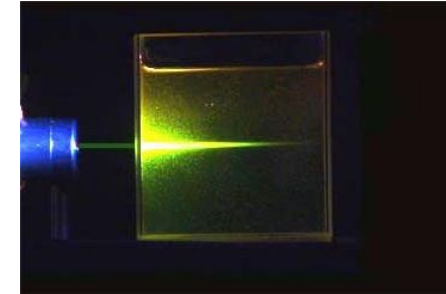


# ...AZ 1. ELŐADÁSHOZ

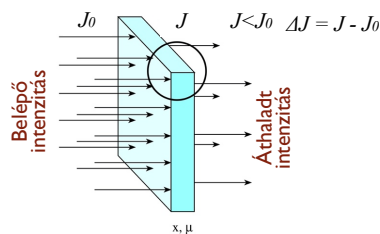
Miközben a sugárzás áthalad az anyagon, intenzitása csökken



(A kilépő sugárzás "gyengébb" mint a belépő)

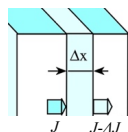
Le tudjuk írni ezt a jelenséget egyszerű törvényszerűséggel?

## Általános sugárgyengítési törvény



Általánosan elmondható, hogy a gyengülés mértéke függ a belépő intenzitástól, az úthossztól és az anyagi minőségtől:

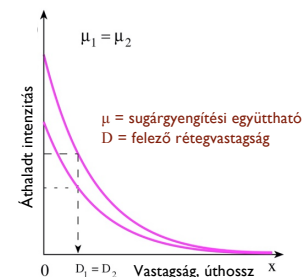
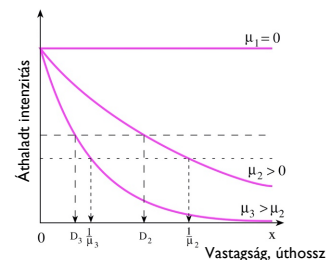
$$\Delta J \sim J; \quad \Delta J \sim \Delta x; \quad \Delta J \sim \mu$$



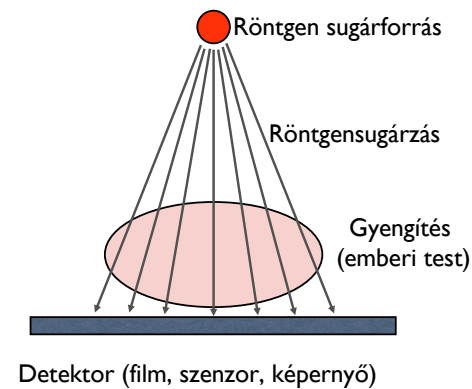
A mennyiség ( $J$ ) és annak változása ( $\Delta J$ ) egymással arányosak:

$$\Delta J = -\mu \Delta x J$$

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



## Orvosi jelentőség

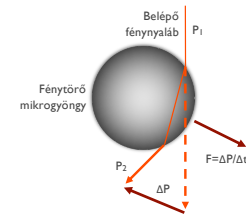


Mellkas röntgen felvétel

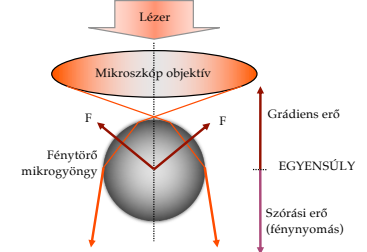
## ...A 2. ELŐADÁSHOZ

## MIKROMANIPULÁCIÓ REFRAKCIÓVAL

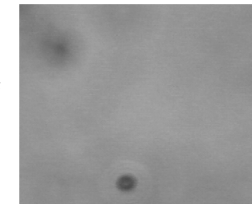
A refrakció fényimpulzus-változással ( $\Delta P$ ) jár  
(elméleti magyarázat később):



Fénytörő részecskék "optikai erővel" megfoghatók:

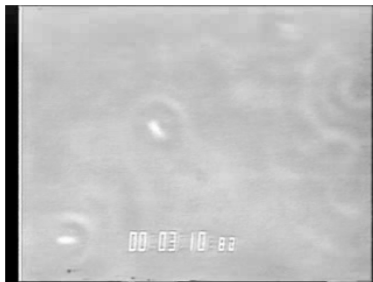


Az *optikai csipeszben* a fotonok  
és a fénytörő részecske között  
impulzuscsere lép fel



3  $\mu\text{m}$  átmérőjű latex  
(polistirol) mikrogöngyök  
optikai csipeszben

## AZ OPTIKAI CSIPESSZEL ÉLŐ SEJTEK IS MEGFOGHATÓK



Baktérium csapdázása optikai csipesszel

## Csomókötés egyetlen molekulafonálra optikai csipesszel

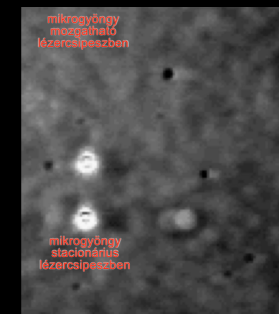
Aktin filamentum

DNS



Fáziskontraszt kép

Fluoreszcencia kép



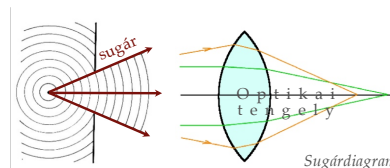
# HULLÁMOPTIKA

KELLERMAYER MIKLÓS

## GEOMETRIAI ÉS HULLÁMOPTIKA

### Geometriai optika

Ha a fény a hullámhossznál sokkal nagyobb résen halad át, a hullámfront (fázis) terjedése egy egyenessé ("sugár") egyszerűsíthető.



- Optikai nyaláb ("fényugár"): absztrakció, matematikai egyenes.
- A nyílak az energiaterjedés irányát jelölik.
- Optikai tengely: az optikai elemek (pl. lencsék) középpontján áthaladó egyenes.
- Reverzibilitás elve: az energiaterjedés (nyílak) iránya megfordítható.

### Hullámoptika

Ha a fény a hullámhossznál kisebb vagy azzal összemérhető résen halad át, a hullámtermészetét figyelembe kell venni.

Bizonyos jelenségek nem magyarázhatók a geometriai optikával!



A fény mint hullám fontos paraméterei:

- Periódusidő ( $T$ )
- Frekvencia ( $f=1/T$ )
- Terjedési sebesség ( $v, c$ )
- Hullámhossz ( $\lambda$ ): egy  $T$  alatt megtett távolság:

$$\lambda = cT = \frac{c}{f}$$

A fény terjedési sebessége *vákuumban*:  $c=2,99792458 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$

*Optikailag sűrűbb közegben* a fény terjedési sebessége csökken ( $c_1$ ). Ez kifejezhető az abszolút törésmutatóval ( $n$ ):

$$n_1 = \frac{c}{c_1}$$

## A hullámok forrása: rezgőmozgás

Példa:  
Tacoma Narrows Bridge



Tacoma Narrows Bridge ("Gallopín' Gertie")  
("Gertie the Dinosaur" (1914), rajzfilm, Winsor McCay)  
Átadás: 1940. július 1.  
Szélben (50-70 km/h): órákon át tartó rezgés.  
Rezgés amplitúdó eleinte 0,5 m, majd egy tartókábel elszakadása után akár 9 m!  
Összeomlás: 1940. november 7.

(A jelenség magyarázata)



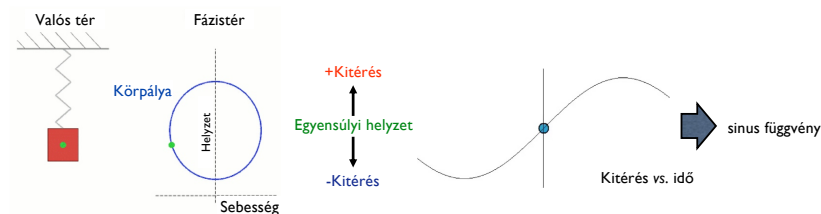
Kármán-féle örvények  
(Szélben, a híd élén keletkeznek. Ha nem válnak le a felületről, rezgés lép fel.)



