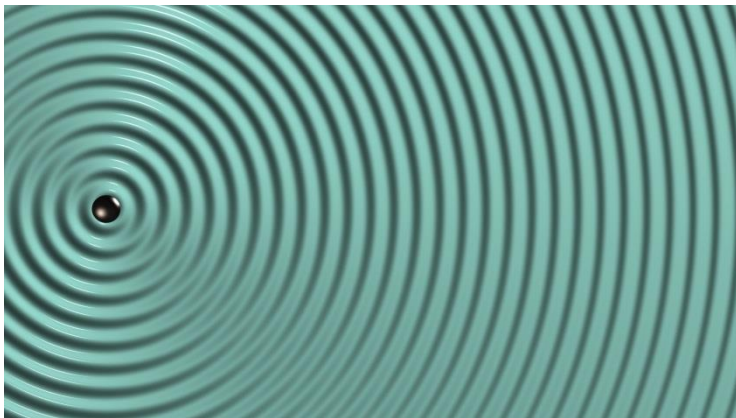
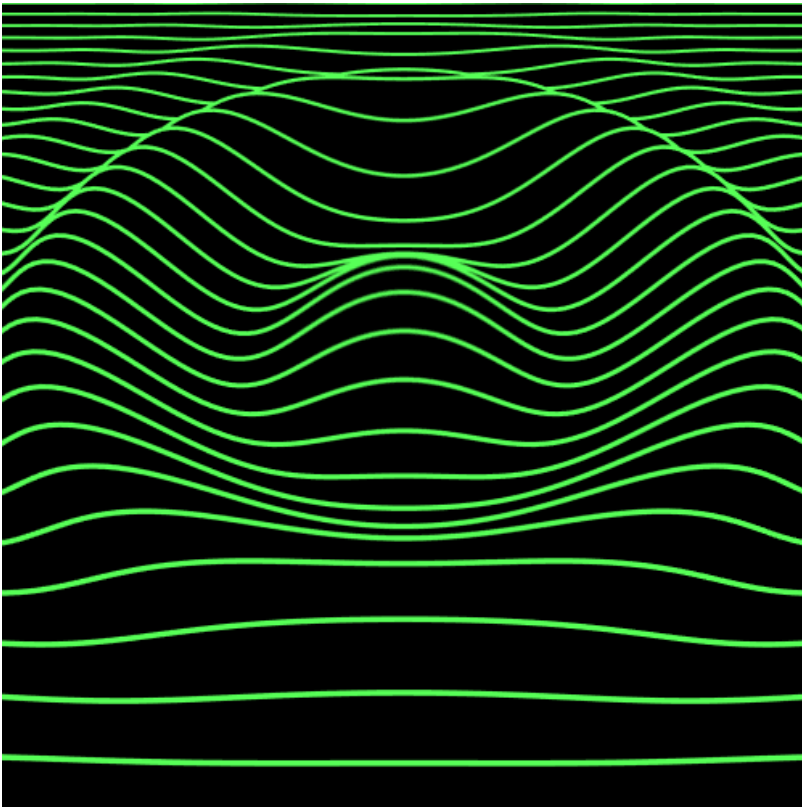


Hullámtan



G.Schay

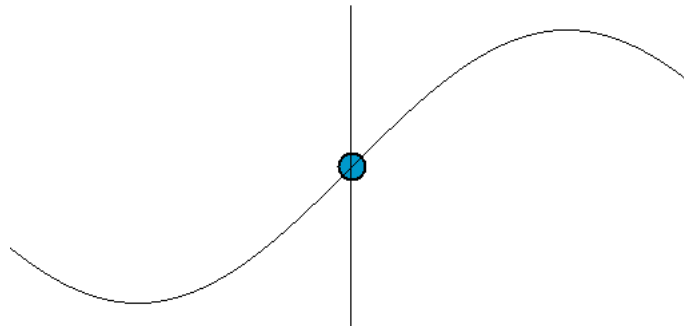
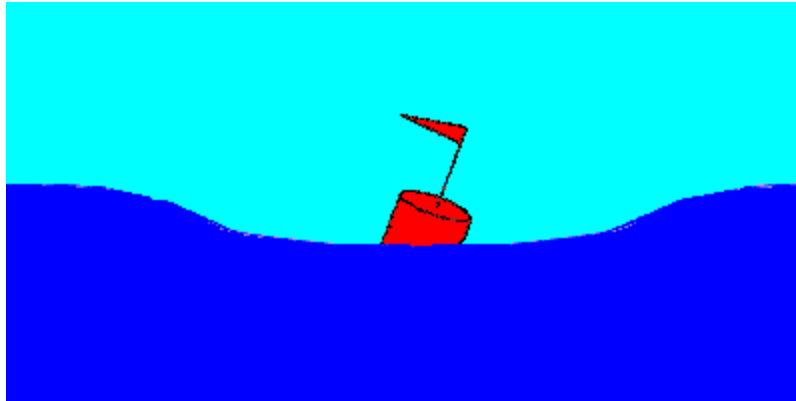
Vízfelszíni hullámok

©2016, Dan Russell



az egyes részecskék helyhez kötött periodikus mozgást végeznek, csak a „hullámfront” halad!

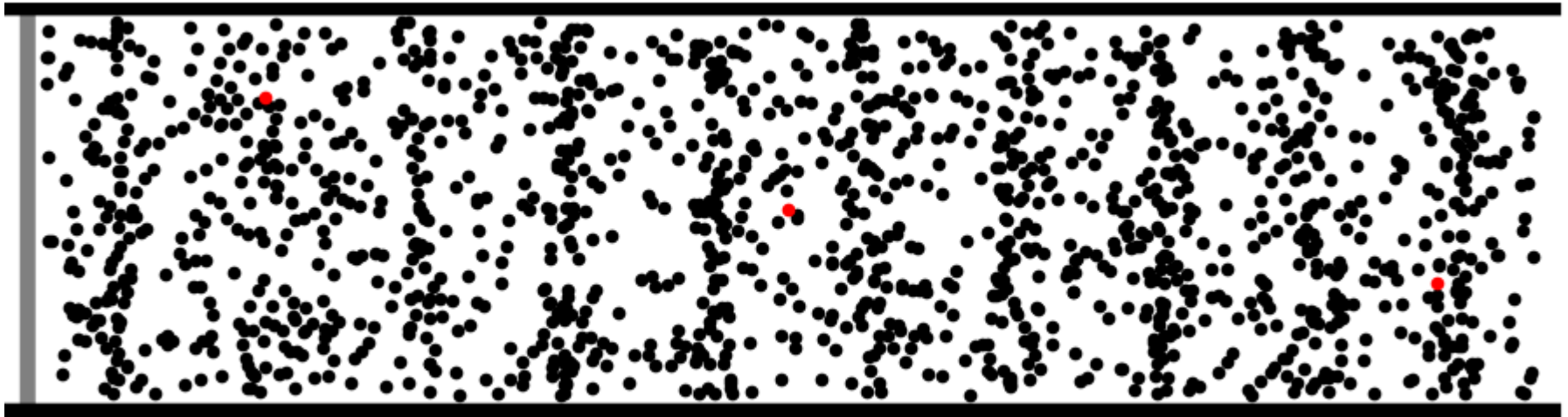
a hullámokat a hullámegyenlet írja le, mely megadja a részecskék mozgását a hely és idő függvényében



az egyes részecskék helyhez kötött periodikus mozgást végeznek, csak a „hullámfront” halad!

Longitudinális hullámok:

A hullámfront haladási iránya párhuzamos a részecskék mozgásával

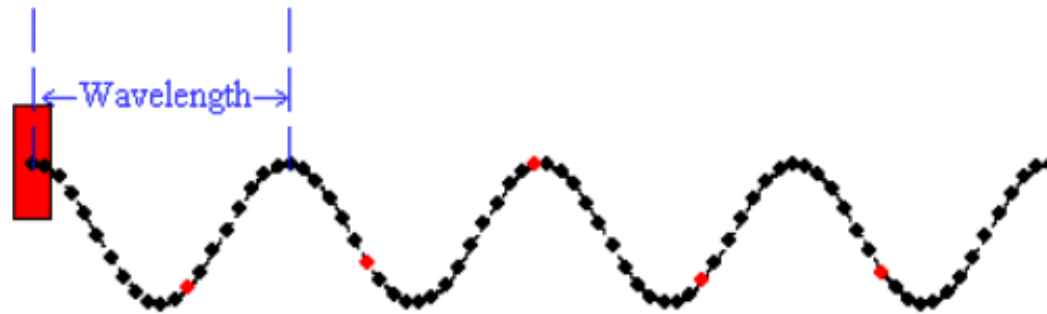


©2011. Dan Russell

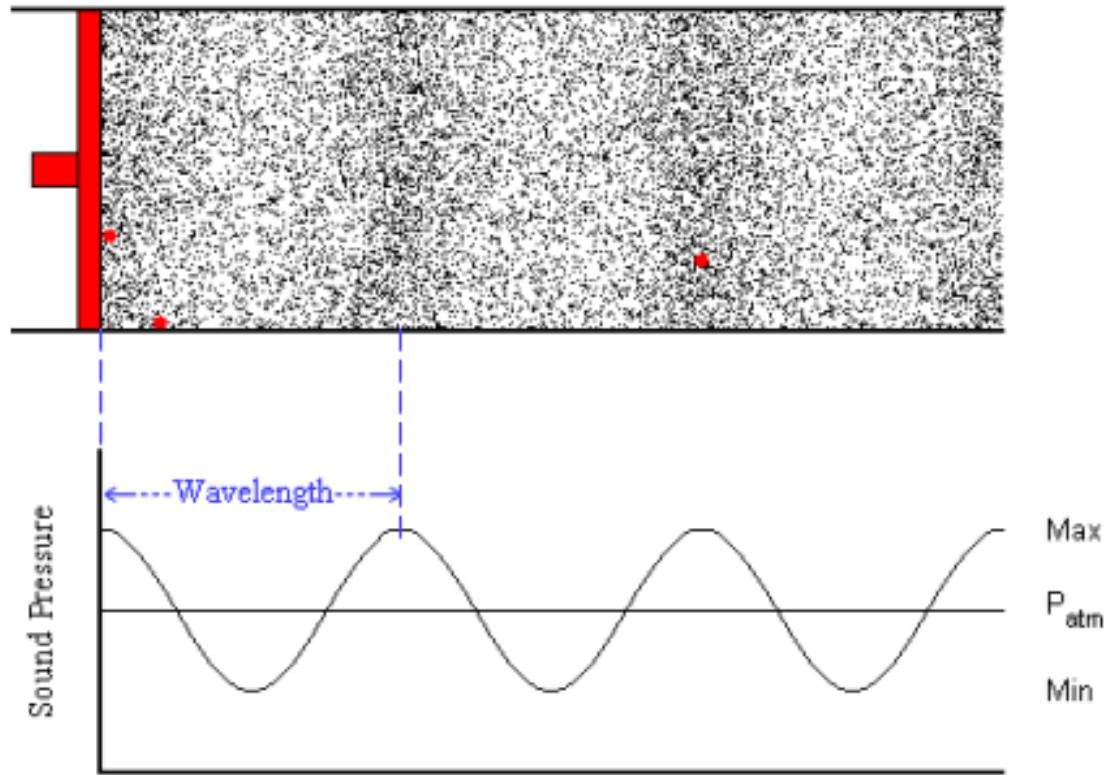


A hullám forrása (itt egy mozgó felszín)

