugyanabból a hullámfrontból
származnak, tehát azonos
fázisban vannak!

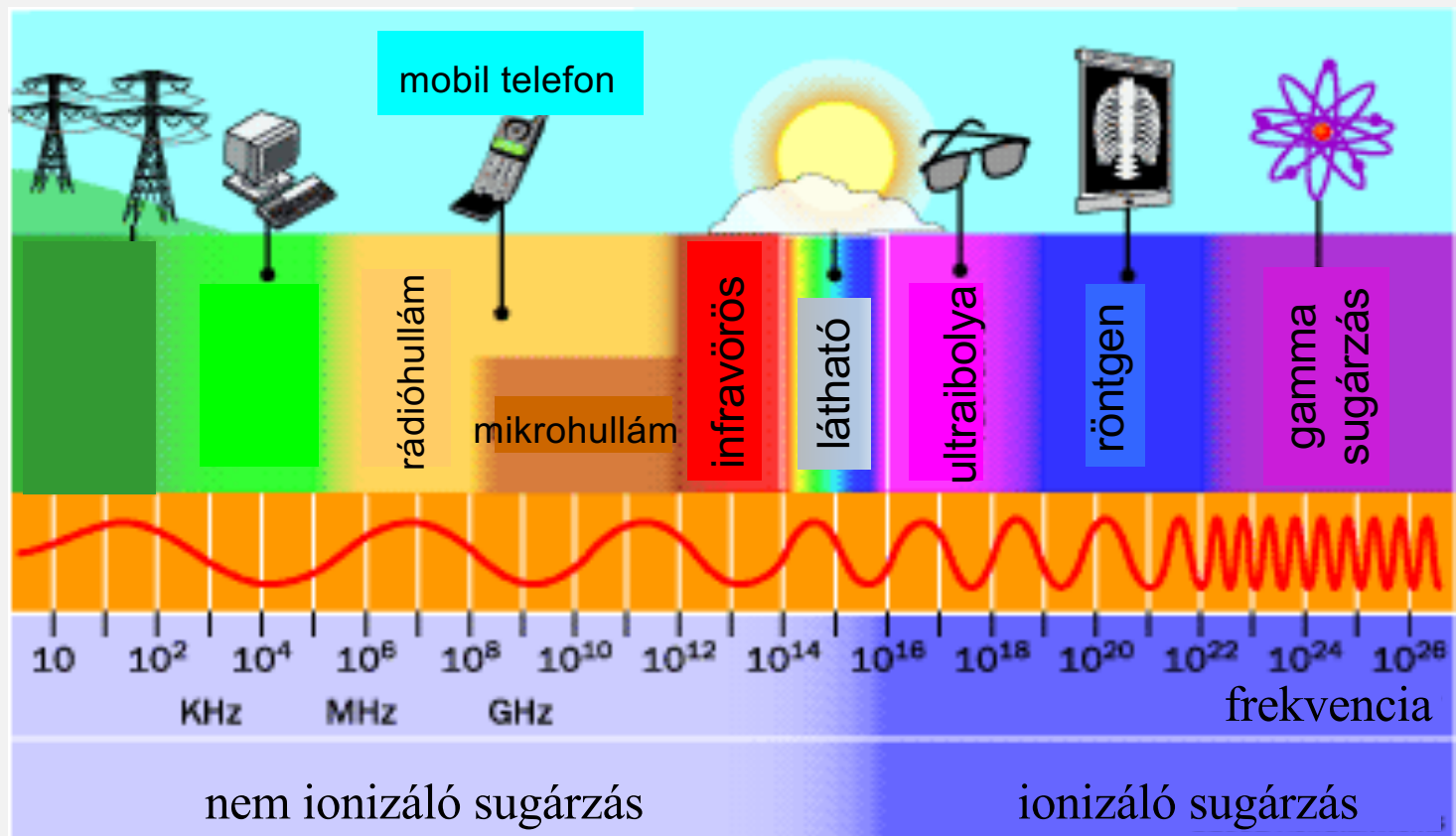


A fény elektromágneses hullám

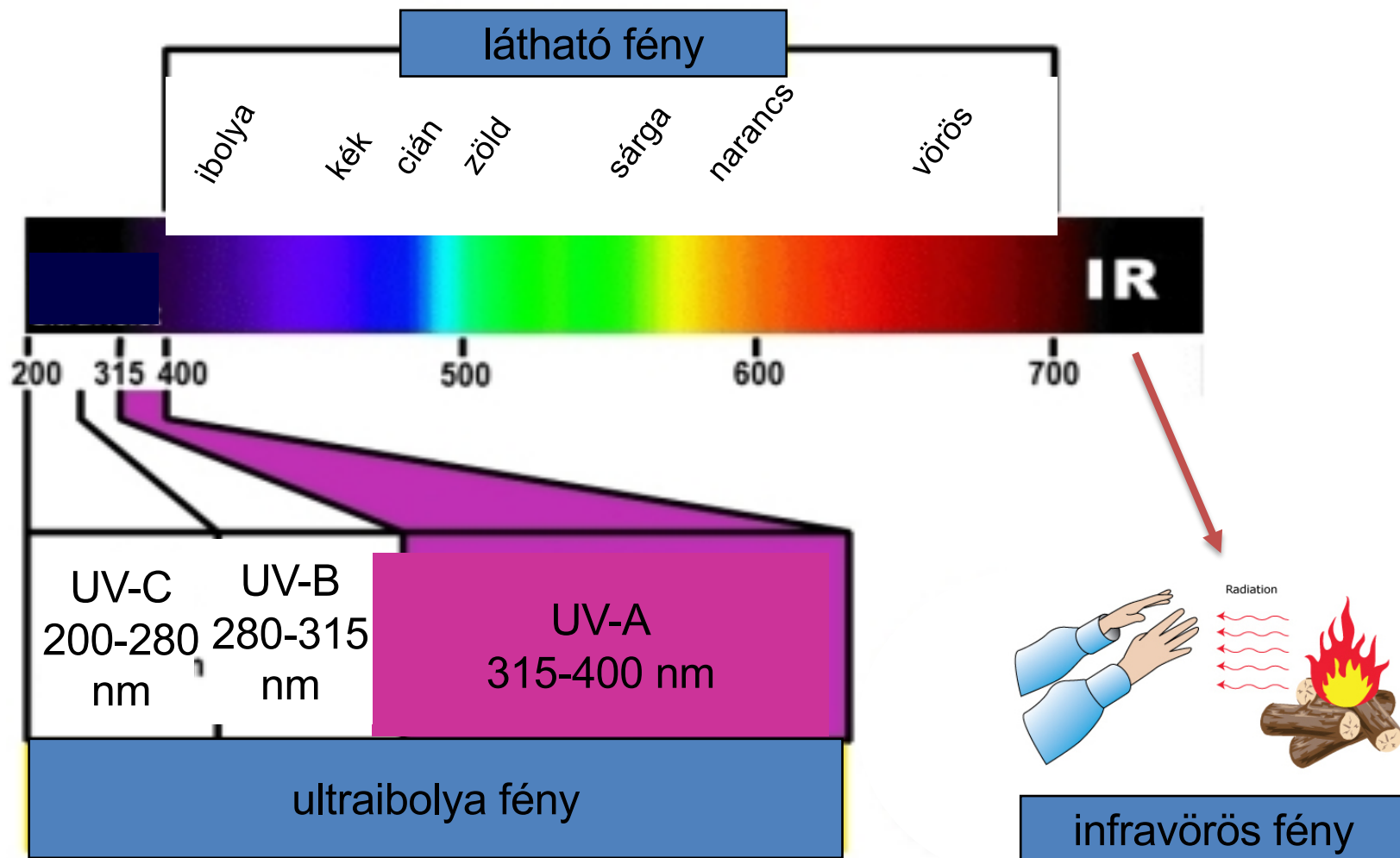
A terjedési irányra és egymásra is merőlegesen, szinuszosan változó elektromos és mágneses térerősség = traszverzális hullám. Elhajlási- és interferencia-jelenségeket mutat, hullámként terjed.



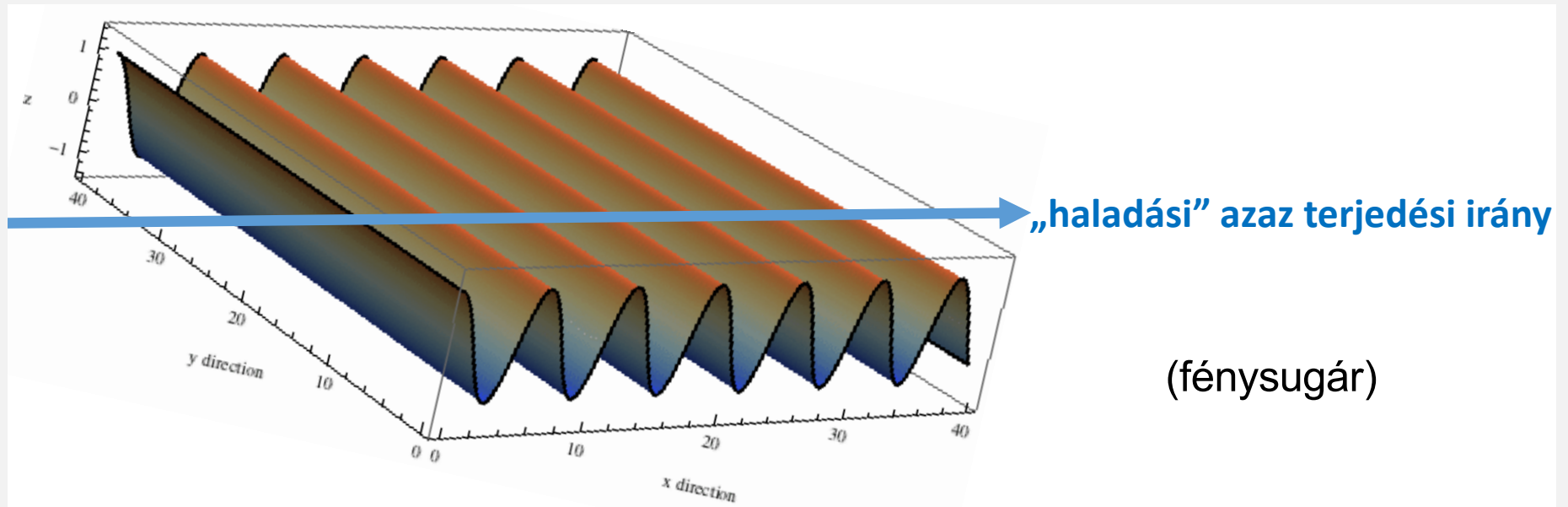
Az elektromágneses spektrum



Az optikai tartomány

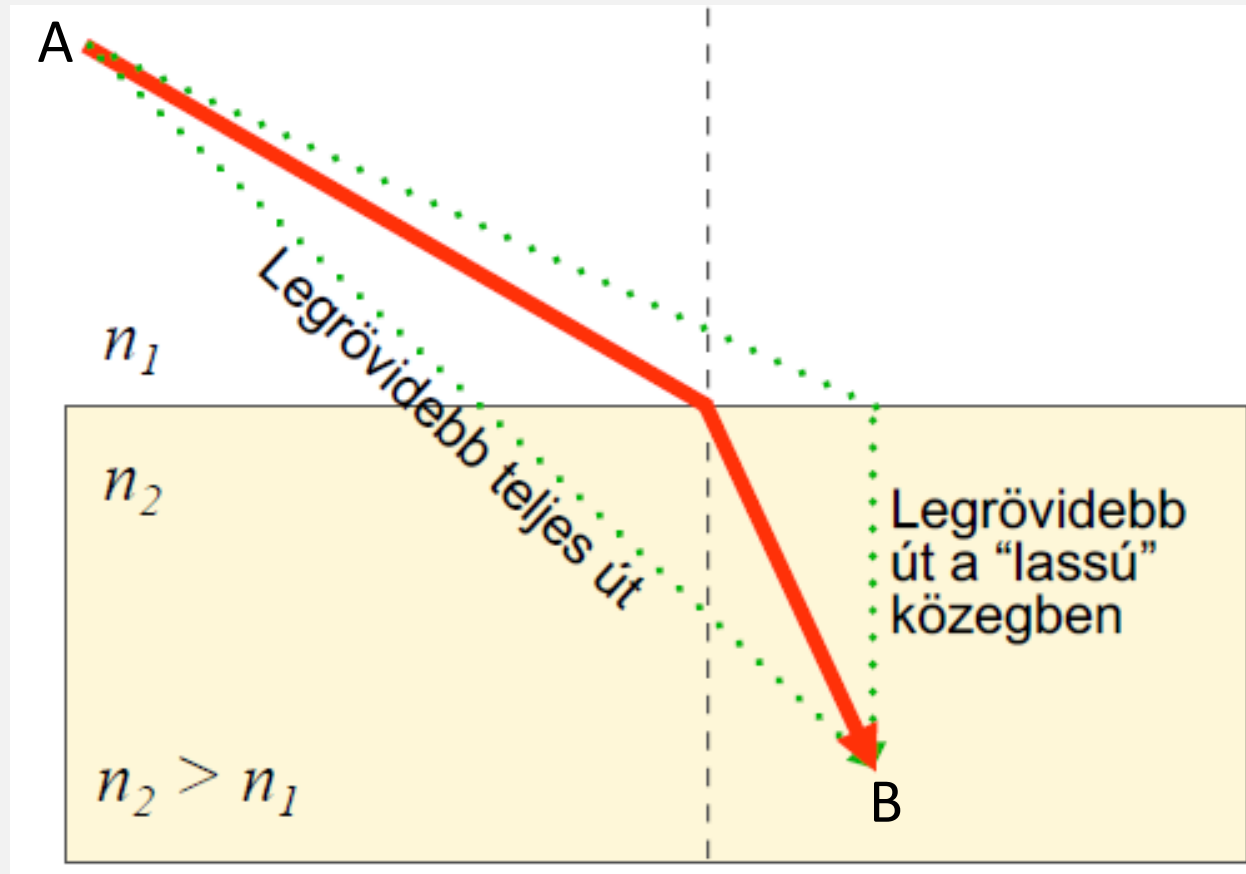


Geometriai optika



Amennyiben a fény (bármely hullám) homogén és izotróp közegben terjed, a hullámtulajdonságok nem mutatkoznak meg, elegendő csak a terjedés irányát figyelembe venni.