Kármán Tódor  
(Theodore von Kármán)  
1881-1963

## Harmonikus rezgőmozgás

Egyensúlyi helyzetéből kitérített rendszerre visszatérítő erő hat (pl. rugóra függesztett tömeg).



$$y = R \sin \varphi$$

$$\text{Mivel } \varphi = \omega t: y = R \sin(\omega t)$$

$$\text{Ha a kiindulási fáziszög } (\varphi_0) \text{ nem zérus: } y = R \sin(\omega t + \varphi_0)$$

$$\text{Mivel a szögsebesség } (\omega) \text{ a periódusidő } (T) \text{ alatt megtett teljes kör } (2\pi): y = R \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi_0\right)$$

A tovaterjedő hullámmozgás fontos paraméterei:

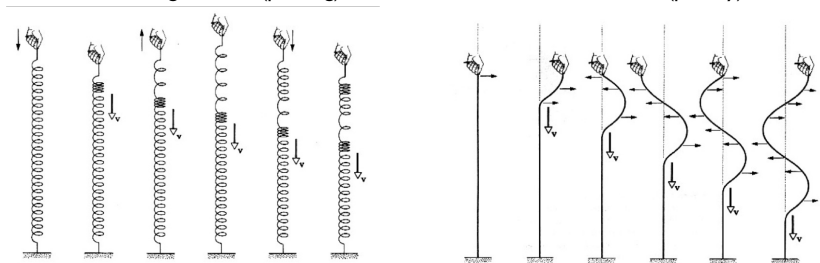
- Periódusidő ( $T$ )
- Frekvencia ( $f=1/T$ )
- Terjedési sebesség ( $v, c$ )
- Hullámhossz ( $\lambda$ ): egy periódusidő alatt megtett távolság:

$$\lambda = cT = \frac{c}{f}$$



# Hullámok típusai

- Keletkezés **mechanizmus**a szerint:
  1. Mechanikai: rugalmas deformáció, rugalmas közegben terjed (pl. hang)
  2. Elektromágneses: elektromos zavar, vákuumban (is) terjed (pl. fény)
- Terjedés **dimenziója** szerint:
  1. egydimenziós (pl. megpendített húr)
  2. felületi hullámok (pl. síkhullám vízfelületen)
  3. térbeli hullámok (pl. hang)
- A rezgés és terjedés relatív **irányai** szerint:
  1. Longitudinális (pl. hang)
  2. Transzverzális (pl. fény)



# Hullámjelenségek I. Diffrakció, hullámelhajlás

Huygens-Fresnel elv:  
egy hullámfront minden pontja további hullámok forrása

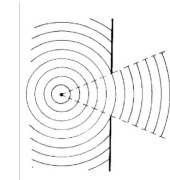


Christiaan Huygens  
(1629-1695)

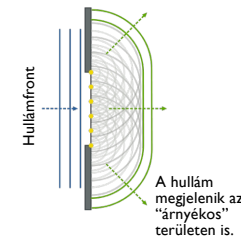
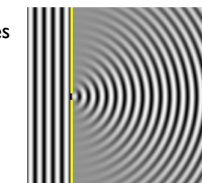


Augustin-Jean Fresnel  
(1788-1827)

Hullámhossznál  
sokkal nagyobb rés

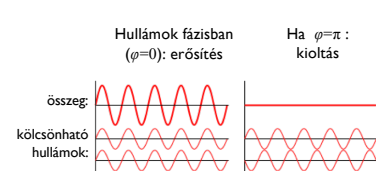


Hullámhossznál kisebb rés

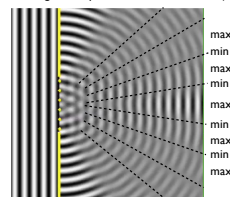


# Hullámjelenségek II. Interferencia

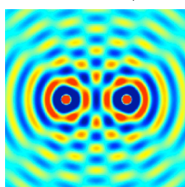
Alapja: szuperpozíció elve



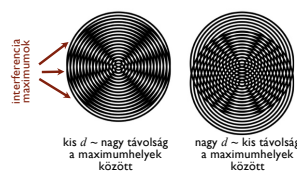
Több ( $>1$ ), hullámhosszal összemérhető nagyságú rés  
( $=d$  távolságra levő pontszerű rés, ahol  $d \sim \lambda$ )