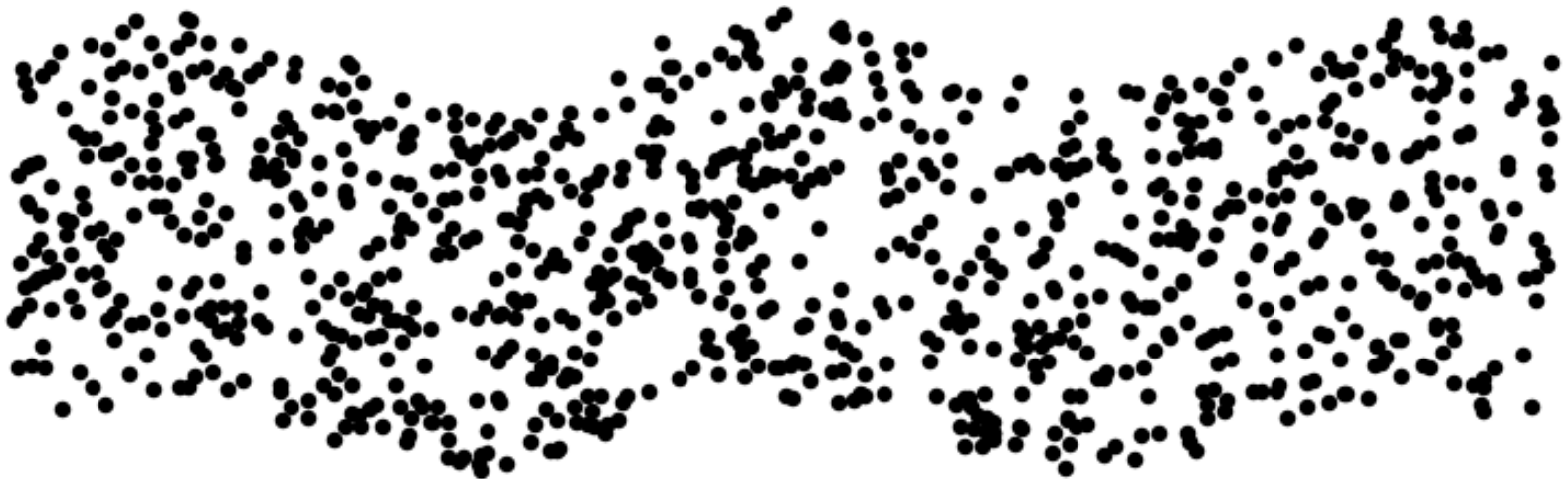
Transverse Wave



Acoustic Longitudinal Wave



transzverzális hullám



A hullámfront haladási iránya merőleges a részecskék mozgására

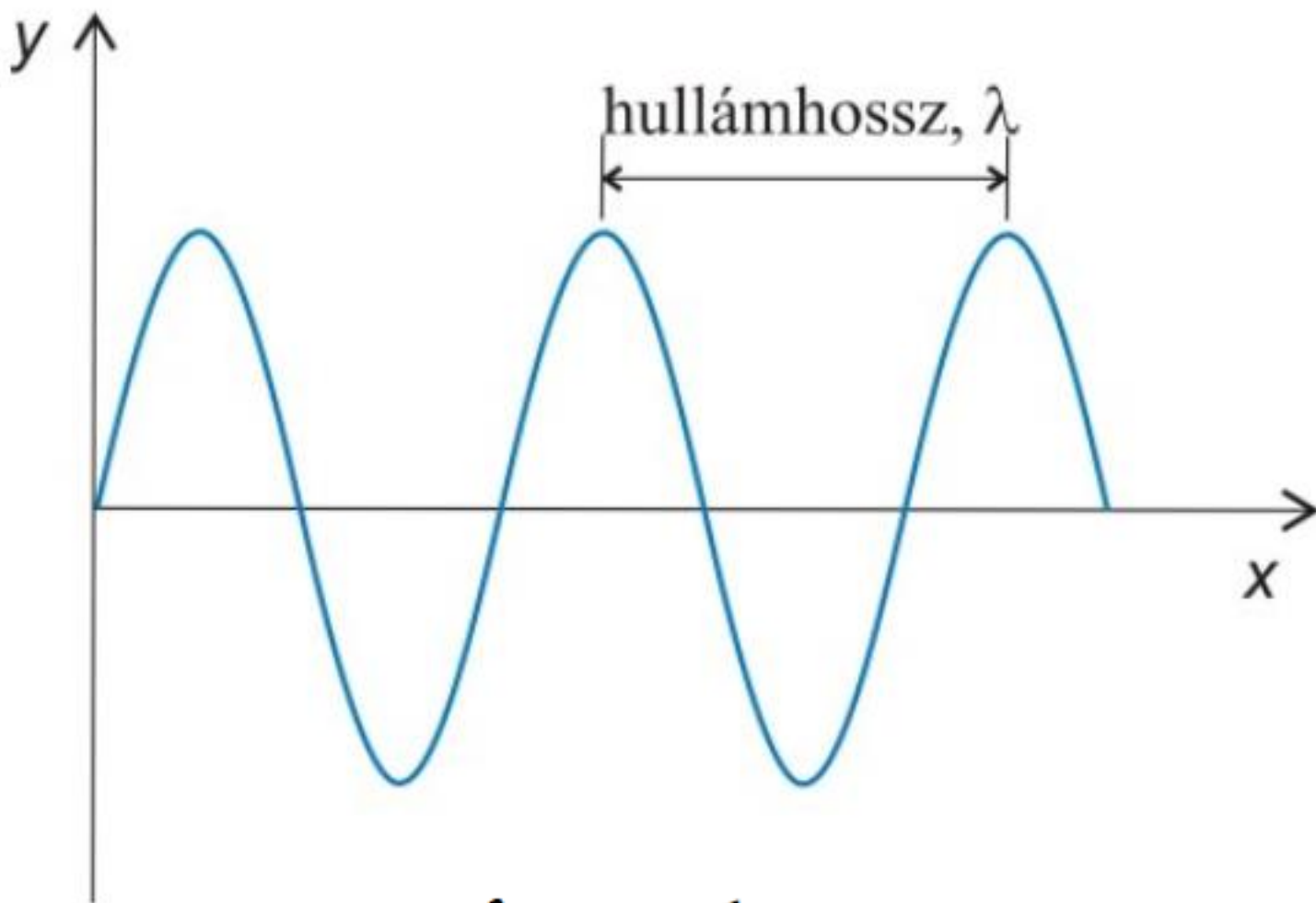


a hullám haladása azt jelenti, hogy a részecskék mozgás-állapota terjed tova.



itt a mozgás-állapot például az egyes részek kimozdulásának mértéke.





$$c = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot \frac{1}{T} = \lambda \cdot f$$

Jellemző mennyiségek:

Térbeli periodicitás - *hullámhossz*
 λ [m]

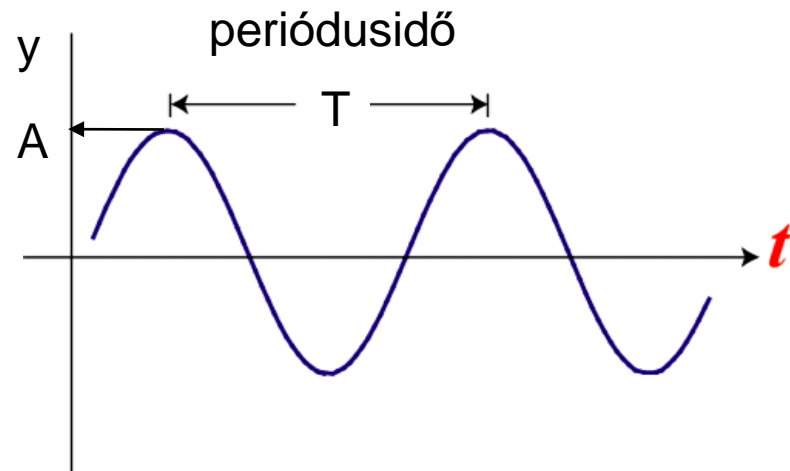
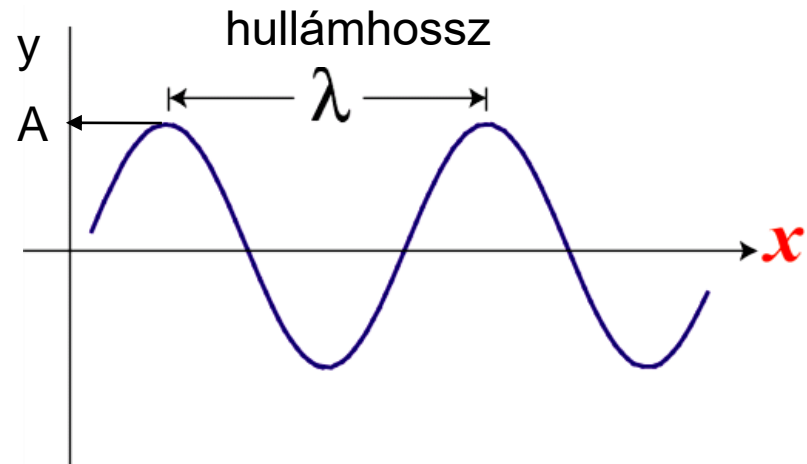
Maximális kitérés - *amplitúdó*