Geometriai optika – Fermat-elv



c = fénysebesség
vákumban

c_1 = fénysebesség
az „1” közegben

c_2 = fénysebesség
a „2” közegben

törésmutató:

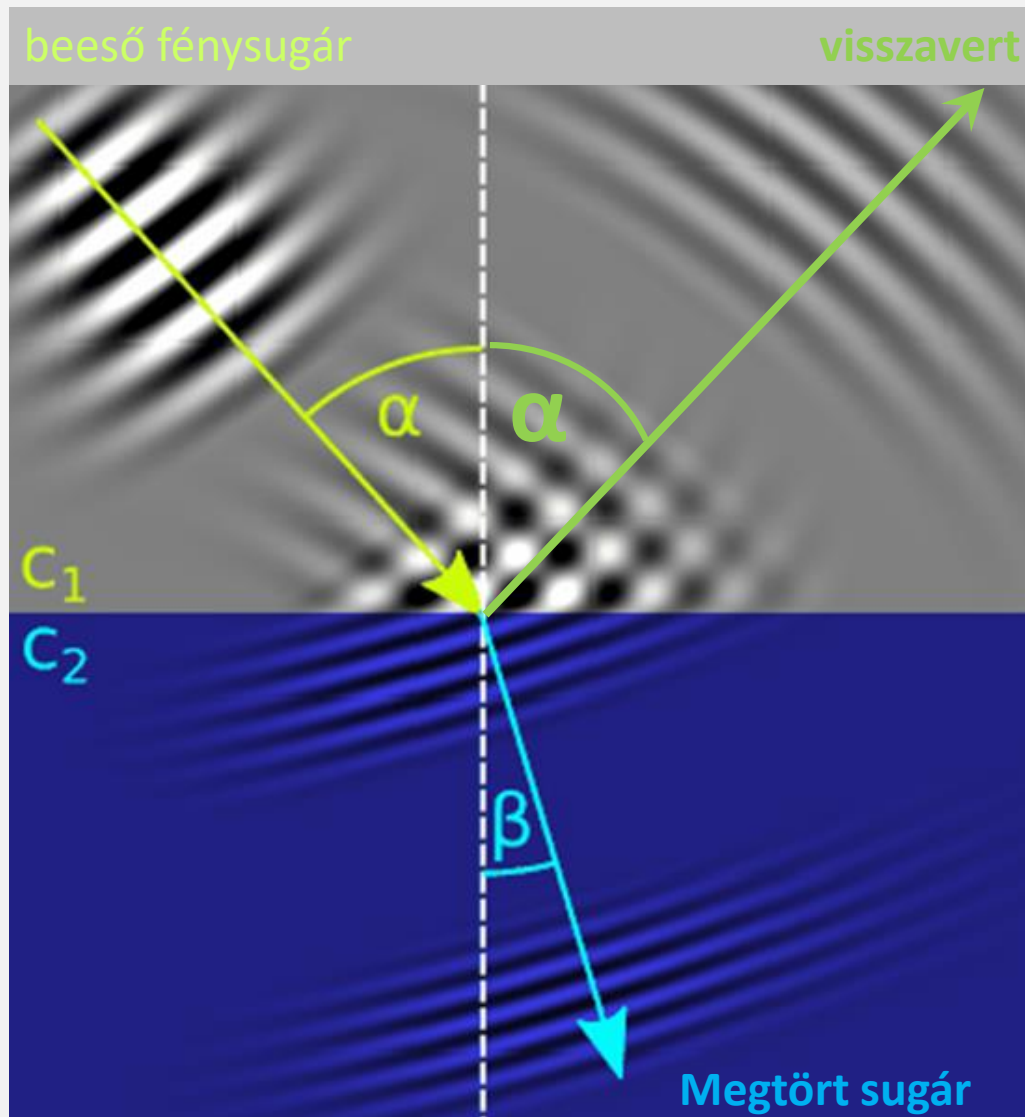
$$n_1 = c/c_1$$

$$n_2 = c/c_2$$

$$n_{21} = n_2/n_1 = c_1/c_2$$

A legrövidebb idő elve: a fénysugár két adott pont között azon az útvonalon terjed, ami a legrövidebb időt igényli.

Snellius-Descartes törvény



Visszaverődés:

$$\alpha = \alpha'$$

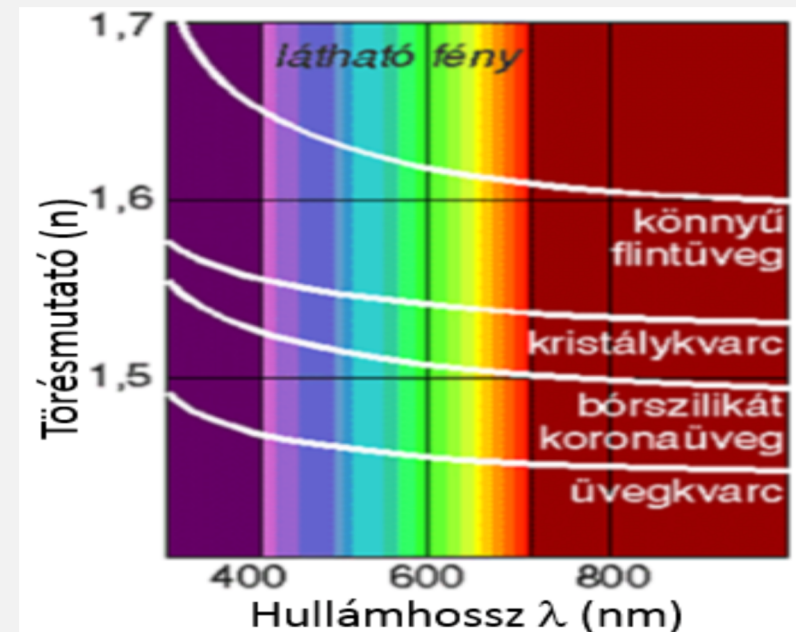
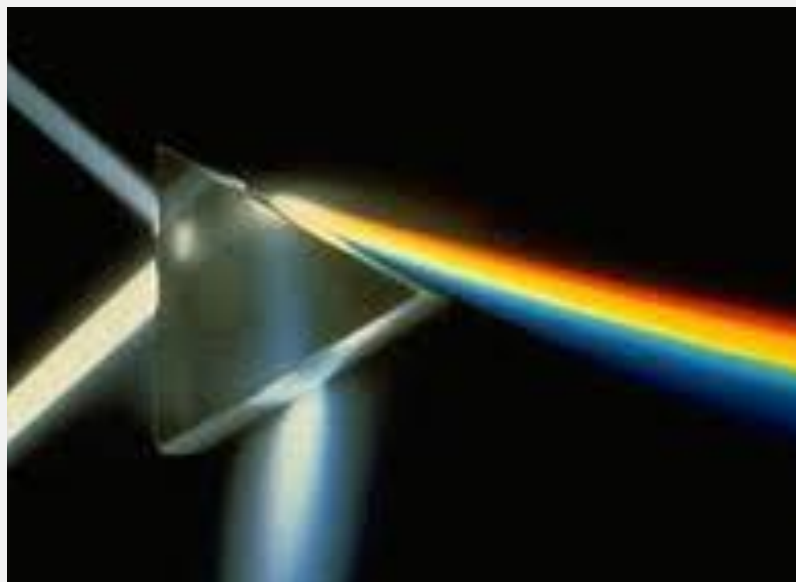
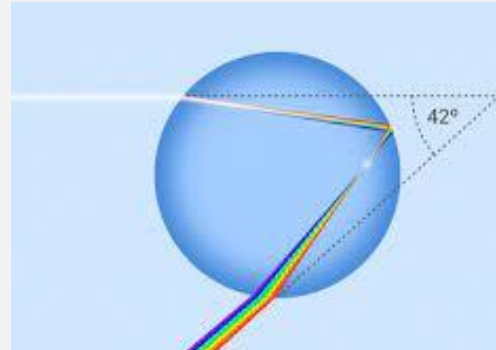
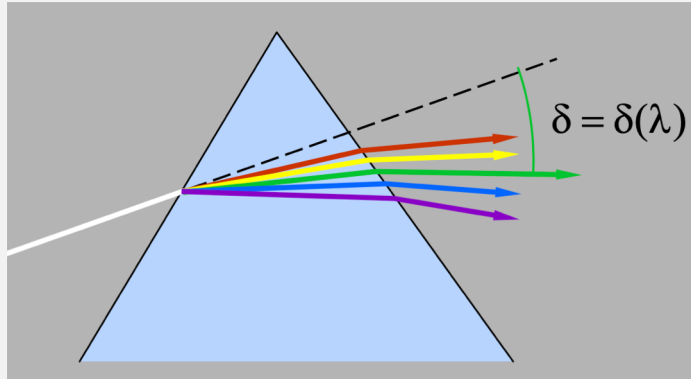
Fénytörés:

$$n_1 \cdot \sin \alpha = n_2 \cdot \sin \beta$$

$$n_{21} = c_1 / c_2 = \sin \alpha / \sin \beta$$

a három sugár mindig egy síkban van

Fehér fény színeire bontása prizmával



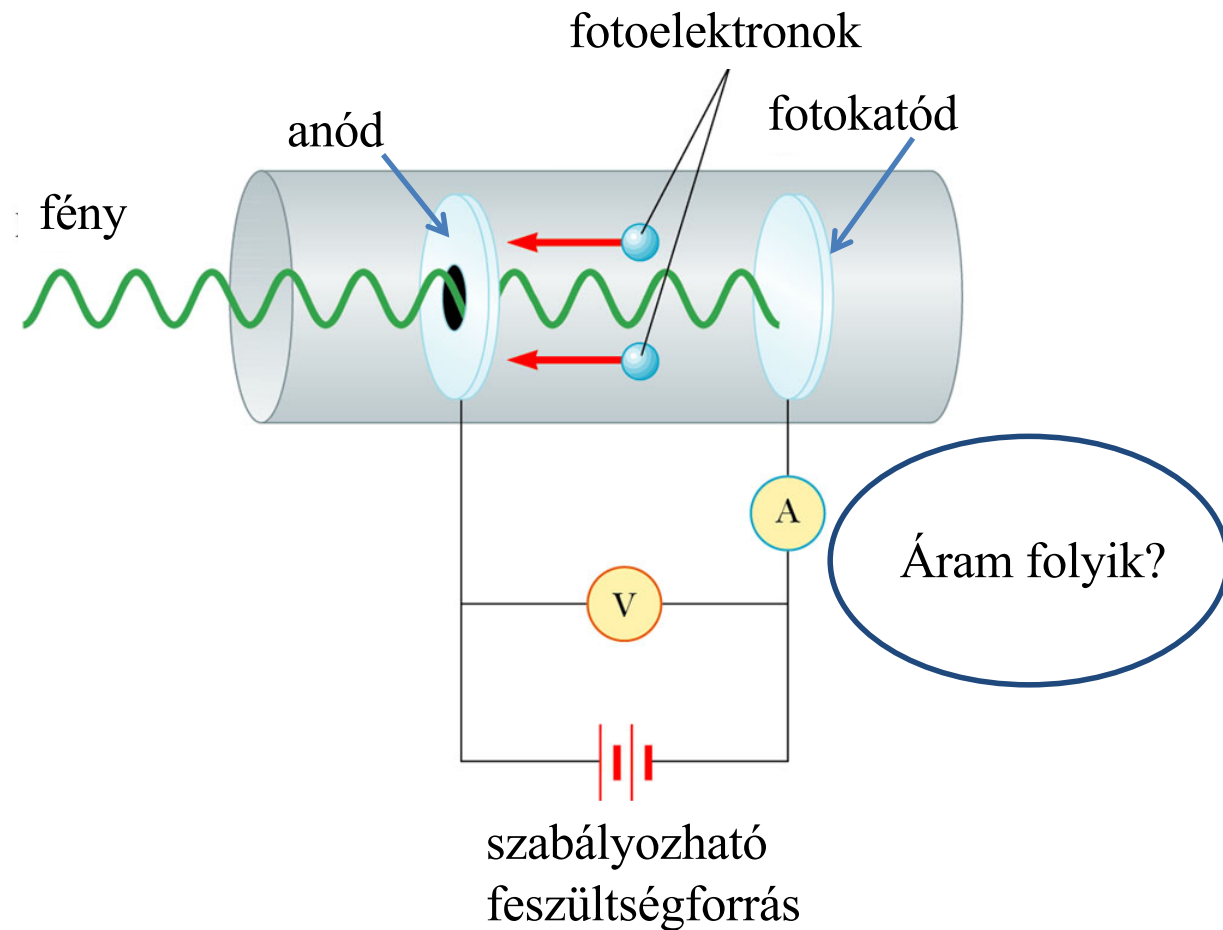
A törésmutató értéke függ a fény hullámhosszától: diszperzió

A fény hullám vagy részecske?