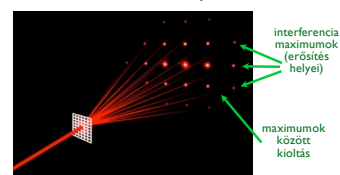
Két, pontszerű forrásból  
származó hullámok  
interferenciája



Kialakuló **interferencia mintázat**  
a pontszerű részek közötti  
távolságtól ( $d$ ) függ



2D optikai rács elhajlási (diffrakciós)  
interferencia képe



# Hullámjelenségek III. Polarizáció

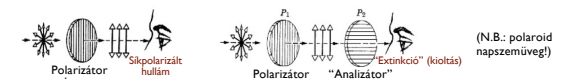
**Polarizáció:** kitüntetett irányú rezgés  
**Kettős törés:** anizotrop terjedési sebesség  
Csak a **transzverzális** hullámok polarizálhatók.



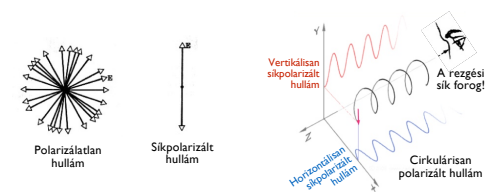
**Mechanikai**  
hullámok polarizálása



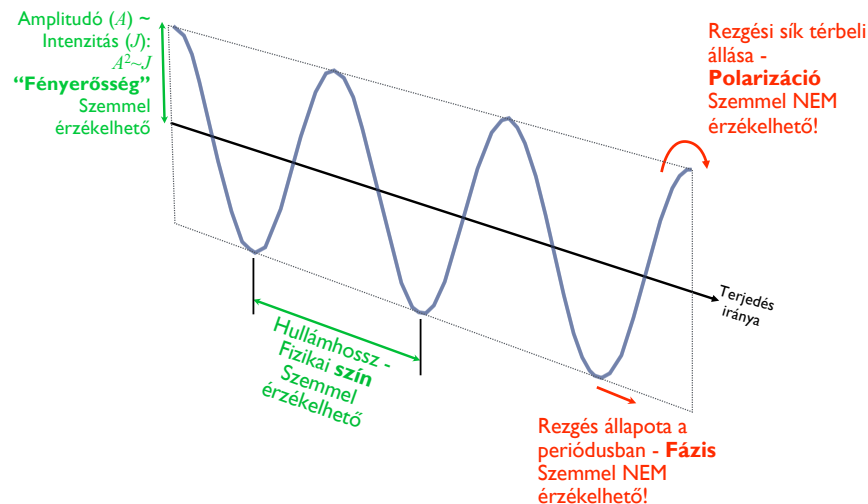
**Elektromágneses**  
hullámok polarizálása



Polarizáció  
illusztrálása a terjedési  
irányból nézve:



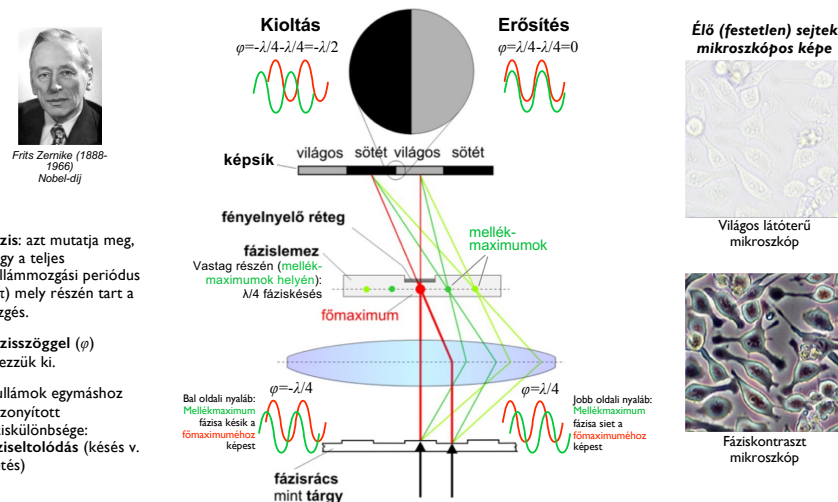
# A fénymint hullám érzékelhető paraméterei