$$E \sim A^2$$

Időbeli periodicitás

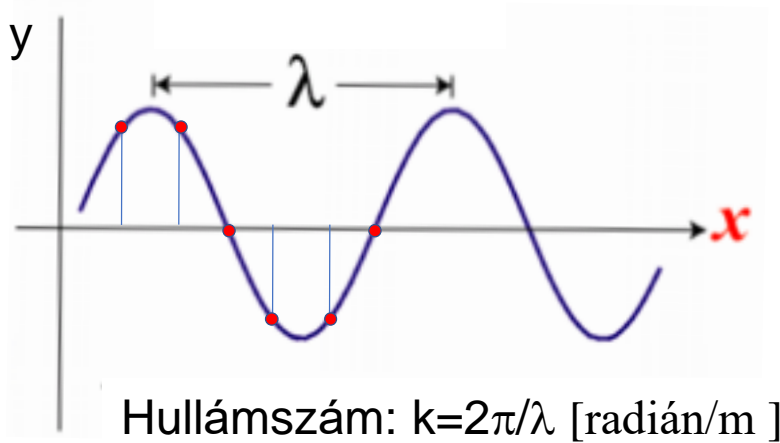
$$f = \frac{1}{T} \left[\frac{1}{s} \right] \quad \begin{array}{l} \text{- periódusidő} \\ \text{- frekvencia} \end{array}$$

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



Fázis: kitérési állapot

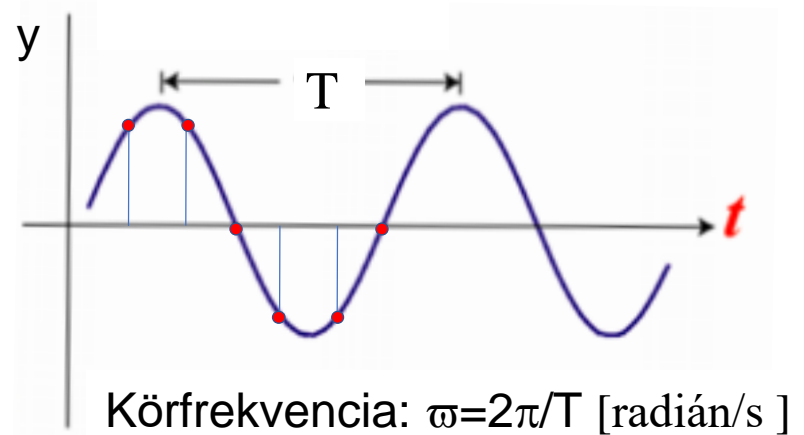
térben vizsgálva



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



időben vizsgálva



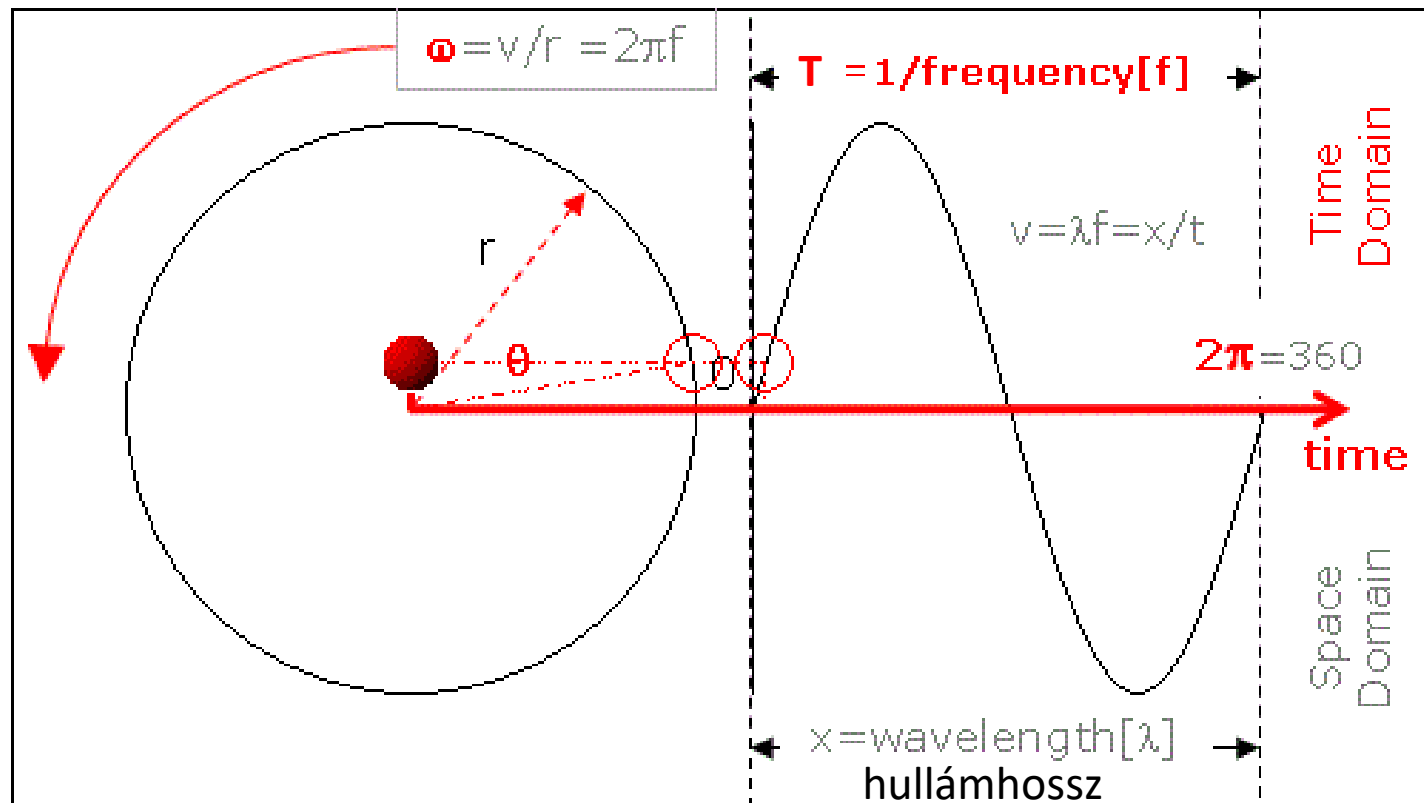
$$\phi(t)=\omega t+\phi_o$$



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

a hullám „v” sebességgel terjed, így minden pont mozgása, kitérése a helyének és az időnek a függvénye.

A **harmonikus mozgás** a legtöbbet használt eset:



A hullám-egyenlet egy kicsit komplikált alakú:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}.$$

valamely tulajdonság, pl kitérés értékének (itt “u”) időbeli (du/dt) és térbeli (du/dx) megváltozását vizsgáljuk, de a változás mértékének a változása is érdekes (d²u/d...²), ezeket pedig a terjedési sebesség (vagy fázissebesség) (itt “c”) köti össze.

A két változós u(x,t) függvényt keressük, amire a fenti igaz. A legegyszerűbb megoldás:

$$u(x,t) = A * \sin(k*x + \omega*t + \phi)$$

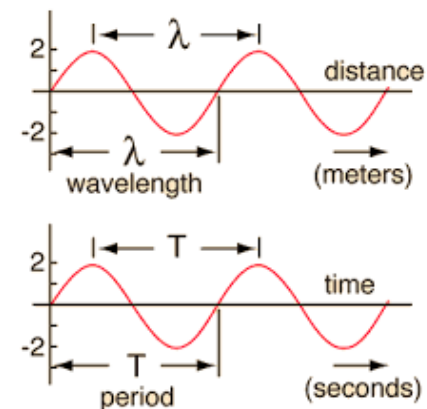
ahol

A az amplitúdó, k a hullámszám és ω a szögsebesség.

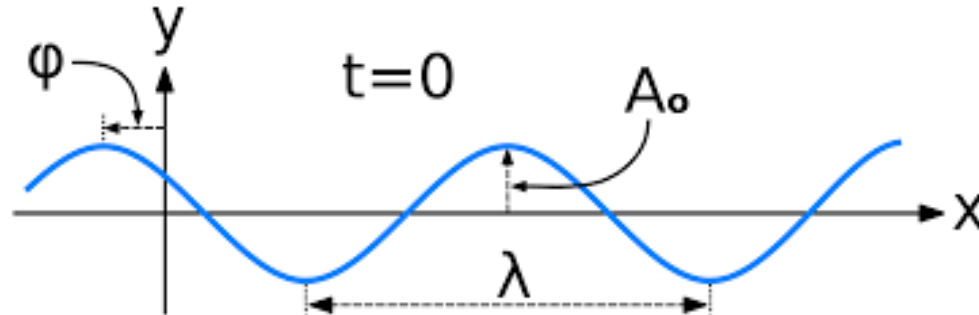
$\omega = 2\pi f$, és $f = 1/T$ [Hz], T a periódusidő.

$\omega = c*k$ adja meg a hullámszámot, azaz $k = 2\pi/\lambda$.