2. Hertz kísérlete



Heinrich Hertz
1887



Fotoelektromos effektus

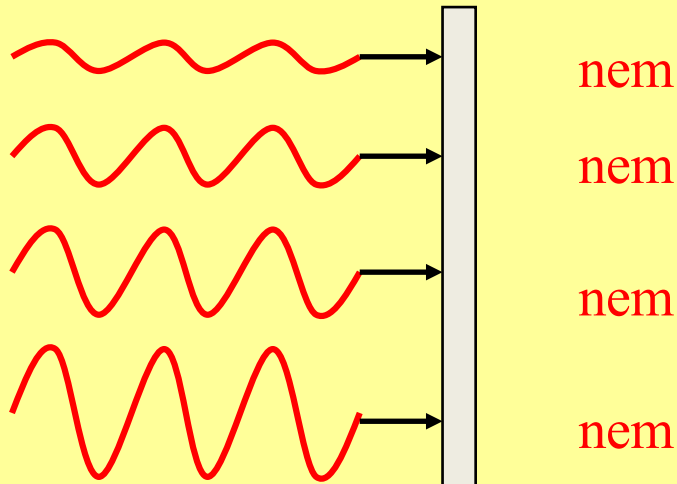
Megvilágító fény

azonos szín / hullámhossz

azonos amplitúdó

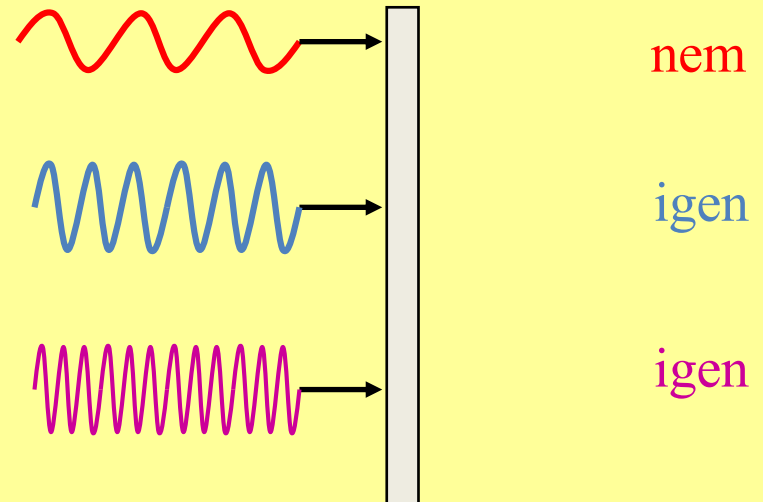
növekvő
amplitúdó / intenzitás

Folyik áram?



változó szín / hullámhossz

Folyik áram?



Nem folyik áram, amíg a frekvencia nem halad meg egy kritikus értéket !

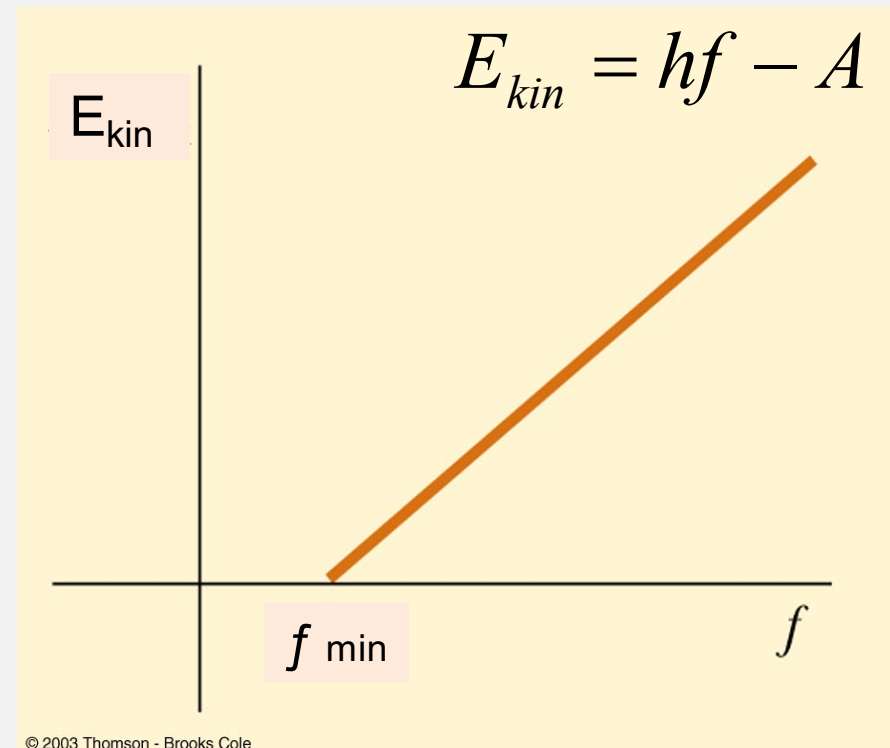
Einstein magyarázata és a határfrekvencia

A fény energiája kvantált, adagja a foton (~részecske):

$$E = hf = h \frac{c}{\lambda}$$

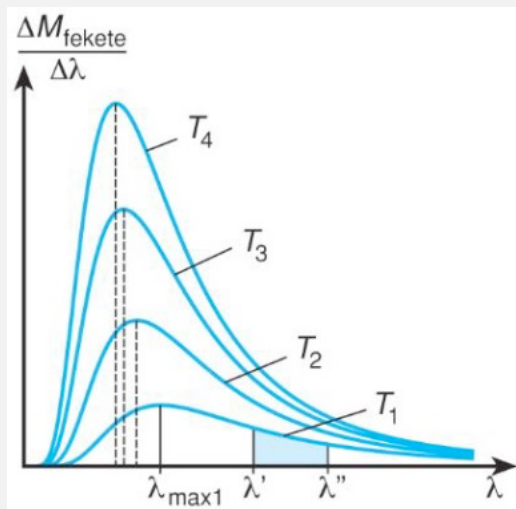
A kilépő elektron mozgási energiája egyenesen arányos a sugárzás frekvenciájával – a kölcsönhatás létrejöttéhez szükséges legkisebb frekvencia fölött!

Ez az érték a fotokatód anyagára jellemző: $A = hf_{\min}$



A fényemisszió formái

- Hőmérsékleti sugárzás
- Lumineszcencia
- Lézer

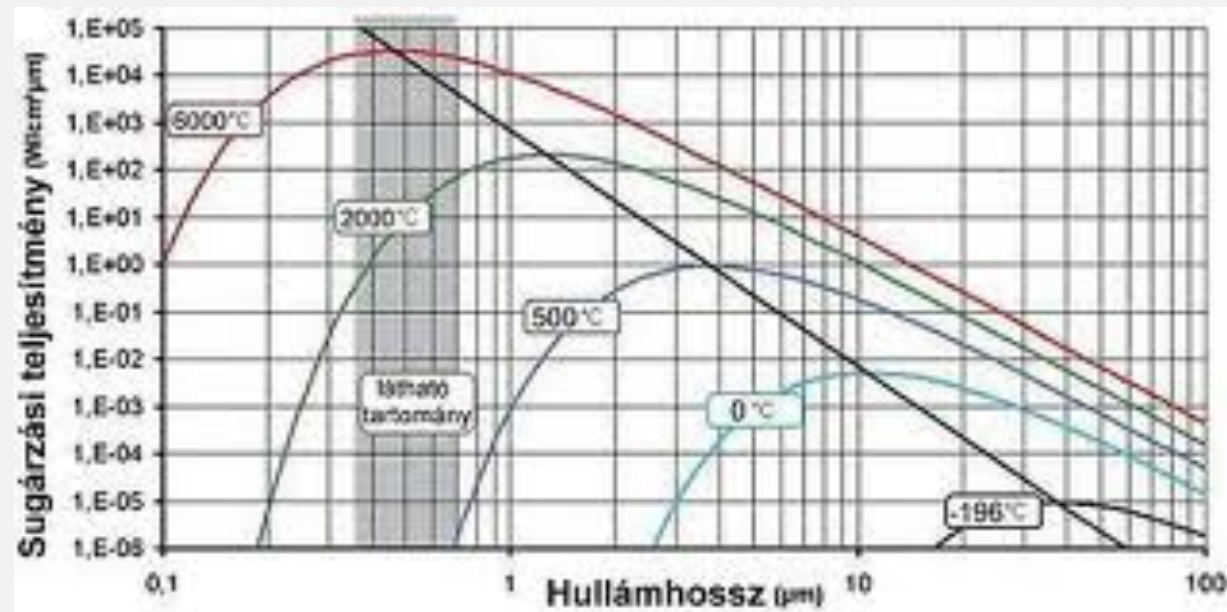


Hőmérsékleti sugárzás

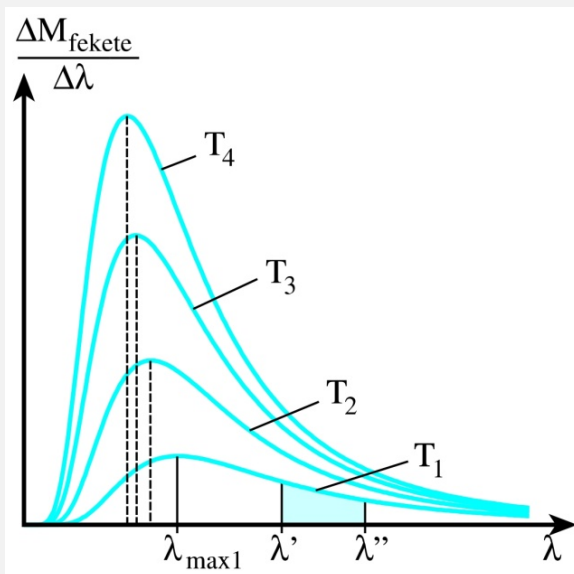
Minden test sugárzást bocsát ki, amelynek hullámhossz szerinti intenzitás-eloszlása a test hőmérsékletétől függ.

Ez a sugárzás folytonos spektrumú, a maximum helyét a test hőmérséklete szabja meg.

Az emberi test hőmérsékletén a maximum és a kibocsátott sugárzás döntő hányada az infravörös tartományban van.



Hőmérsékleti sugárzás



Kirchhoff

$$M_{\lambda i} / \alpha_{\lambda i} = M_{\lambda j} / \alpha_{\lambda j}$$

$$M_{\lambda i} / \alpha_{\lambda i} = M_{\lambda \text{fekete}}$$

A kibocsátott és elnyelt sugárzási teljesítmény hányadosa állandó.

$\alpha = 1 \rightarrow$ abszolút fekete test

Stefan – Boltzmann:

$$M = \sigma T^4$$

A kibocsátott felületi teljesítmény a hőmérséklet negyedik hatványával arányos.