A hullám eredete és természete: jövő hét!

# Fázis, fáziskontraszt mikroszkópia

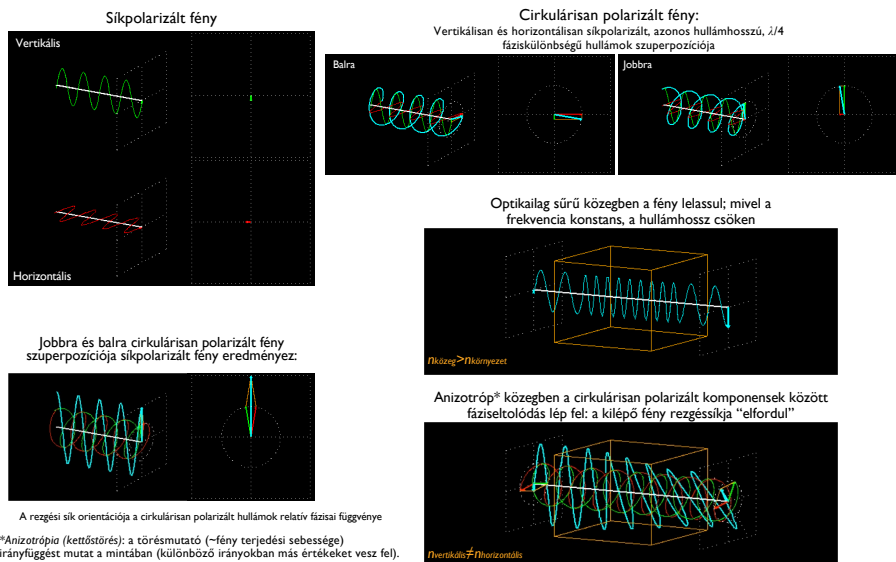
A mintában fellépő fáziseltolódásbeli különbségeket amplitúdó kontraszttá alakítja



- Fázis: azt mutatja meg, hogy a teljes hullámmozgási periódus ( $2\pi$ ) mely részén tart a rezgés.
- Fázisszöggel ( $\varphi$ ) fejezzük ki.
- Hullámok egymáshoz viszonyított fáziskülönbsége: fáziseltolódás (késés v. sietés)

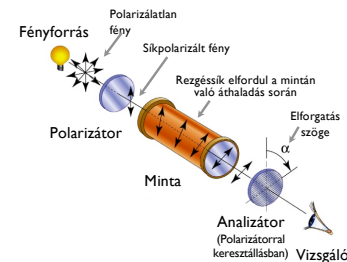
# Polarizált fénymint és kölcsönhatásai

Rezgés (elektromos v. mágneses tér) kitüntetett irányú - rezgési sík kitüntetett állású



# Polarizáció alkalmazásai

## Polarimetria



Elforgatás szöge az optikailag aktív\* anyag koncentrációjától ( $c$ ) függ:

$$\alpha = [\alpha]_D^{20} \cdot c \cdot l$$

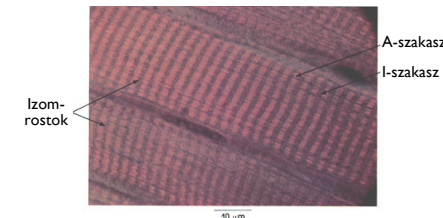
$[\alpha]$  = fajlagos forgatóképesség ("20": szobahő; "D": Na spektrális vonala  $\lambda = 589$  nm)  
 $l$  = rétegvastagság (mintatartó hossza)

\*Optikailag aktív anyag: **királis** molekulákat tartalmazó minták, amelyek a síkpolárizált fénymint rezgési síkját elforgatják.