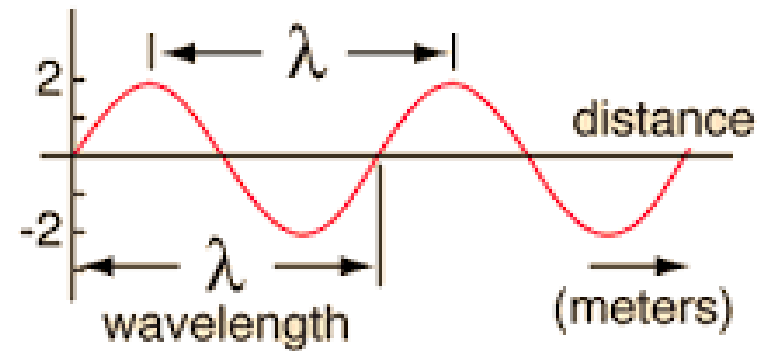
ahol λ a hullámhossz.



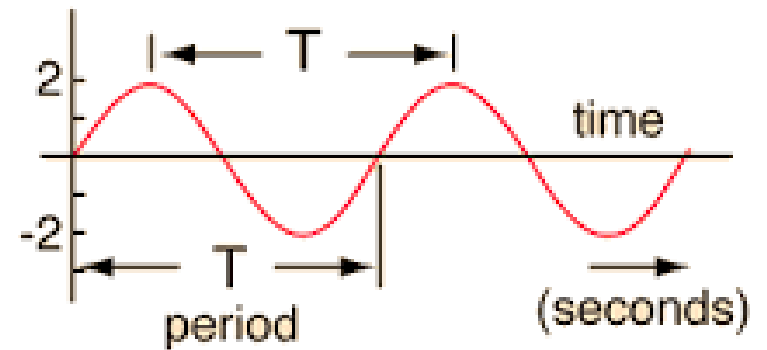
grafikusan



pillanatfelvétel



egy adott pontban az időbeli változás



Hullámfajták

- Keletkezés **mechanizmusa** szerint:

1. Mechanikai: rugalmas deformáció, rugalmas közegben terjed (pl. hang)
2. Elektromágneses: elektromos zavar, vákuumban (is) terjed (pl. fény)

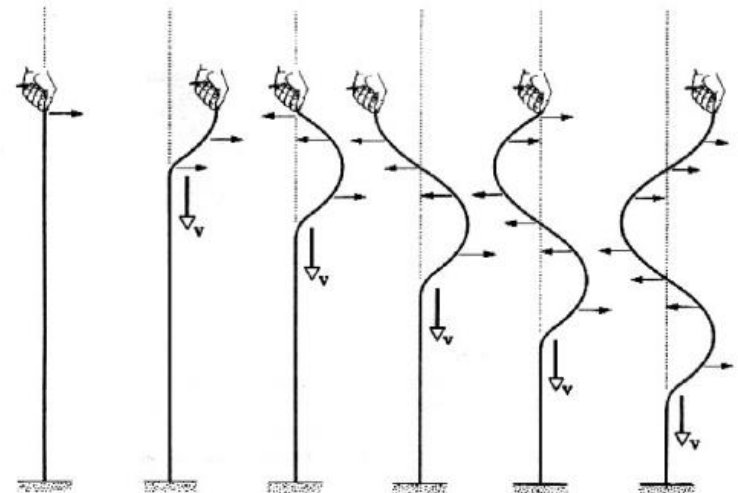
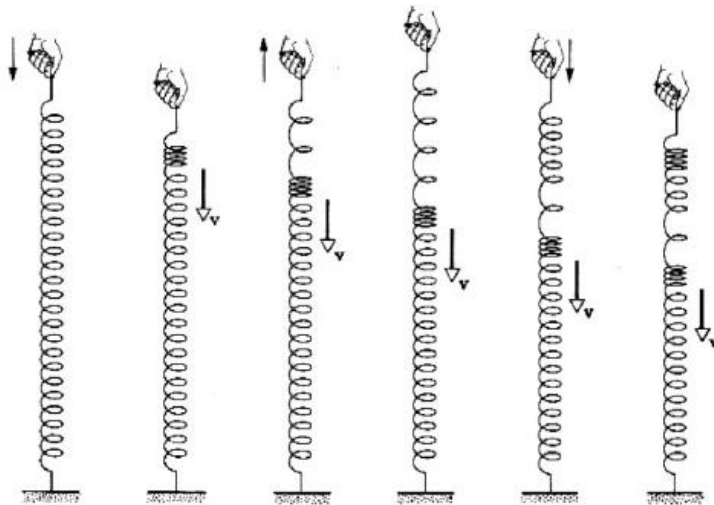
- Terjedés **dimenziója** szerint:

1. egydimenziós (pl. megpendített húr)
2. felületi hullámok (pl. síkhullám vízfelületen)
3. térbeli hullámok (pl. hang)

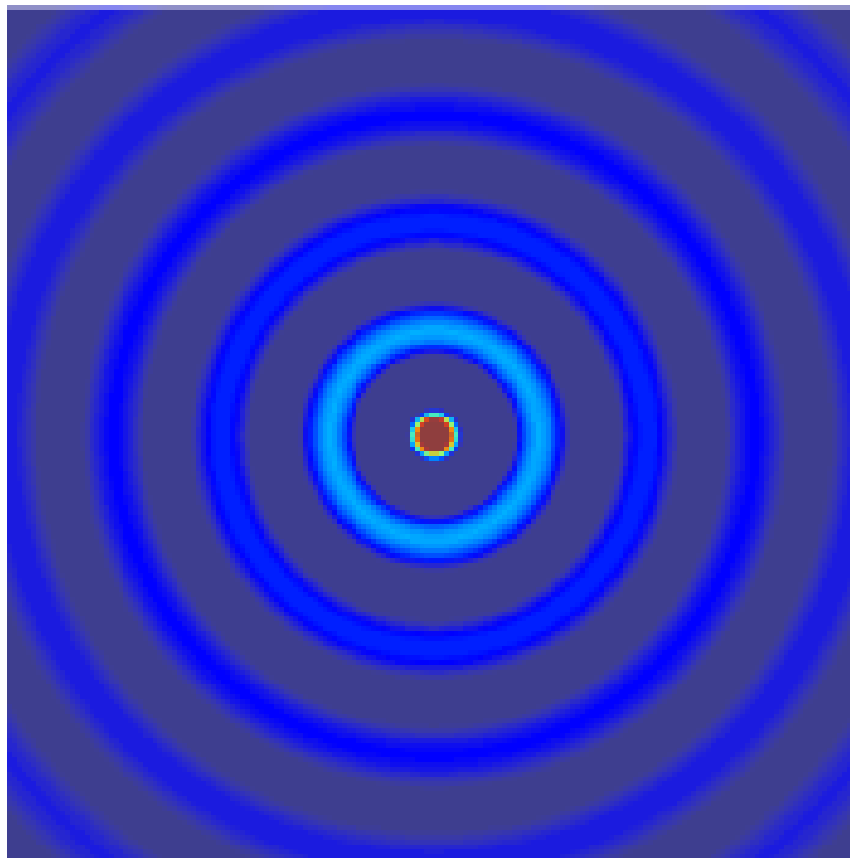


- A rezgés és terjedés relatív **irányai** szerint:

1. Longitudinális (pl. hang)
2. Transzverzális (pl. fény)

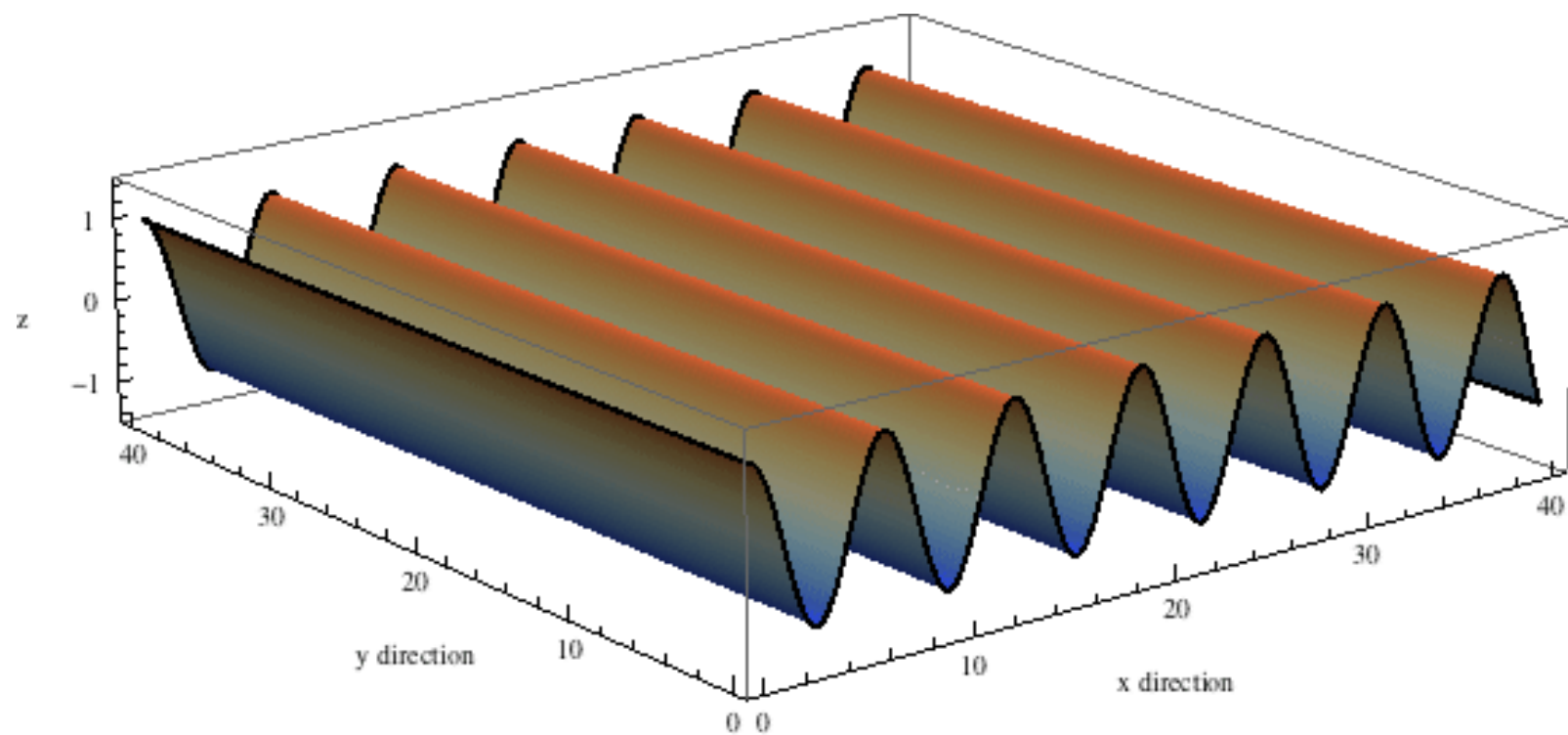


pontszerű hullámforrás, homogén közegben
(tehát mindenfele egyformán terjed)