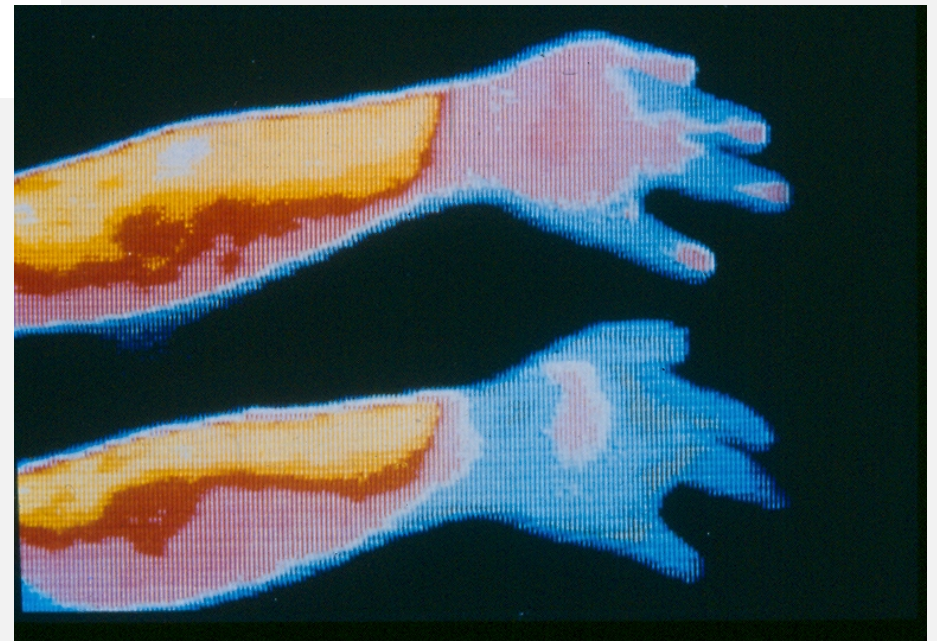
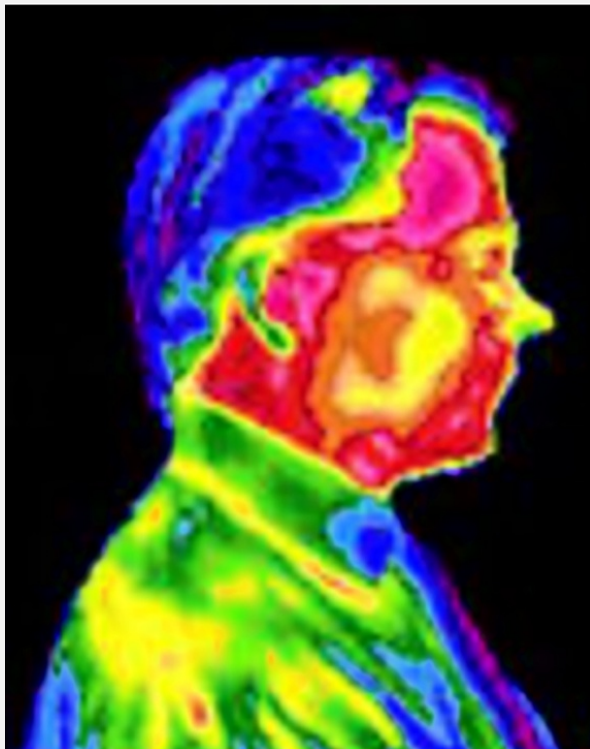
Wien:

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

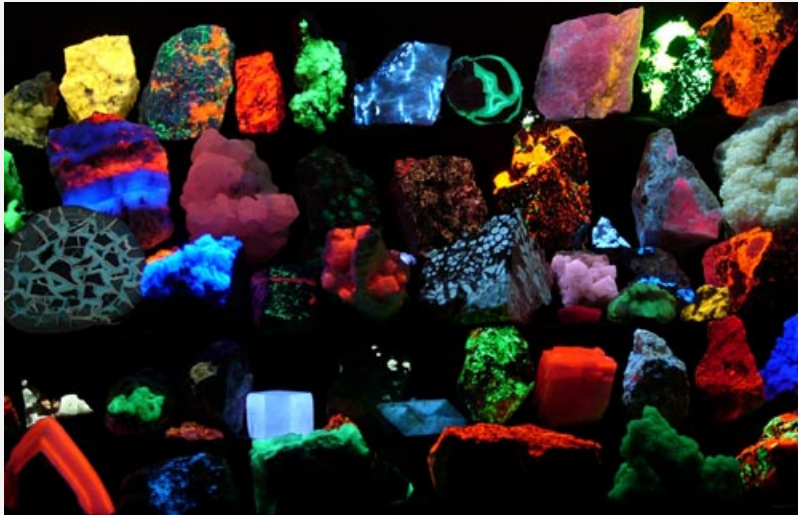
A spektrum maximumához tartozó hullámhossz fordítottan arányos a hőmérséklettel.

Teletermográfia

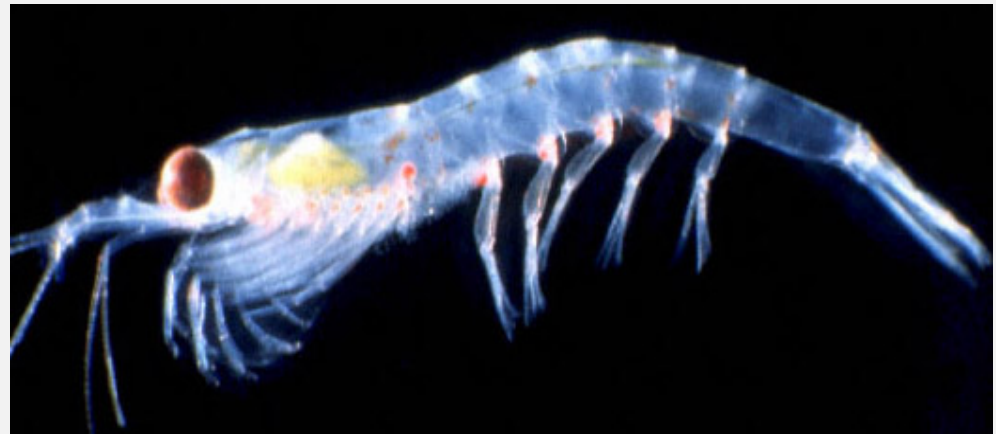
Testfelületi térkép készítése a kibocsátott hőmérsékleti sugárzás alapján.



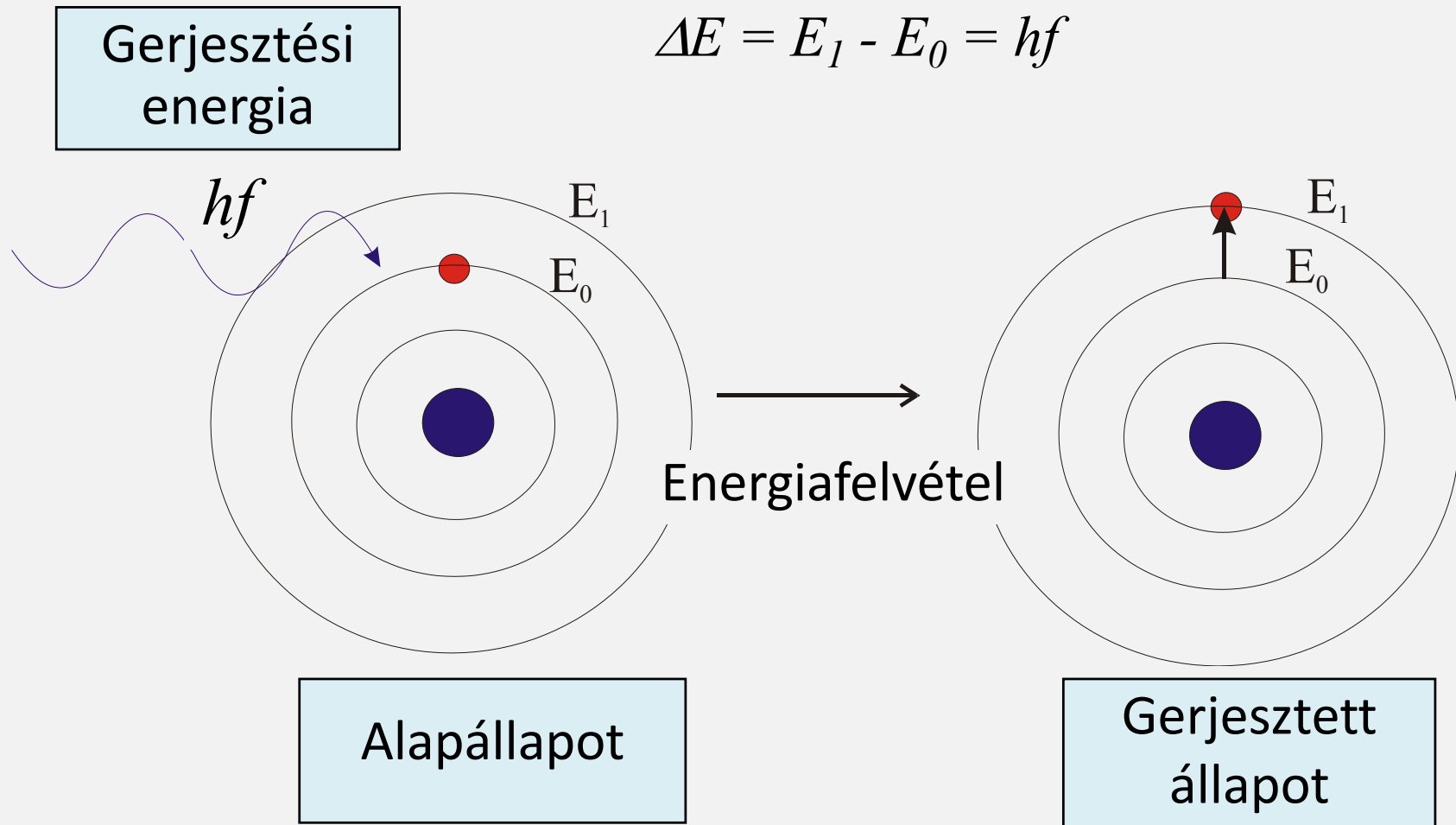
Lumineszcencia a természetben



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

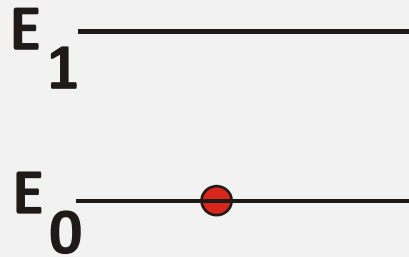


Elektronok gerjesztése az atomban

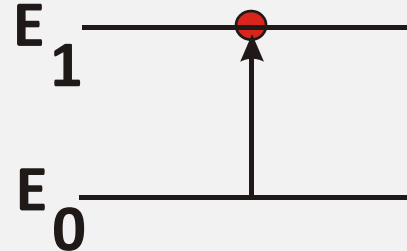


A gerjesztési energia forrása lehet fény, hő, elektromosság, kémiai energia, stb.

