

# ORVOSI BIOFIZIKA

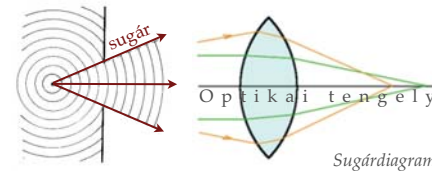
## “A FÉNY BIOFIZIKÁJA”

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.

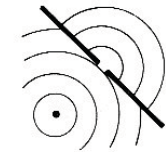


- Optikai nyaláb (“fényszugár”): absztrakció, matematikai egyenes.
- A nyílak az energiatörjedés irányát jelölik.
- Optikai tengely: az optikai elemek (pl. lencsék) középpontján áthaladó egyenes.
- Reverzibilitás elve: az energiatörjedés (nyílak) iránya megfordítható.

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 ( $n_1$ ):

### Hullámoptika

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



A fény mint hullám fontos paraméterei:

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

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

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

## A fény biofizikája

- Oszcillációk. Harmonikus oszcilláció.
- Hullámok típusai.
- Hullámjelenségek.
- A fényhullám detektálható paraméterei.
- Fázis; fáziskontraszt mikroszkópia.
- Polarizáció; polarimetria, polarizációs mikroszkópia.
- Az emberi szem feloldóképessége.
- Színlátás.

## A hullámok forrása: rezgőmozgás

Példa:  
Tacoma Narrows Bridge

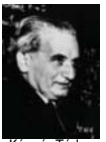


Tacoma Narrows Bridge (“Gallopín’ Gertie”)  
 (“Gertie the Dinosaur” (1914), rajzfilm, Winsor McCay)  
 Átadás: 1940. július 1.  
 Szélben (50-70 km/h): órákon át tartó rezgés.  
 Rezgés amplitúdó eleinte 0,5 m, majd egy tartókábel  
 elszakadása után akár 9 m!  
 Összeomlás: 1940. november 7.

(A jelenség magyarázata)



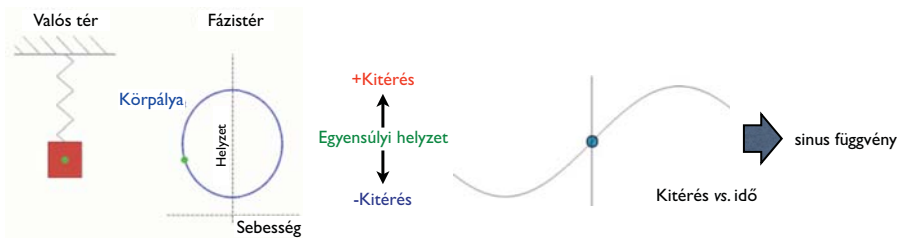
Kármán-féle örvények  
 (Szélben, a híd déli keletkezőnek. Ha nem  
 válnak le a felületről, rezgés lép fel.)



Kármán Tódor  
 (Theodore von Kármán)  
 1881-1963

# Harmonikus rezgőmozgás

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



$$y = R \sin \varphi$$

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

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

Mivel a szögsebesség ( $\omega$ ) a periódusidő ( $T$ ) 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:

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

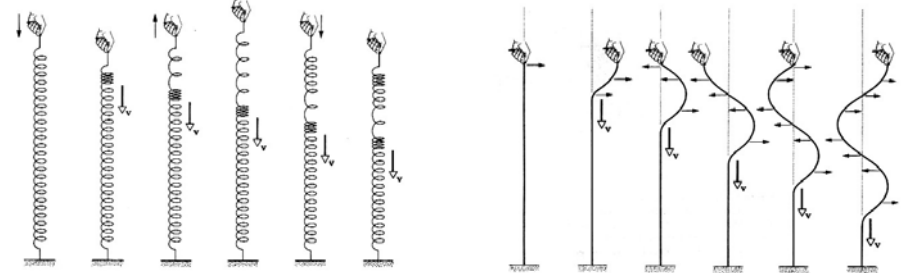
$\phi$  = fáziszög  $t$  időnél  
 $y$  = kitérés  $t$  időpontban  
 $\omega$  = szögsebesség ( $\phi/t$ )  
 $R$  = forgó egységvektor hossza  
 = maximális kitérés (amplitúdó)

# 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

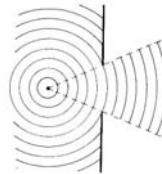


Christiaan Huygens  
(1629-1695)

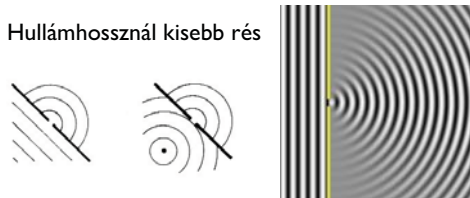


Augustin-Jean Fresnel  
(1788-1827)