## Polarizációs mikroszkópia

Harántcsikolt izomrost polarizációs mikroszkópban



- A-szakasz: anizotróp (kettőstörő) szakasz (helikális filamentumokba rendezett miozinmolekulákat tartalmaz)
- I-szakasz: izotróp szakasz

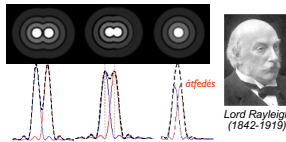
A fény hullámtermészete behatárolja a szem működését!

## A szem feloldóképessége I. Hullámoptikai korlát

Diffrakció miatt: pontszerű tárgy képe elhajlasi korong (Airy korong)



Rayleigh feltétel: a tárgypontok feloldhatók, ha nincs túl nagy átfedés a képek között



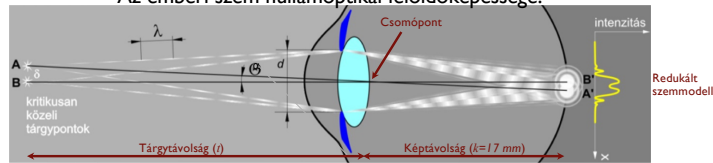
Legkisebb feloldott távolság behatárolt (Abbe-képlet):

$$d = \frac{0.61 \lambda}{n \sin \alpha}$$

$\lambda$  = hullámhossz  
 $n$  = közeg törésmutatója  
 $\alpha$  = optikai tengely és legszélső nyaláb által bezárt szög (fénygyűjtő)



Az emberi szem hullámoptikai feloldóképessége:



Látószöghatár:  $\alpha_H = 1.22 \frac{\lambda}{d}$

Az a legkisebb látószög, amelynél két különálló pontot meg tudunk különböztetni egymástól.  
Közepes hullámhossz (550 nm) és pupilla átmérő (4 mm) értékekre:  $0.6'$

## A szem feloldóképessége II. Biológiai korlát: receptorsejt-sűrűség

Tárgy	Receptorokra eső kép	Látásérzet
••		•
••		••
••		••

- Feloldás feltétele: legalább egy inaktivált receptorsejt legyen két aktivált receptorsejt között. Ekkor a legkisebb látószöghatár a redukált szemmodell alapján ( $\alpha_B \approx 0.8'$ ).
- Az emberi szemben a hullámoptikai és biológiai feloldóképesség értékei nagyjából **egybeesnek**.

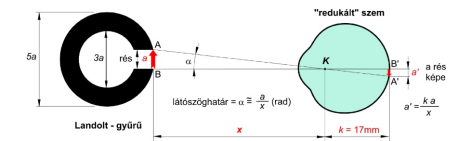
Látásélesség (*visus*, "Visual Acuity", VA):

$$\text{látásélesség} = \frac{1'}{\alpha} 100\%$$

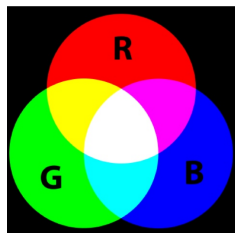
$\alpha$  = kísérleti (mért) látószöghatár

Normál látószöghatár egészséges emberben:  
 $1' (=100\% \text{ visus})$

Látásélesség mérése



## Színkódolás, színlátás



### Additív színkódolás

Bármely szín kikeverhető a három alapszín (R=vörös, G=zöld, B=kék) megfelelő súlyozású összekeverésével

$$X = rR + gG + bB$$

Emberi szemben:

- 3 különböző színérzékelő receptor.
- Mindegyik receptor más-más színtartományban érzékeny, azaz más színeket nyel el ( $R=64\%$ ,  $G=32\%$ ,  $B=2\%$ ).

Emberi szem színérzékelő receptorainak (csapok) abszorpciós spektrumai