Relaxáció mechanizmusa

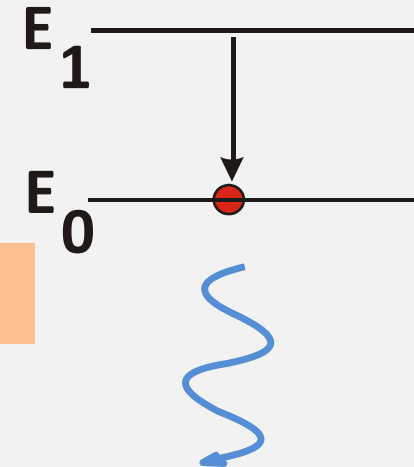


külső héjon lévő
elektron gerjesztése



elektron visszatérése
alapállapotba

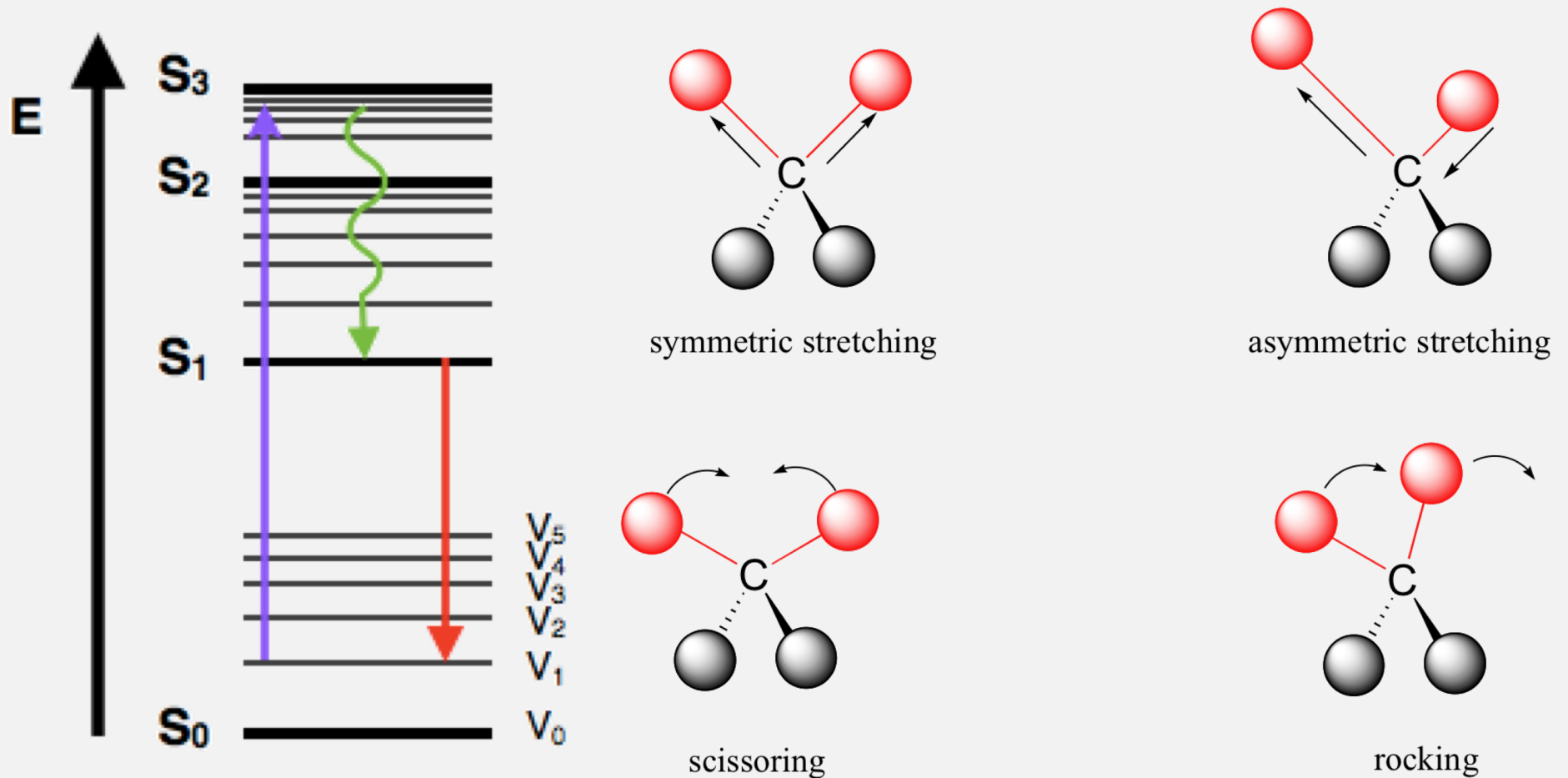
Spontán, külső hatás nélkül!



fényemisszió

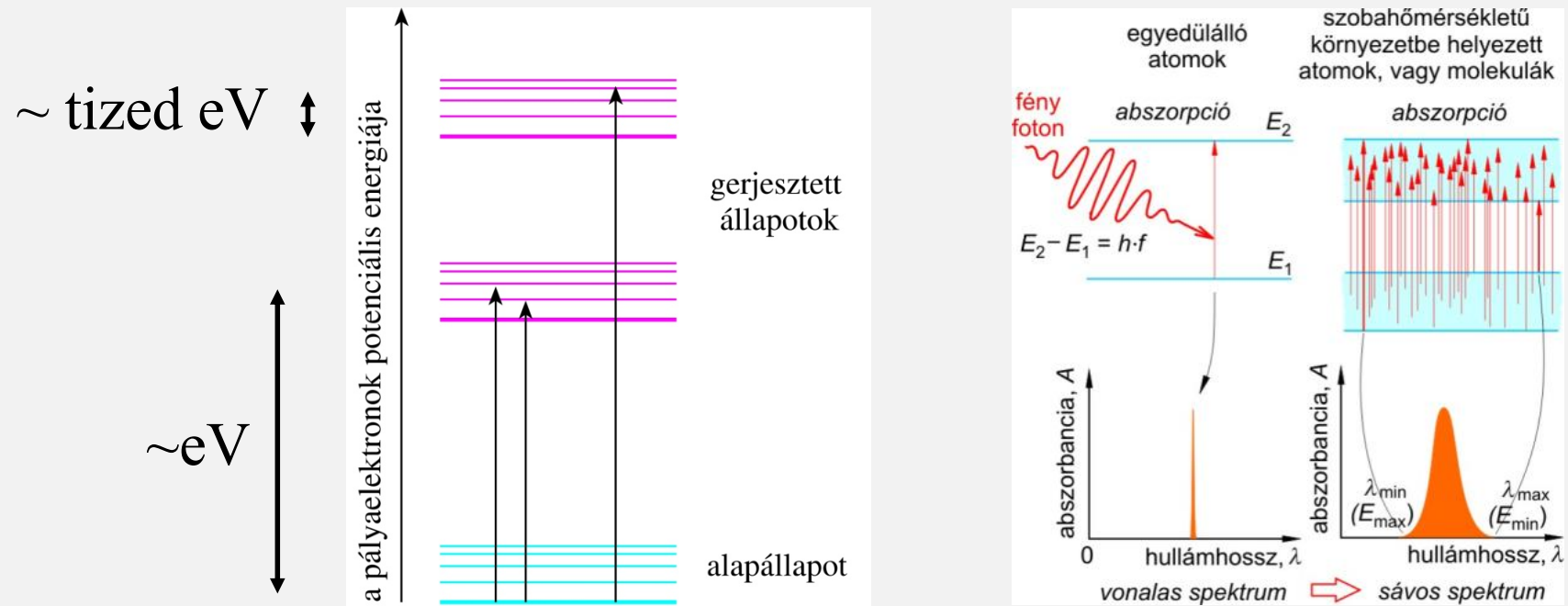
$$hf = E_1 - E_0$$

Molekulák energiaszintjei



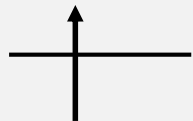
A rezgési (vibrációs) és forgási (rotációs) energiaszintek is kvantáltak!

Molekula energiaállapotai rezgési szintekkel:



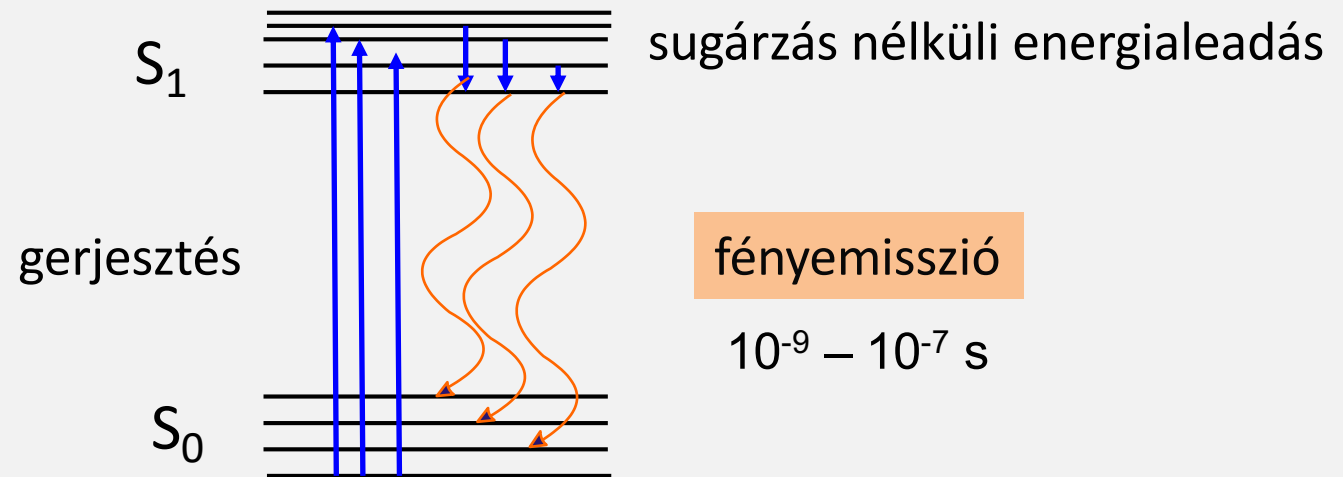
Adott molekula különböző, egymáshoz „közeli”
energiával rendelkező fotonokat is képes elnyelni
→ sávos elnyelési spektrum

Fluoreszcencia mechanizmusa



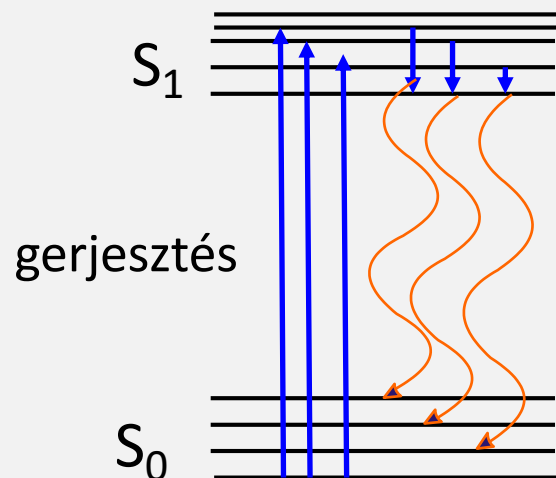
Szingulett állapot

Párosított spinű
elektronok



Fluoreszcencia

Fényemisszió spinváltozás nélkül!



Kasha-szabály:

a fényemisszió a legalsó gerjesztett elektronállapot legalsó rezgési nívójáról történik



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

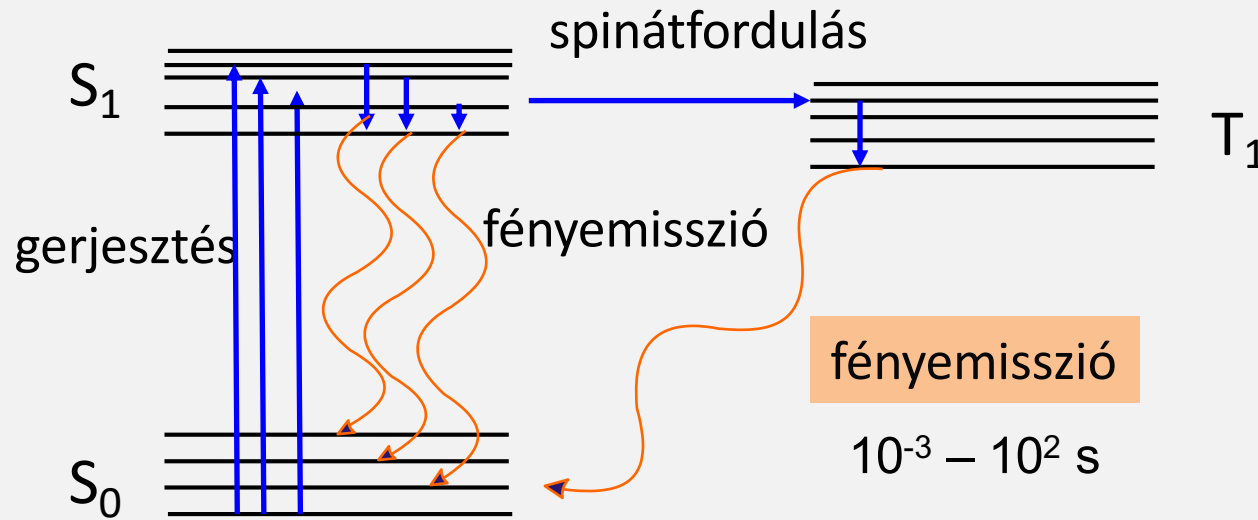
$$\lambda_{\text{gerjesztés}} \leq \lambda_{\text{fluoreszcencia}}$$

Stokes-eltolódás

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

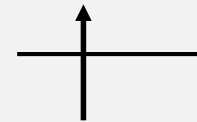
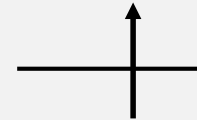