Hullámhossznál sokkal nagyobb rés



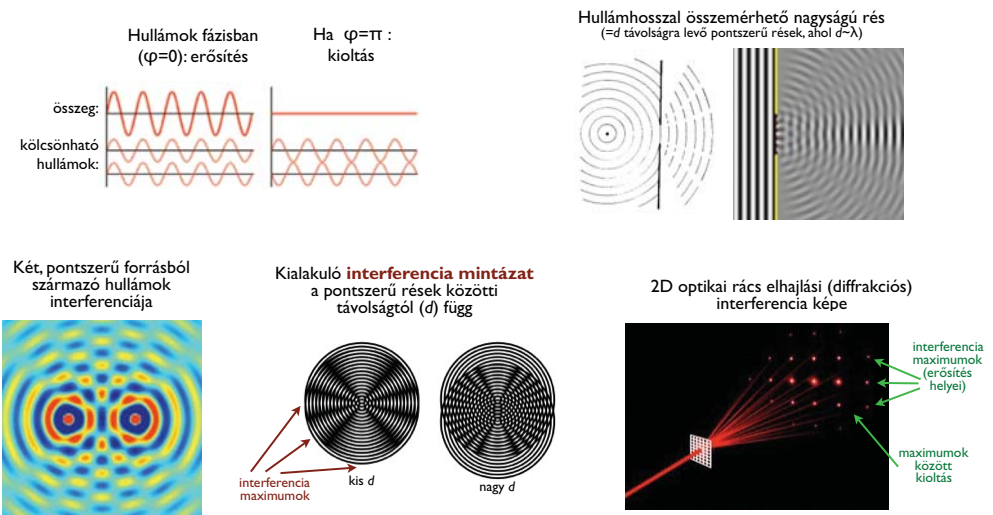
Hullámhossznál kisebb rés



A hullám megjelenik az "árnyékos" területen is.

## Hullámjelenségek II. Interferencia

Alapja: szuperpozíció elve



# Hullámjelenségek III.

## Polarizáció

**Polarizáció:** kitüntetett irányú rezgés  
**Kettős törés:** anizotróp terjedési sebesség  
 Csak a **tranzverzális** hullámok polarizálhatók.



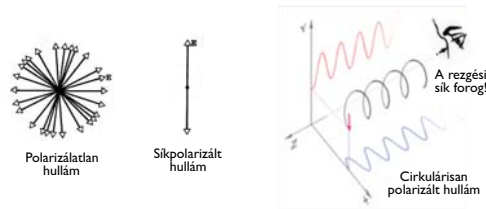
**Mechanikai**  
 hullámok polarizálása



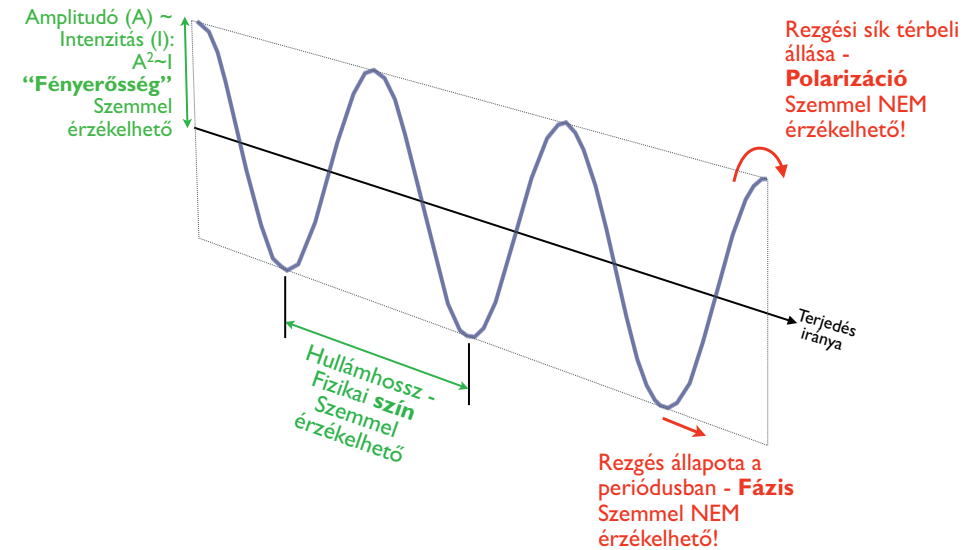
**Elektromágneses**  
 hullámok polarizálása



Polarizáció  
 illusztrálása a terjedési  
 irányból nézve:



## A fény mint hullám érzékelhető paraméterei



A hullám eredete és természete: jövő hét!