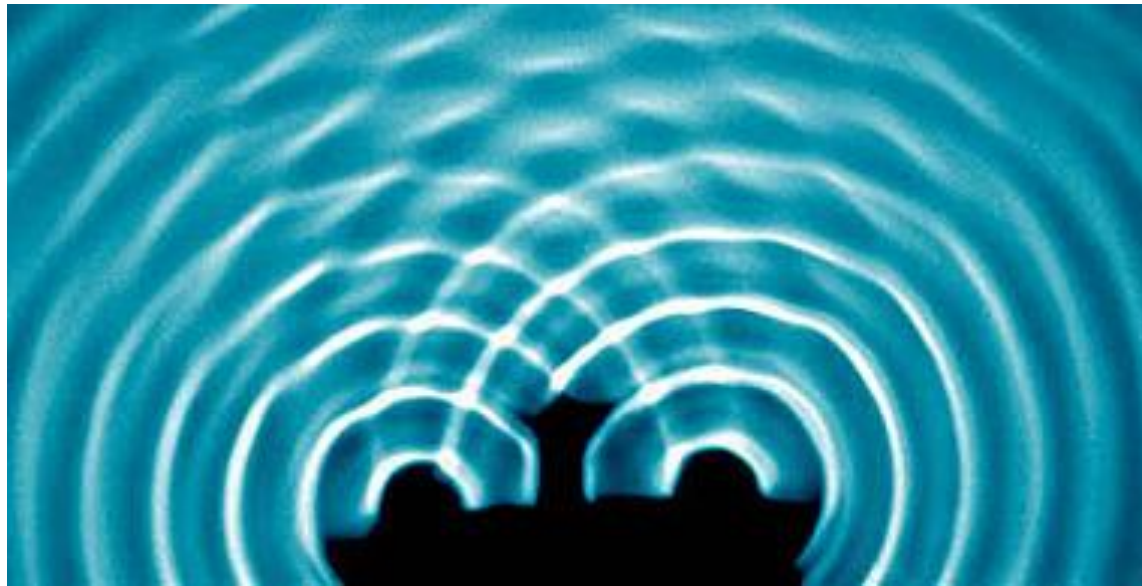
kör- vagy gömbhullám

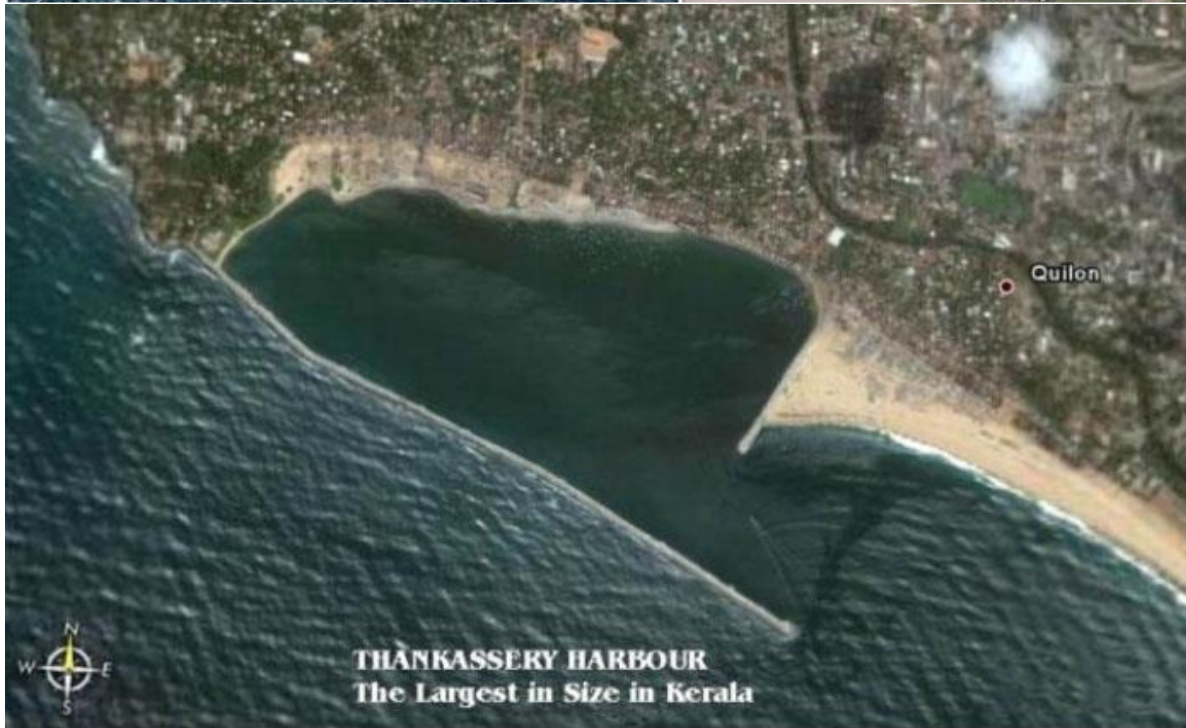
síkhullám



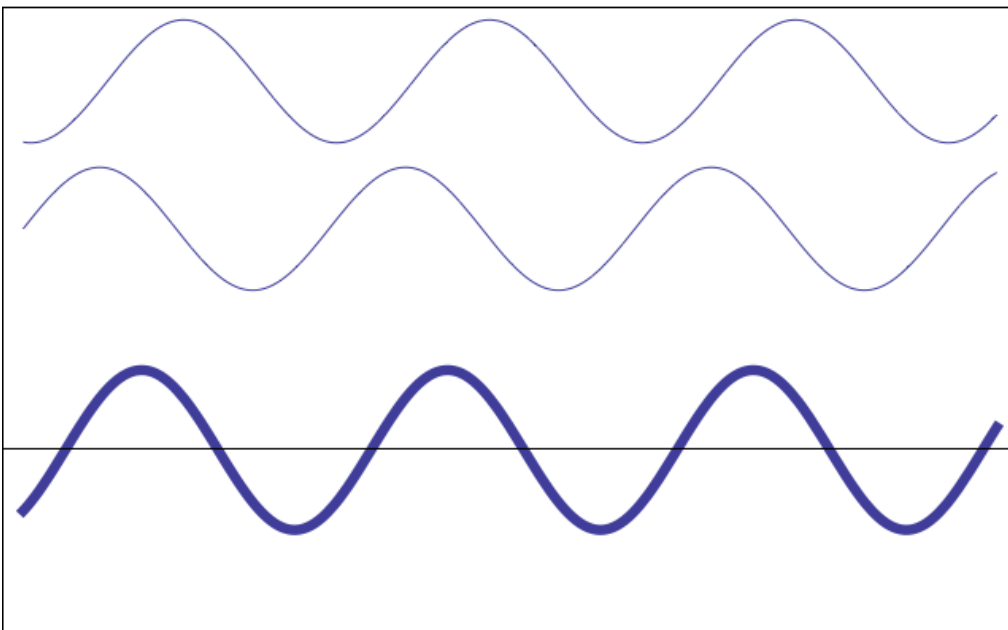
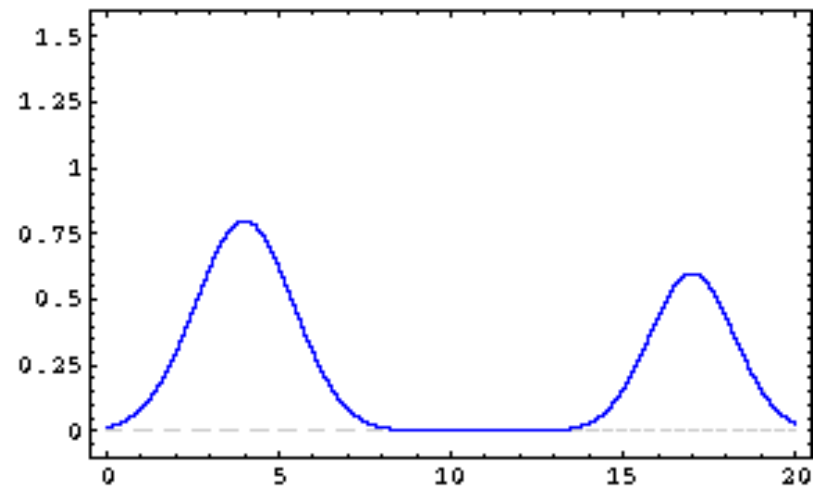
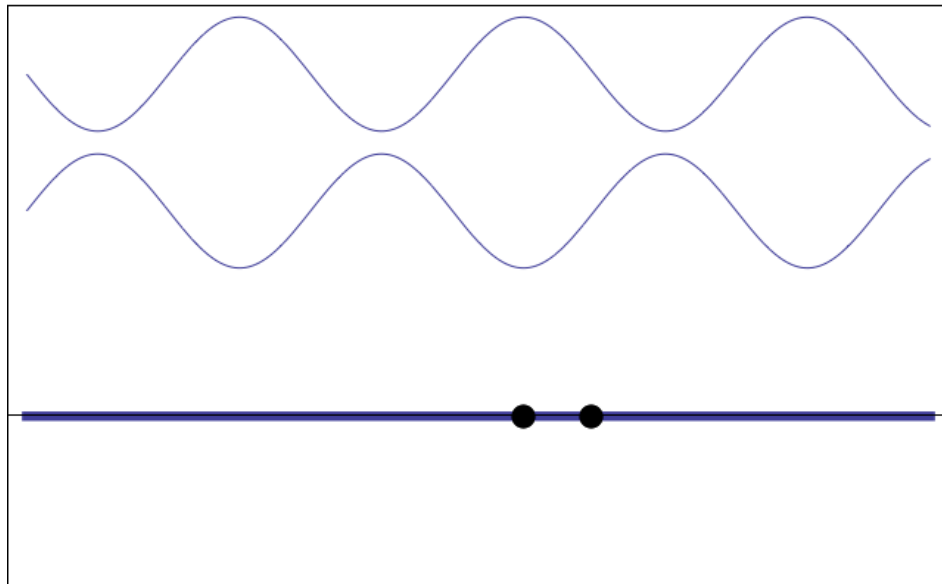
Hullámtermészetet bizonyító jelenségek:

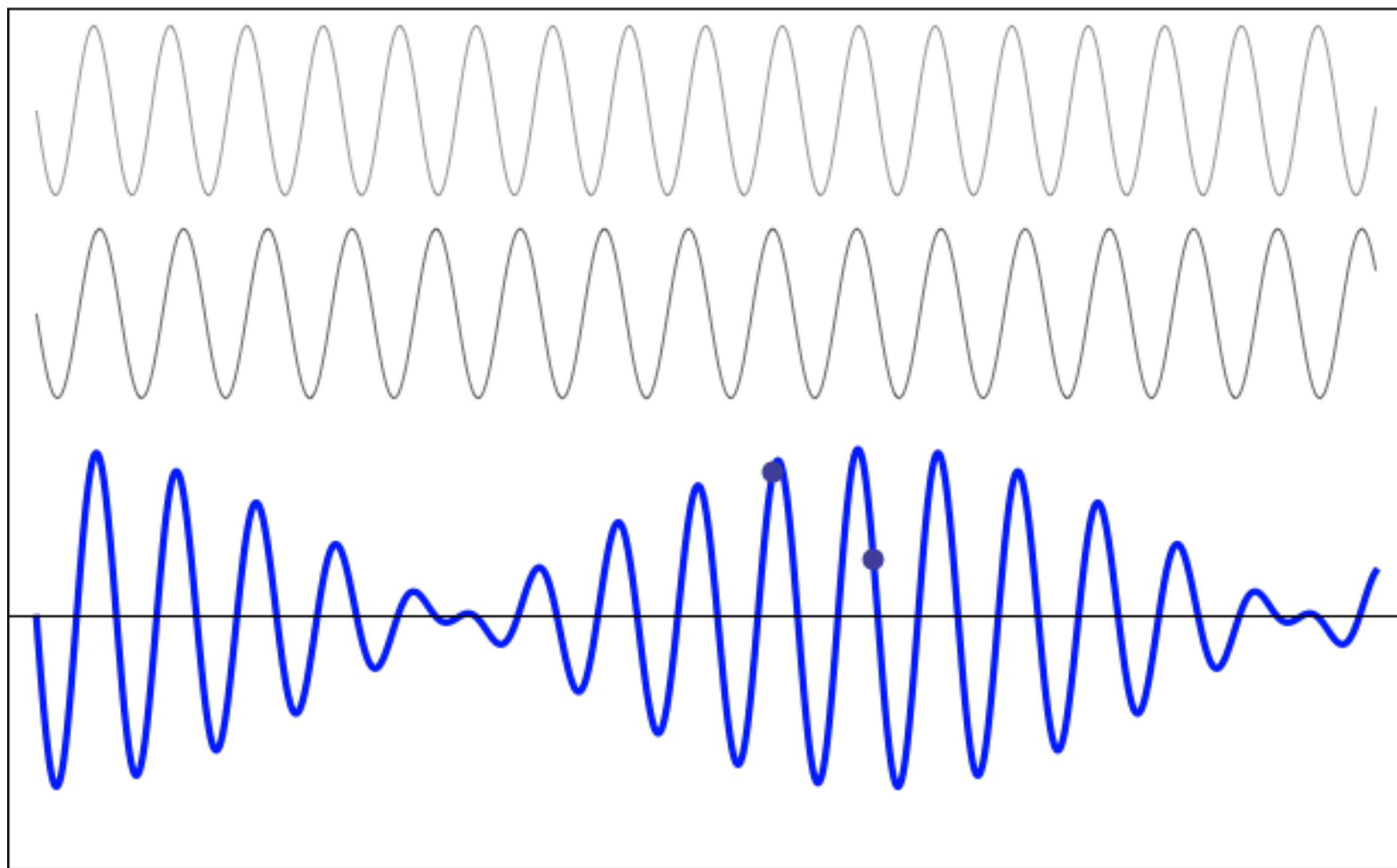
- elhajlás
- szuperpozíció/interferencia
- polarizáció





Diffrakció a vízen is előfordul...

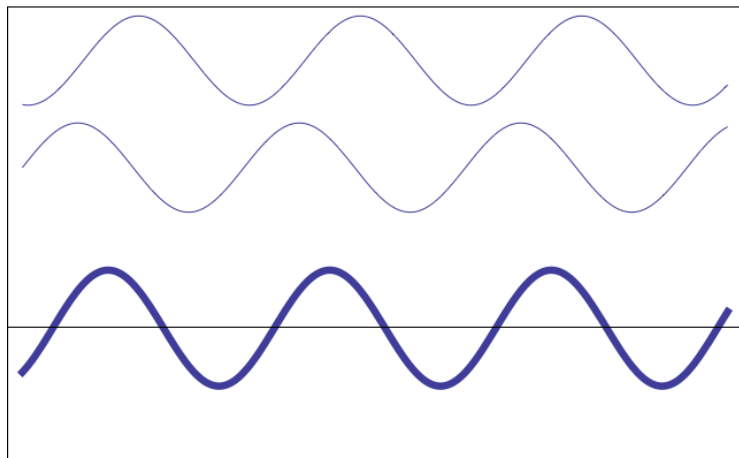
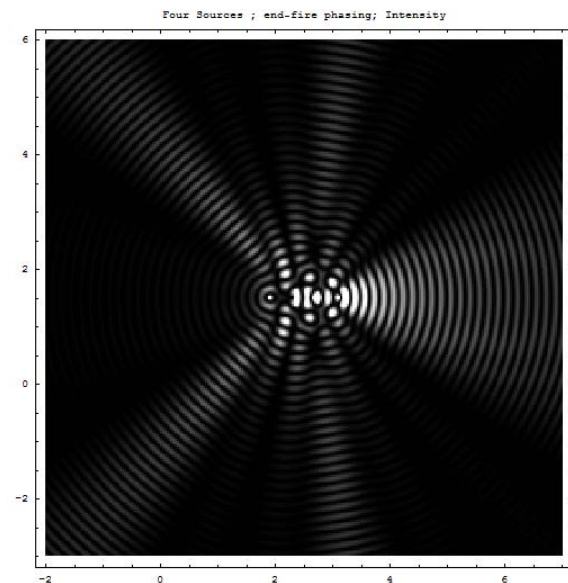
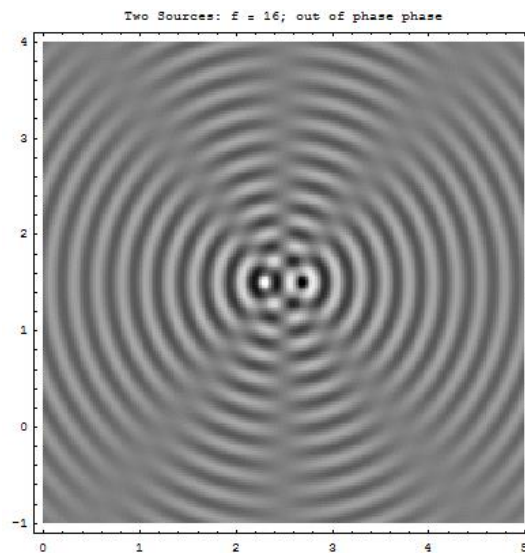
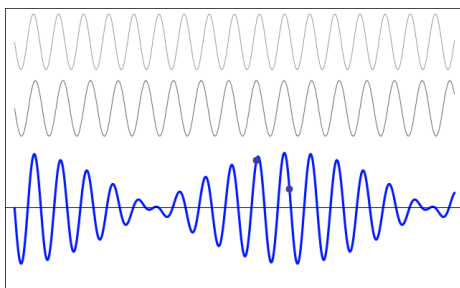
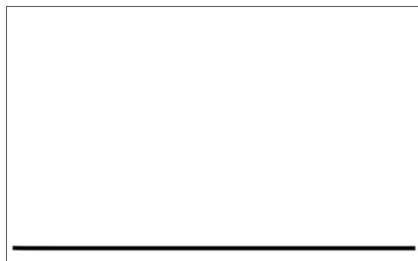




Hullámok szuperpozíciója: a „kitérés”ek amiket az egyes hullámok okoznak összeadódnak.

$$u(x,t) = A_1 * \sin(k_1 * x + \omega_1 * t + \phi_1) + A_2 * \sin(k_2 * x + \omega_2 * t + \phi_2) + \dots$$

kivéve ha extrém nagy amplitúdók vannak, akkor egyéb effektusok jelennek meg: nemlinearitás.