Foszforeszcencia mechanizmusa



Foszforeszcencia

Fényemisszió spinváltozást
követően



Triplett állapot

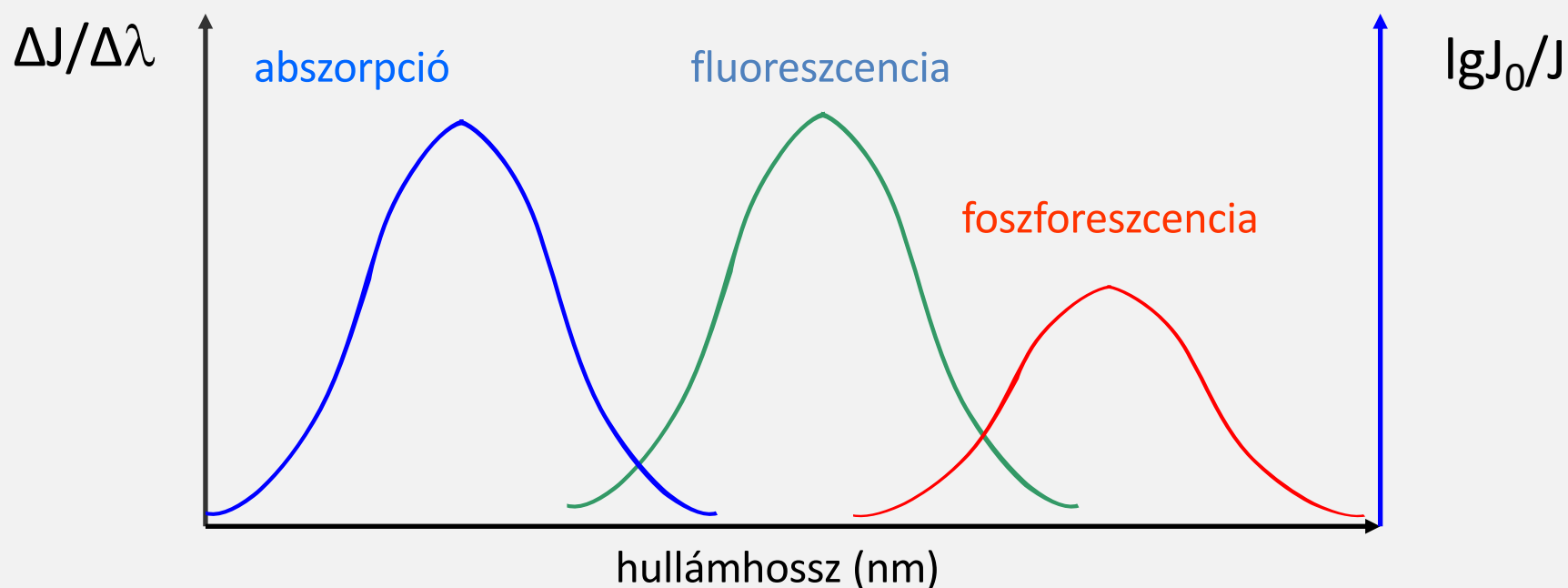
Párosítatlan
spinű elektronok

Metastabil állapot

Emittált intenzitás hullámhossz szerinti eloszlása

Emissziós spektrum

Molekulák esetében: sávos spektrum



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

Stokes-eltolódás

Példa: a triptofán aminosav spektrumai

Fluoreszcencia
gerjesztési spektrum

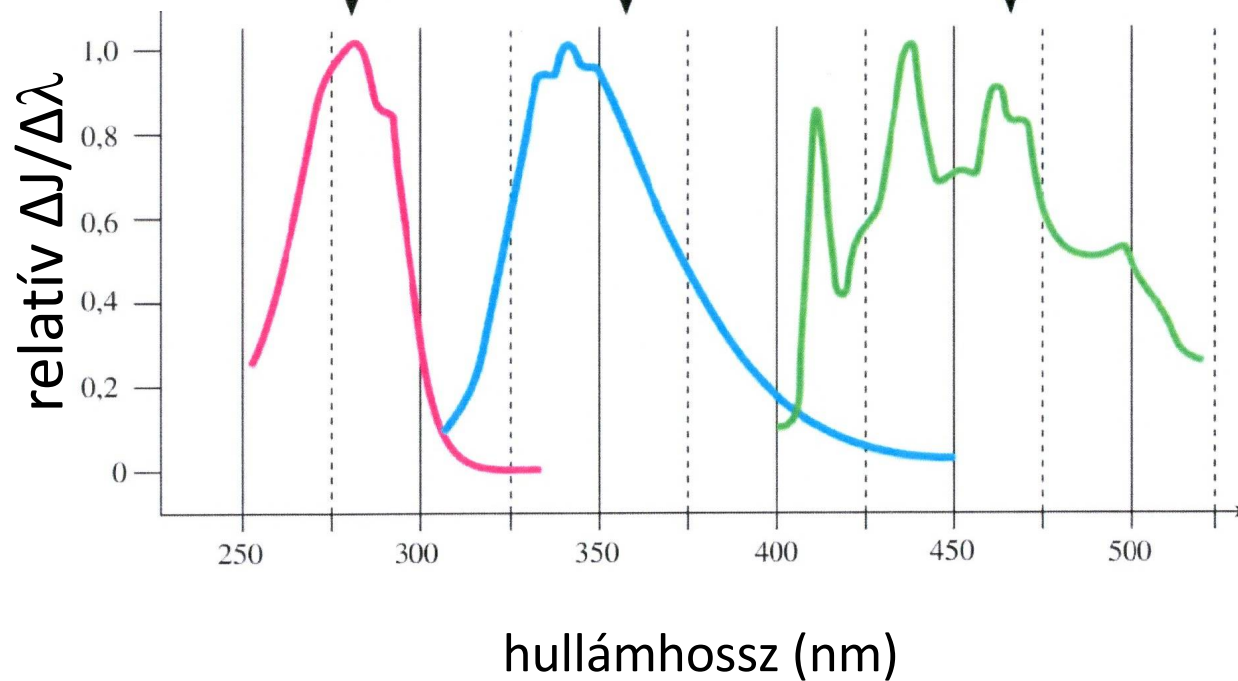
Fluoreszcencia
emissziós spektrum

Foszforeszcencia
emissziós spektrum

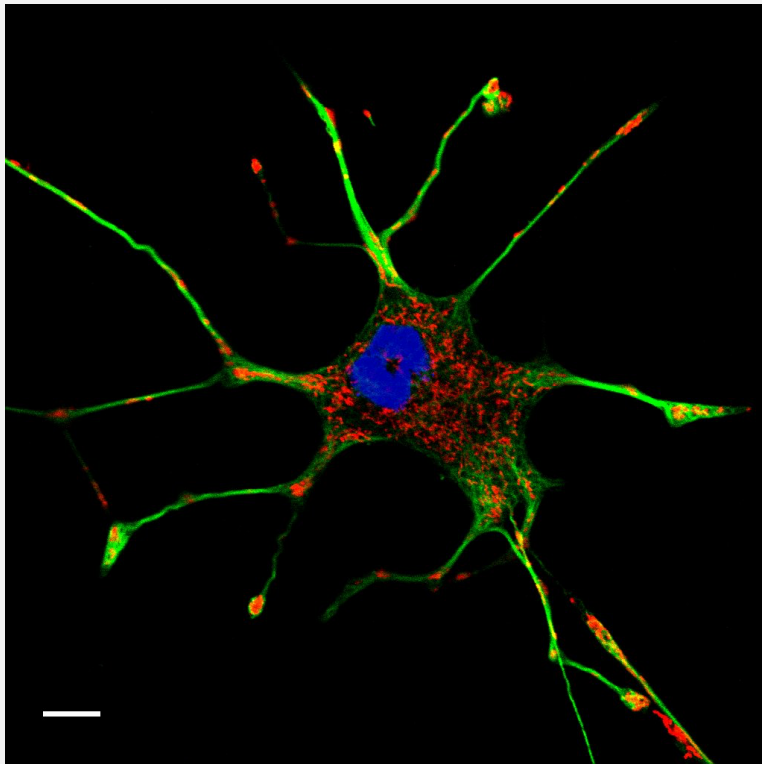
$J_{em}=340\text{ nm}$

$J_{gerj}=295\text{ nm}$

$J_{gerj}=295\text{ nm}$



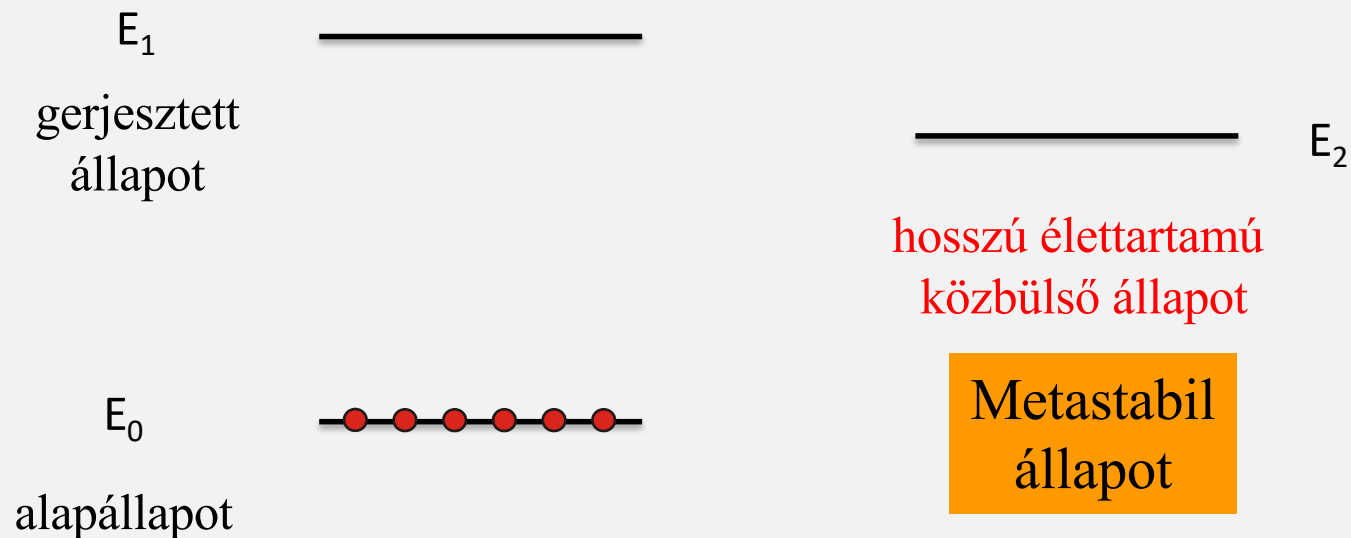
Lumineszcencia alkalmazásai



A lézerfény előállításának feltételei és lépései

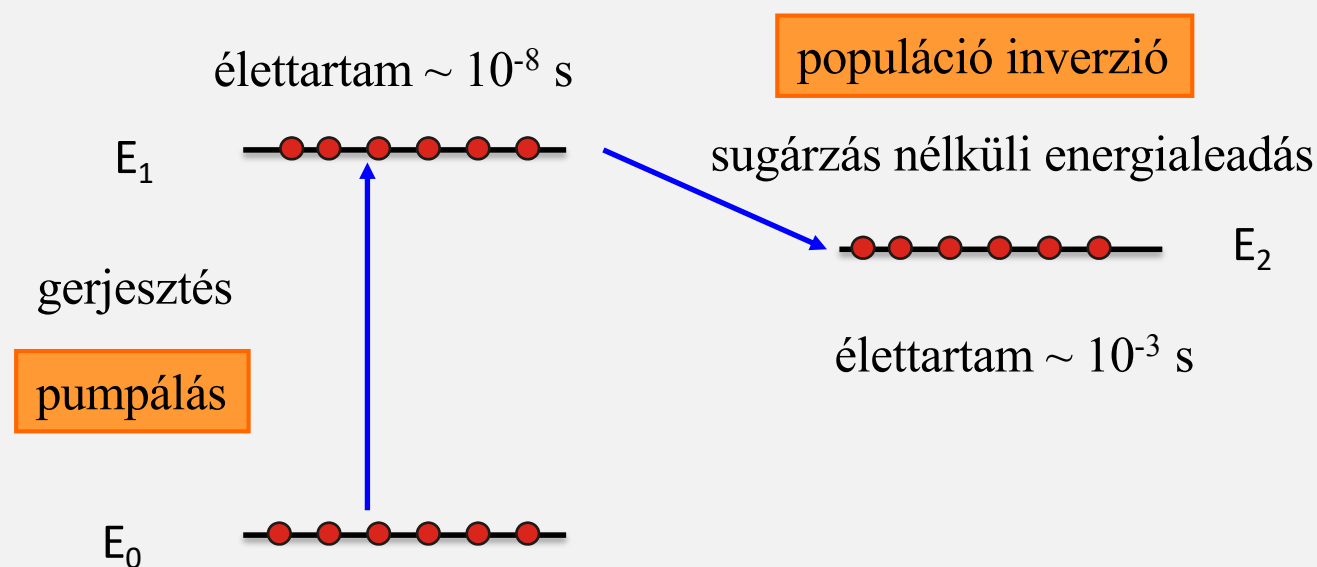
LASER: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

Legalább három energianívós rendszer kell...