## Fázis, fáziskontraszt mikroszkópia

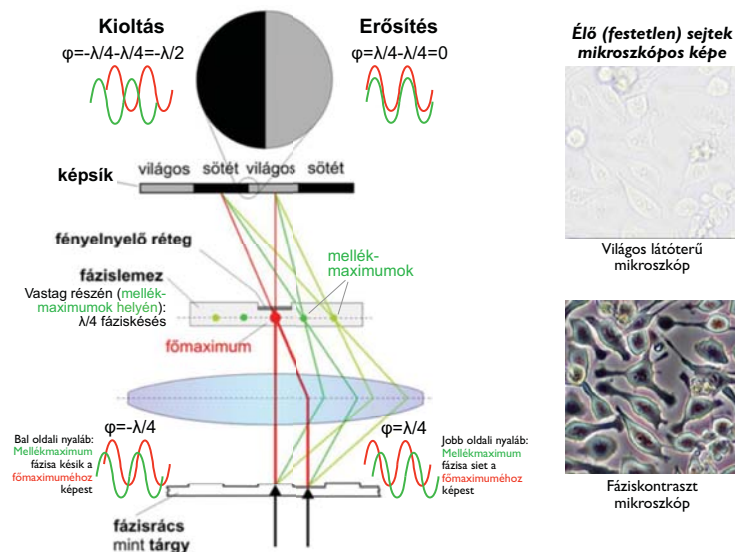


Frits Zernike  
 (1889-1969)  
 Nobel-díj

• **Fázis:** azt mutatja meg, hogy a teljes hullámmozgási periódus ( $2\pi$ ) mely részén tart a rezgés.

• **Fázisszöggel ( $\varphi$ )** fejezzük ki.

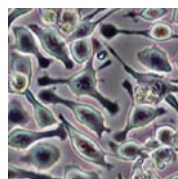
• **Hullámok egymáshoz viszonyított fáziskülönbsége:** fáziseltolódás (késés v. sietés)



**Élő (festetlen) sejtek mikroszkópos képe**



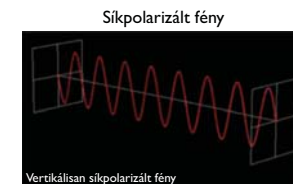
Világos látóterű mikroszkóp



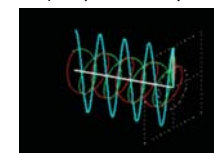
Fáziskontraszt mikroszkóp

## Polarizált fény és kölcsönhatásai

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



Jobbra és balra cirkulárisan polarizált fény superpozíciója síkpolárizált fény eredményez:

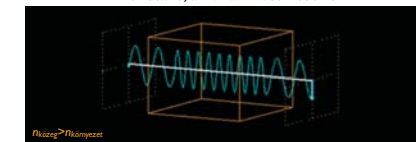


A rezgési sík orientációja a cirkulárisan polarizált hullámok relatív fázisai függvénye

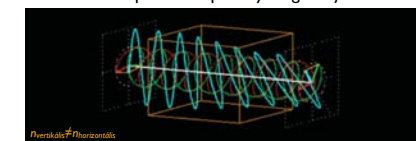
\***Anizotrópia** (kettőtörés): a törésmutató ( $\sim$ fény terjedési sebessége) irányfüggést mutat a mintában (különböző irányokban más értékeket vesz fel).



Optikailag sűrű közegben a fény lelassul - mivel a frekvencia konstans, a hullámhossz csökken



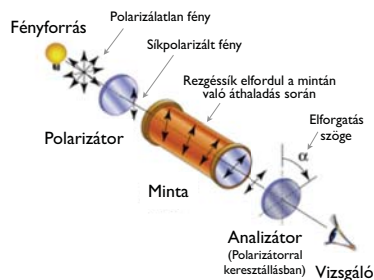
Anizotróp\* közegben a cirkulárisan polarizált komponensek között fáziseltolódás lép fel: a kilépő fény rezgéssíkja "elfordul"





# Polarizáció alkalmazásai

## Polarimetria



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

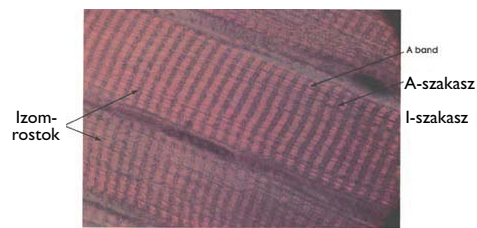
$$\alpha = [\alpha]_D^{20} \cdot c \cdot l$$

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

\*Optikailag aktív anyag: *királis* molekulákat tartalmazó minta, amely a síkpolárizált fény rezgését elforgatja.