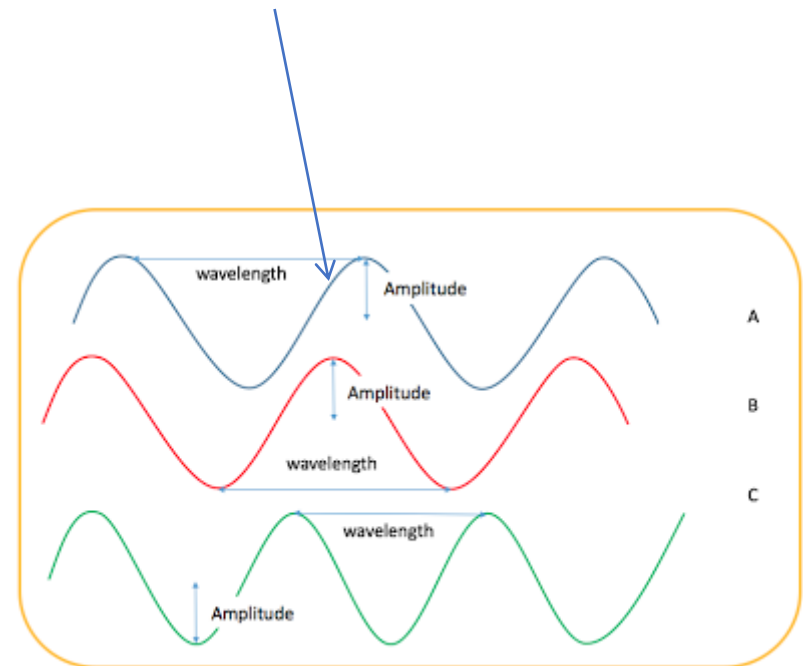
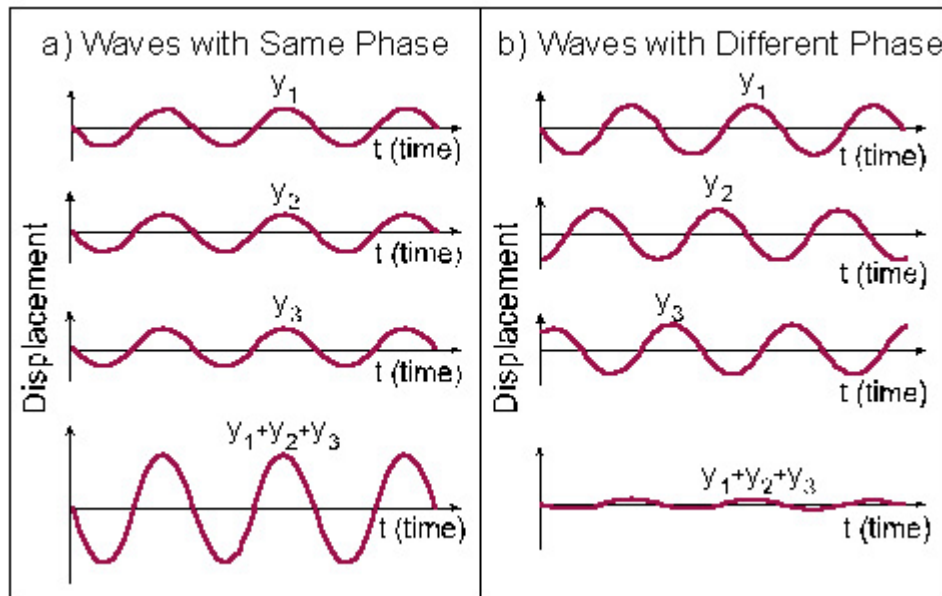


<https://www.acs.psu.edu/drussell/demos/superposition/superposition.html>



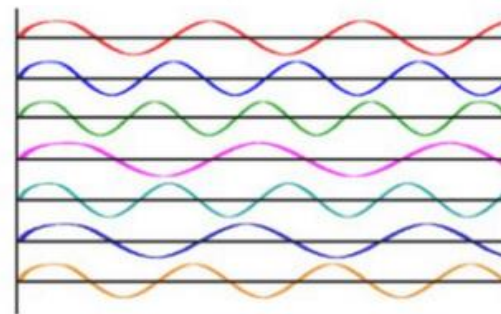
Koherens hullámok: az egyes hullámok közötti **fázis-eltérés** időben állandó.

koherens hullámok ki tudnak alakítani időben stabil mintázatot

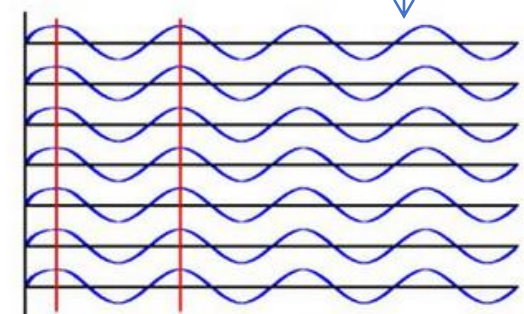


Konstruktív interferencia:
„maximum – maximummal”

Destruktív:
ellentétes fázisban találkoznak



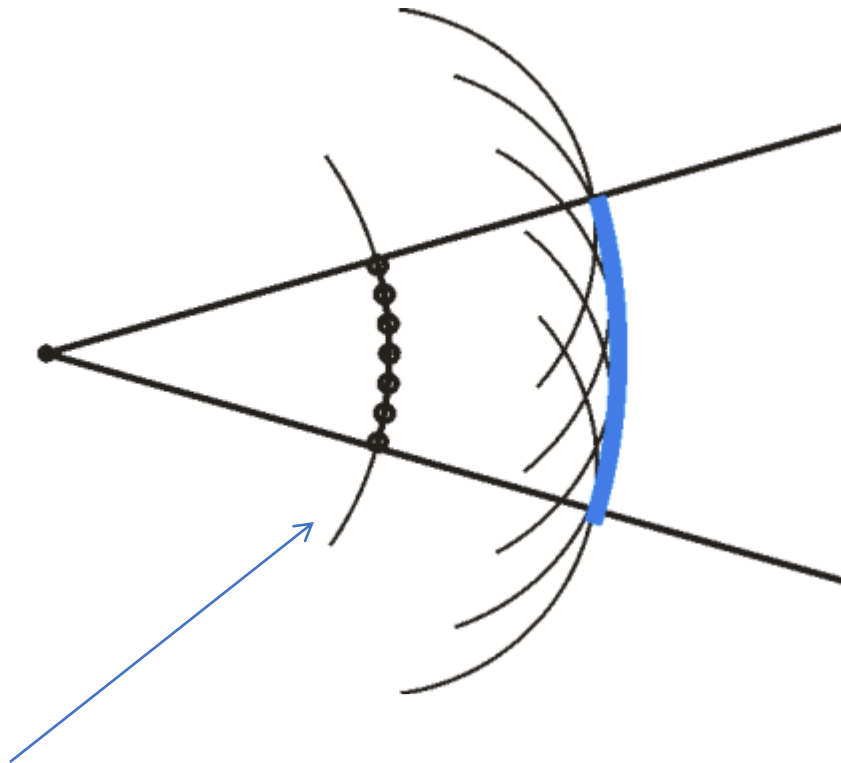
Incoherent light waves



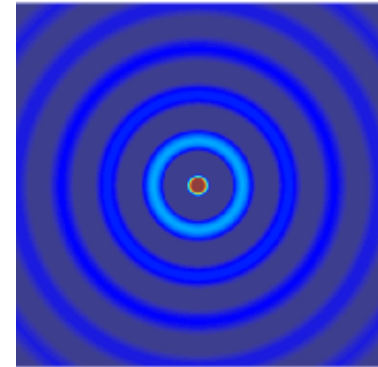
Coherent light waves

A Huygens-Fresnel elv

Minden hullámterjedés felbontható sok elemi gömbhullám összegére, melyek egymással interferálnak.



hullámfront: azonos fázisú pontok halmaza (pl a maximumok)

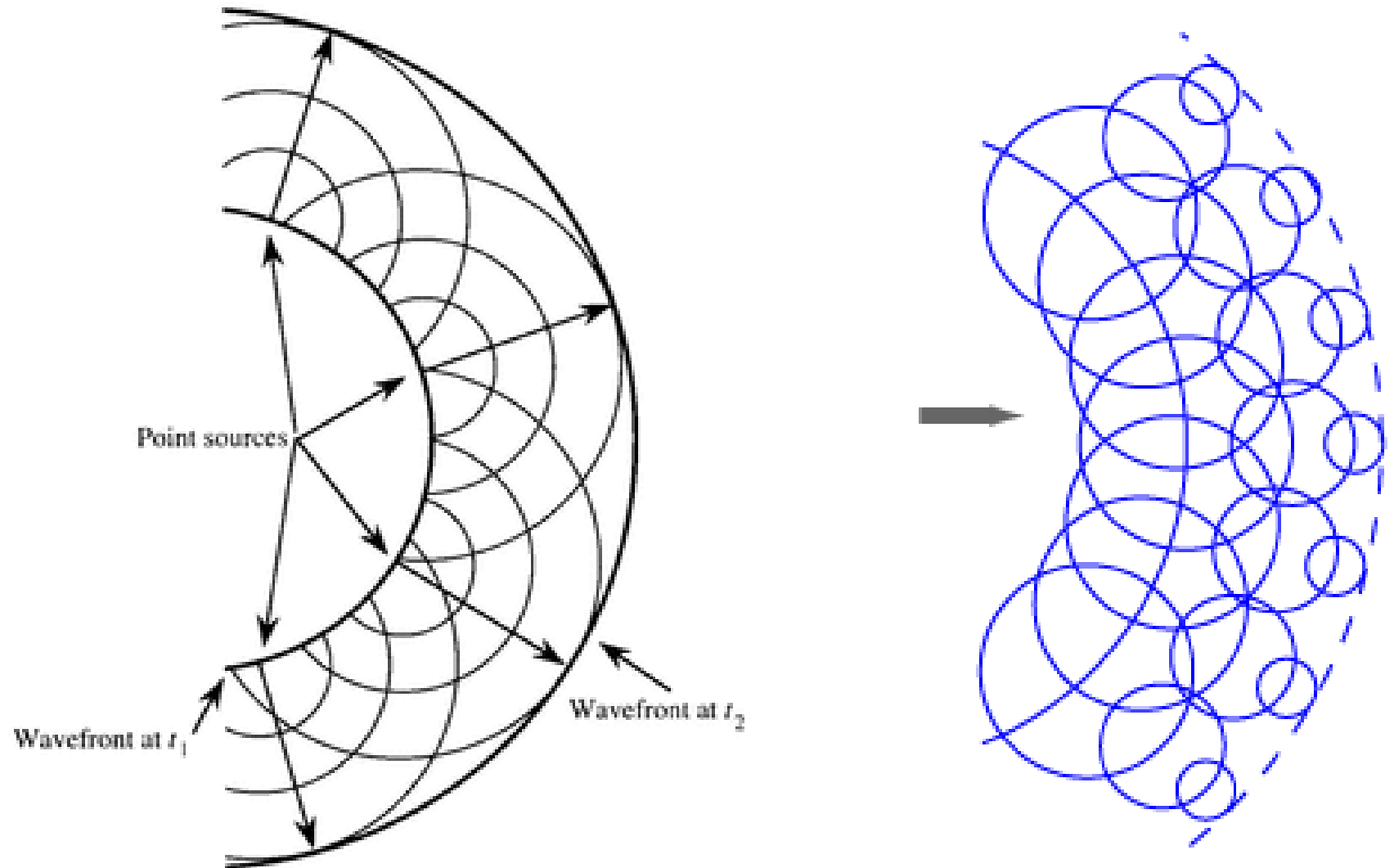


Christiaan Huygens
(1629-1695)