Lézeranyag: szennyezett kristály, két vagy több gáz keveréke, festékmolekulák oldata

Populáció inverzió létrehozása



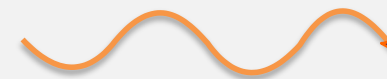
Pumpálás = külső forrásból történő energia bevitel (elektromos, optikai, kémiai energia)

Spontán emisszió

E_1 —————



E_2

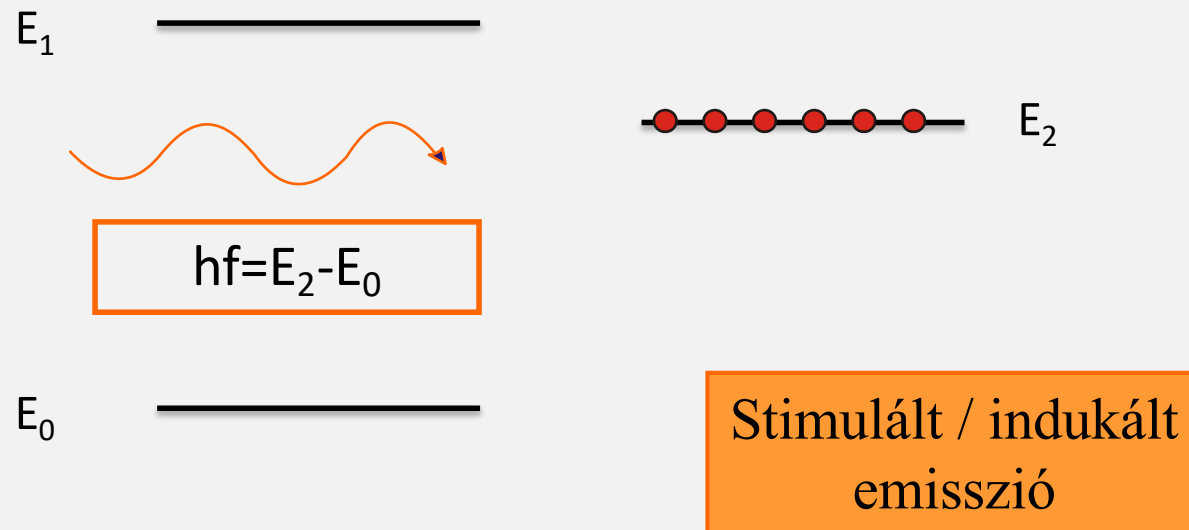


E_0 —————●

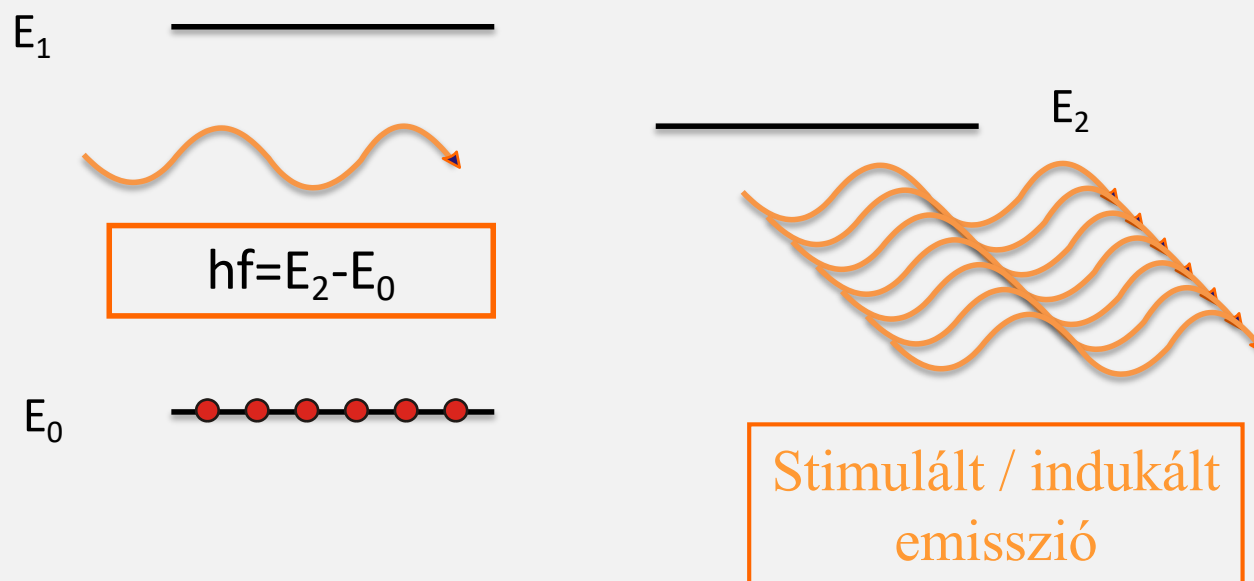
spontán
fényemisszió

kis valószínűséggel

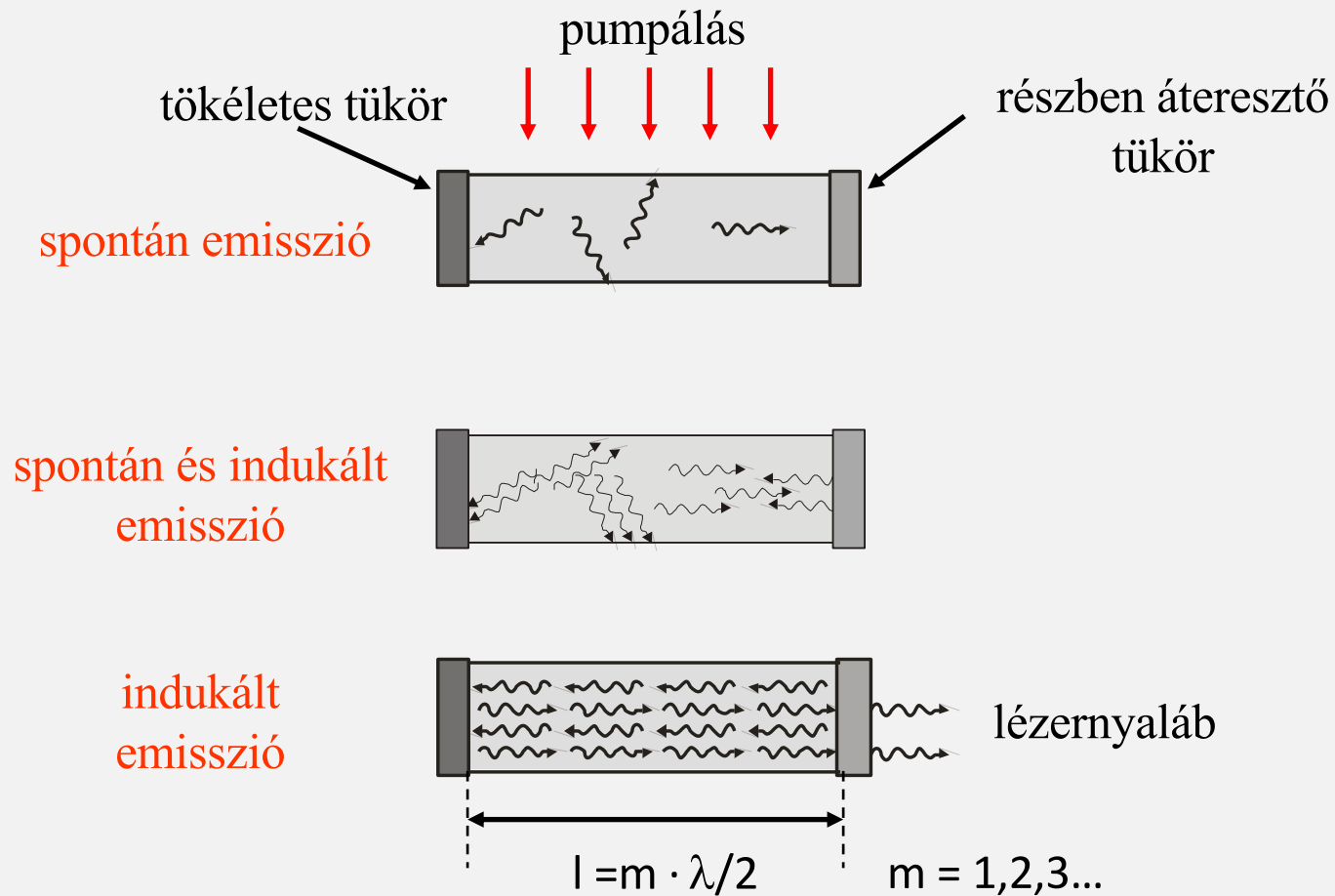
A metastabil nívón lévő elektronok relaxációjának stimulálása



A metastabil nívón lévő elektronok relaxációjának stimulálása



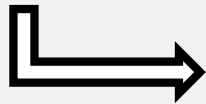
Lézercső – optikai rezonátor



Lézerfény általános tulajdonságai

Az indukált emisszió révén keletkezett fotonoknak azonos az:

- energiája
- fázisa
- rezgési síkje
- terjedési iránya.

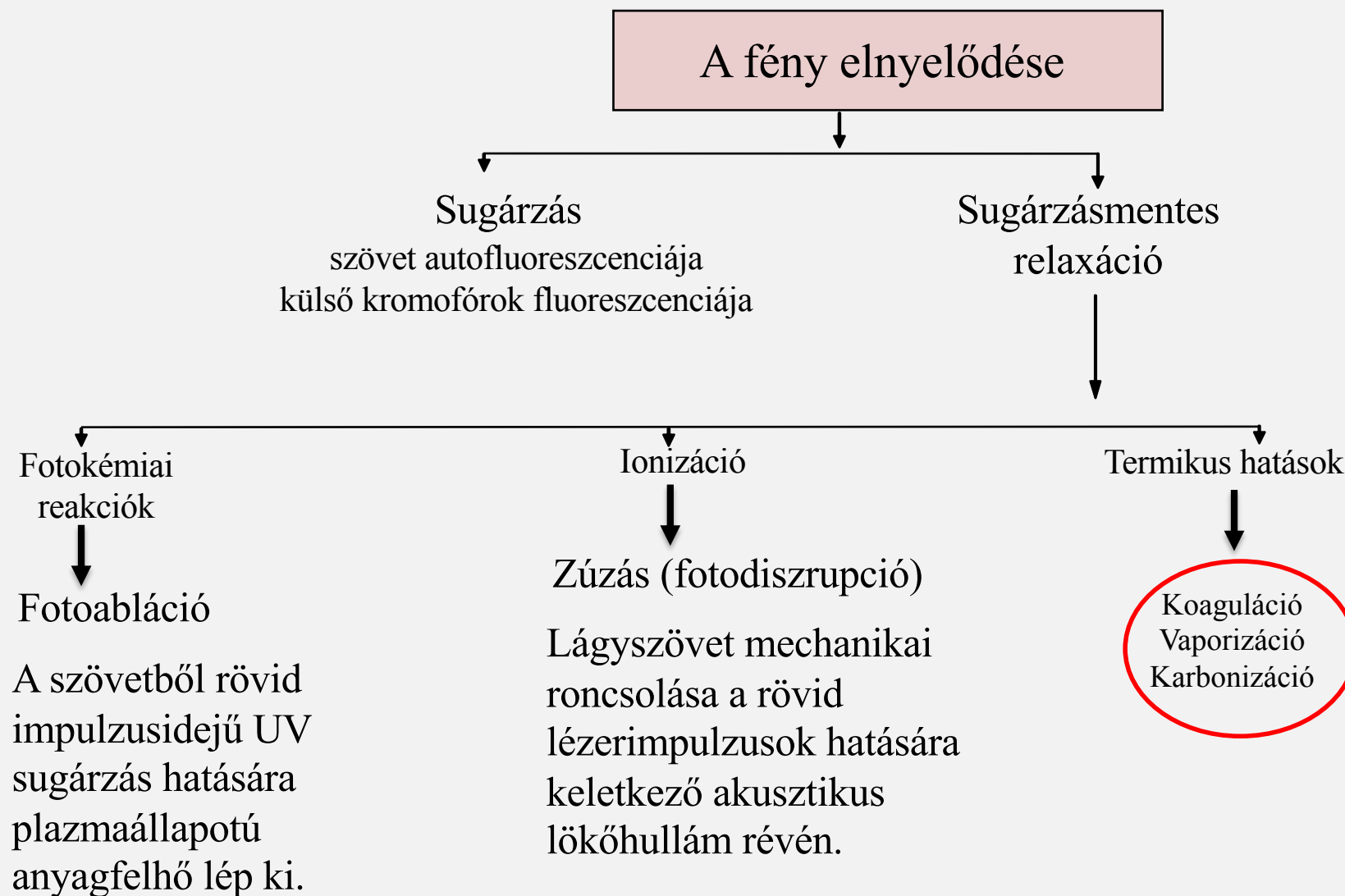


Ezért az indukált emisszióval keletkezett fény:



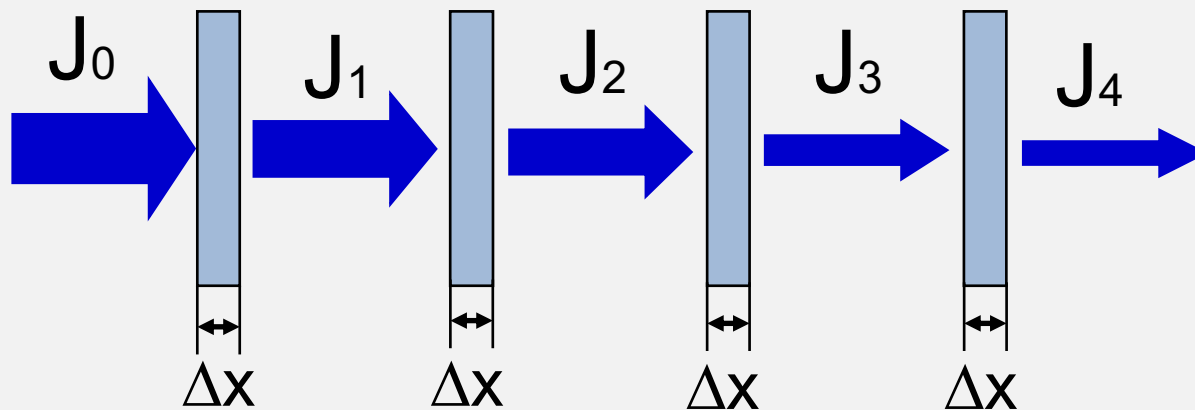
- Monokromatikus
- koherens
- poláros
- jól fókuszálható