## Polarizációs mikroszkópia

Harántcsikolt izomrost polarizációs mikroszkópban

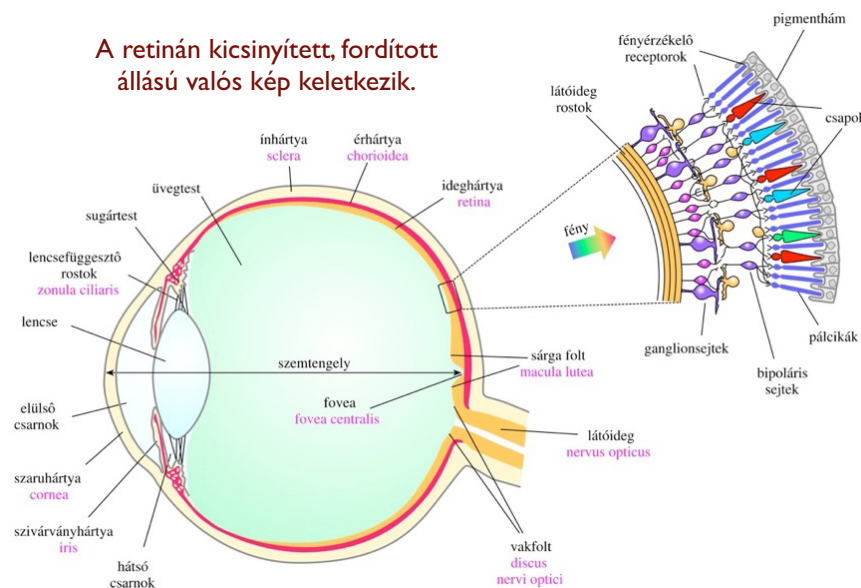


- A-szakasz: anizotróp (kettőtörő) szakasz (helikális filamentumokba rendezett miozinmolekulákat tartalmaz)
- I-szakasz: izotróp szakasz



# Optikai leképezés az emberi szemben

A retinán kicsinyített, fordított állású valós kép keletkezik.



Az emberi szem horizontális metszeti szerkezete

## A szem feloldóképessége I.

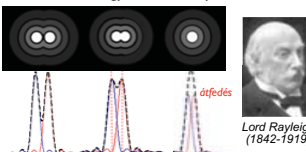
### Hullámoptikai korlát

Difrakció miatt: pontszerű tárgy képe elhajlási korong (Airy korong)



Sir George Biddell Airy (1801-1892)

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



Lord Rayleigh (1842-1919)

Legkisebb feloldott távolság behatárolt (Abbe-képlet):

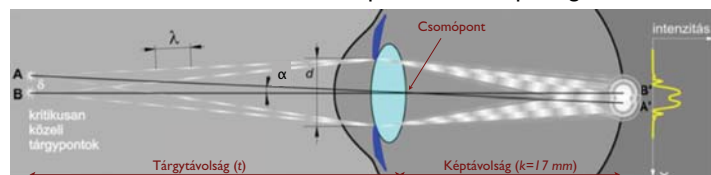
$$d = \frac{0.61\lambda}{n \sin \alpha}$$

$\lambda$  = hullámhossz  
 $n$  = közeg törésmutatója  
 $\alpha$  = optikai tengely és legzselő nyíláb által bezárt szög (fénynyílásszög)



Ernst Abbe (1840-1905)

Az emberi szem hullámoptikai feloldóképessége:



Redukált szemmodell

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

Az a legkisebb látószög, amelynek 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 inaktív receptorsejt legyen két aktív 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 **egyesnek**.

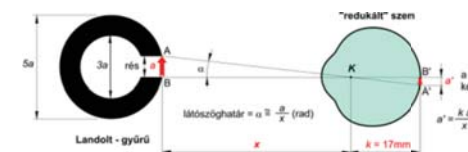
Látásélesség (visus, "Visual Acuity", VA):

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

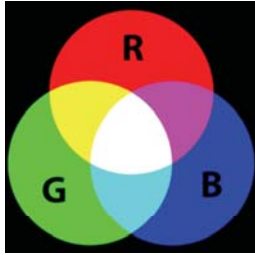
$\alpha$ =kísérleti (mért) látószöghatár

Normál látószöghatár egészséges emberben:  
1' (=100% visus)

Látásélesség mérése



# Színkódolás, színlátás



## Additív színkódolás

Bármely szín kifejezhető 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%).