Lézerek orvosi alkalmazási lehetőségei



A fény elnyelődése anyagban: az intenzitás gyengülésének törvénye

$$\Delta J = J_0 - J_1 = J_1 - J_2 = \dots$$



$$\frac{\Delta J}{\Delta x} = -\mu \times J$$

Differenciális alak

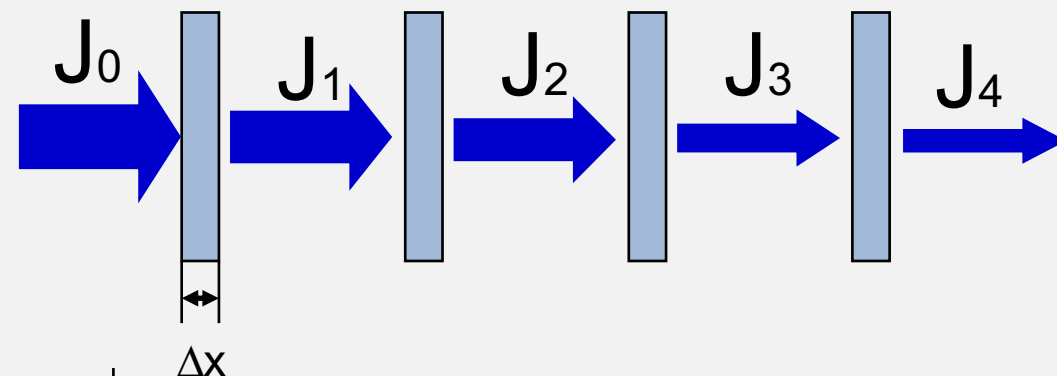
J_i : az i -edik közegbe belépő sugárzás intenzitása [W/m^2]

ΔJ : az intenzitás megváltozása Δx rétegen való áthaladáskor

μ : gyengítési állandó [$1/\text{m}$]

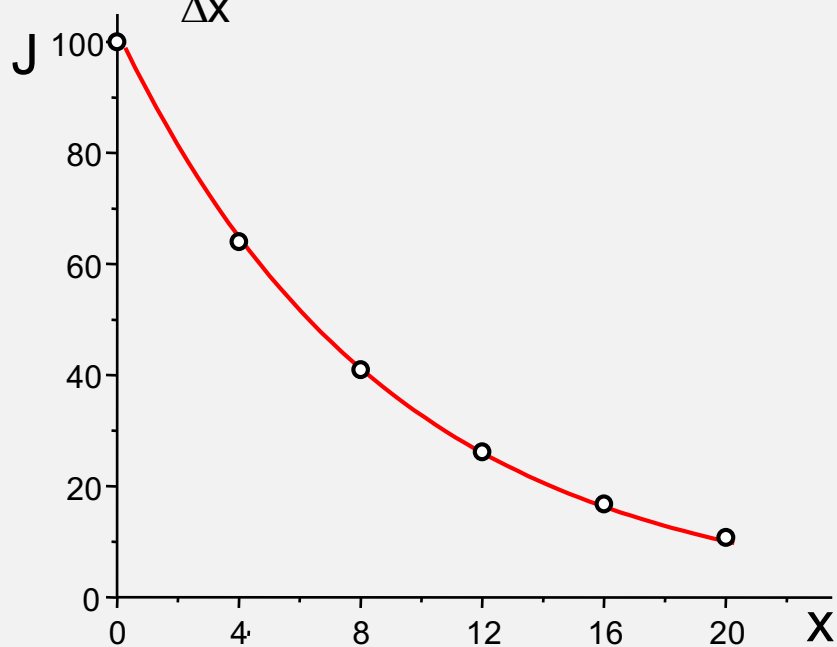
A közegen áthaladó sugárzás intenzitásának megváltozása
arányos a közegbe belépő intenzitással

Az intenzitás gyengülésének törvénye



$$\frac{\Delta J}{\Delta x} = -\mu \times J$$

az egyenlet
megoldása

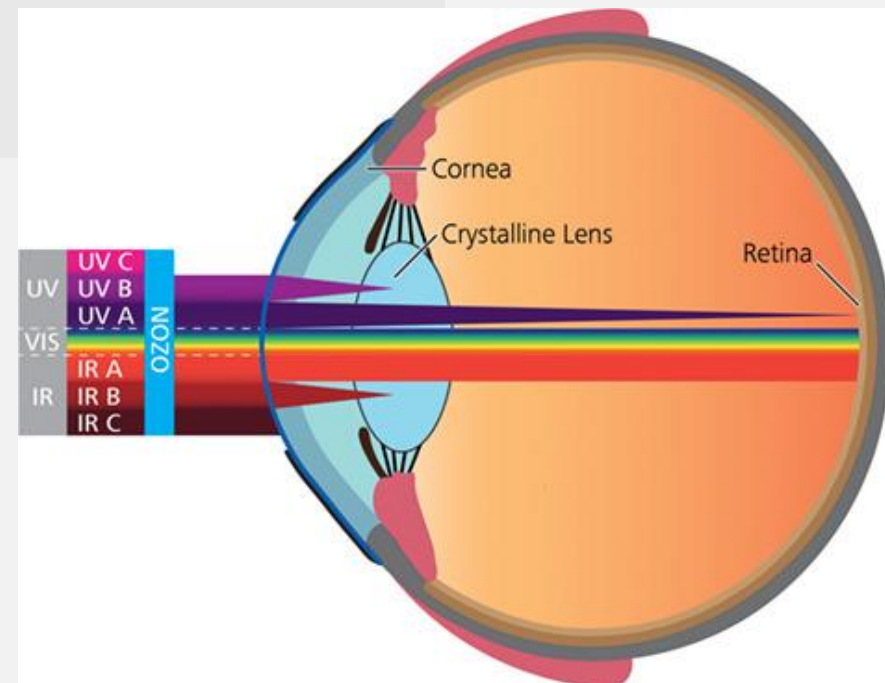
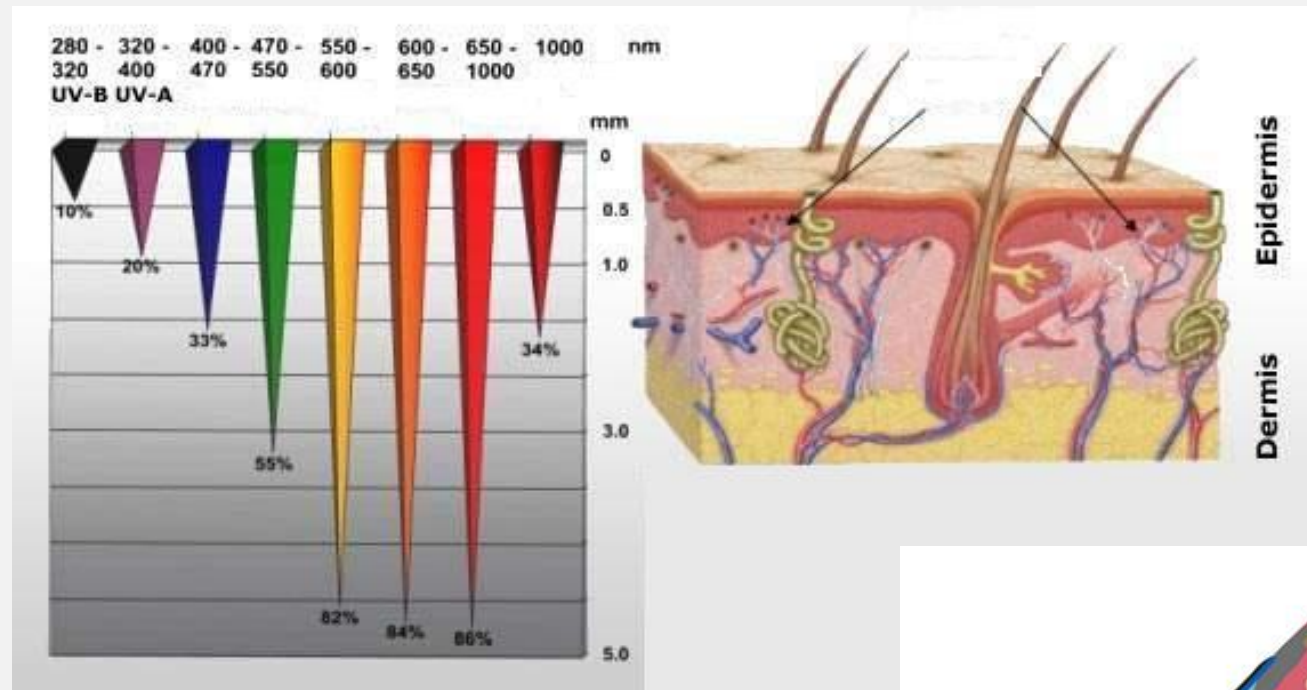


$$J = J_0 e^{-\mu x}$$

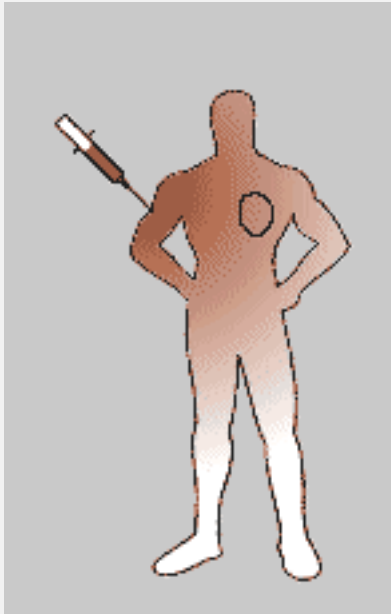
Integrális alak

e = Euler szám = 2,71828...

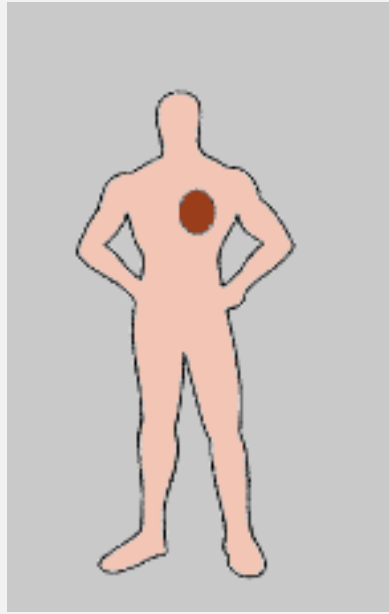
A fény biológiai hatásai



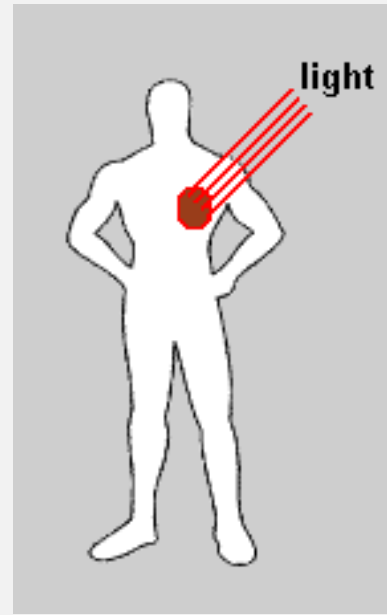
Fotodinamikus terápia



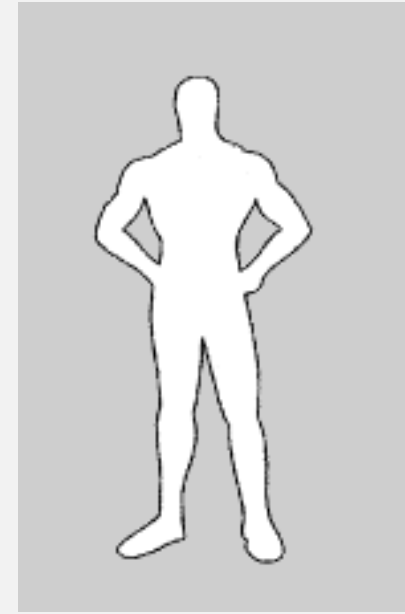
Fényérzékenyítő
bejuttatása



A fényérzékenyítő
felhalmozódása
a daganatban



Besugárzás
látható fénnel



Szelektív
tumordestrukció