Augustin-Jean Fresnel
(1788-1827)

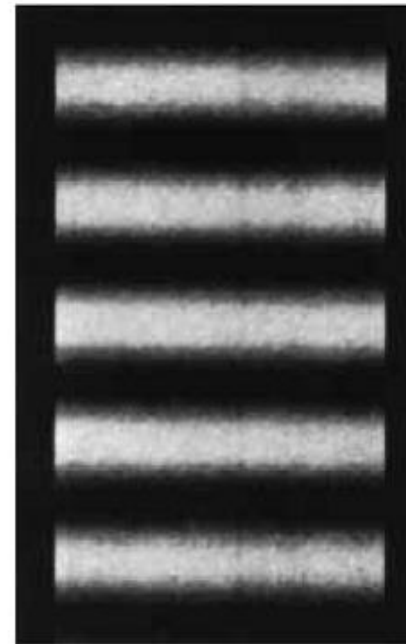
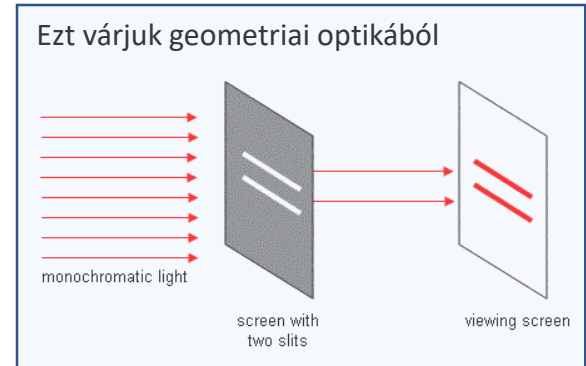
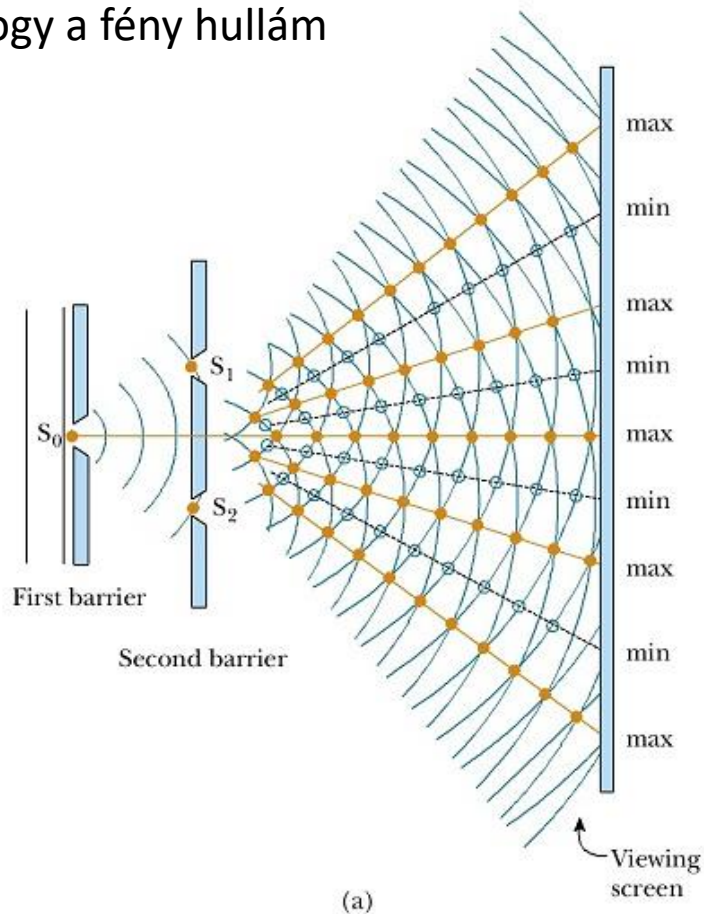
Huygens–Fresnel-elv



Kísérletek amiket csak a hullámtan magyaráz meg

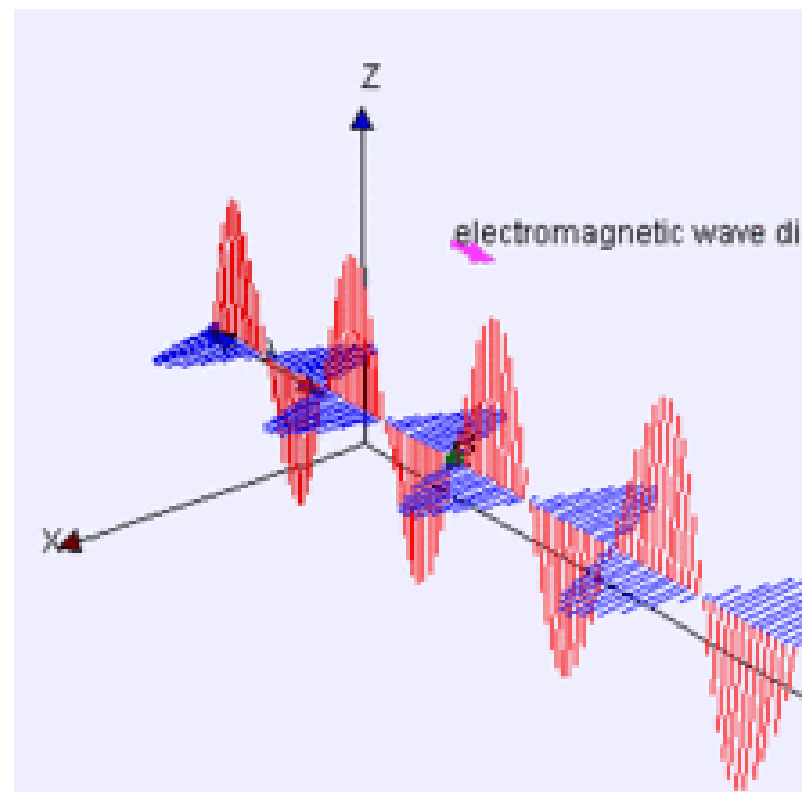
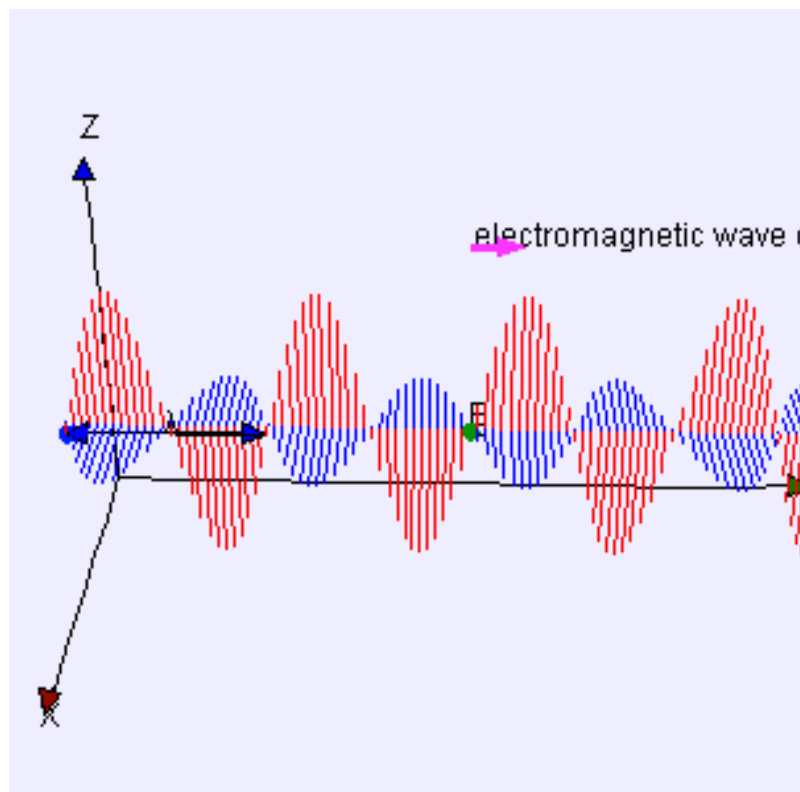
Young-féle két-réses kísérlet

ez bizonyítja hogy a fény hullám

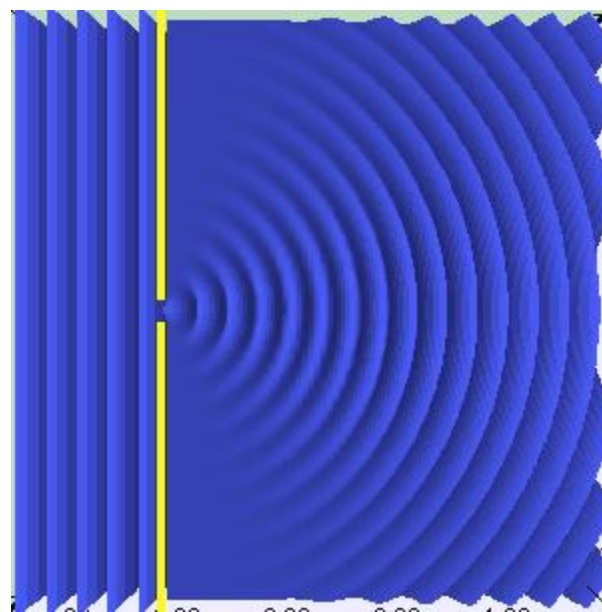
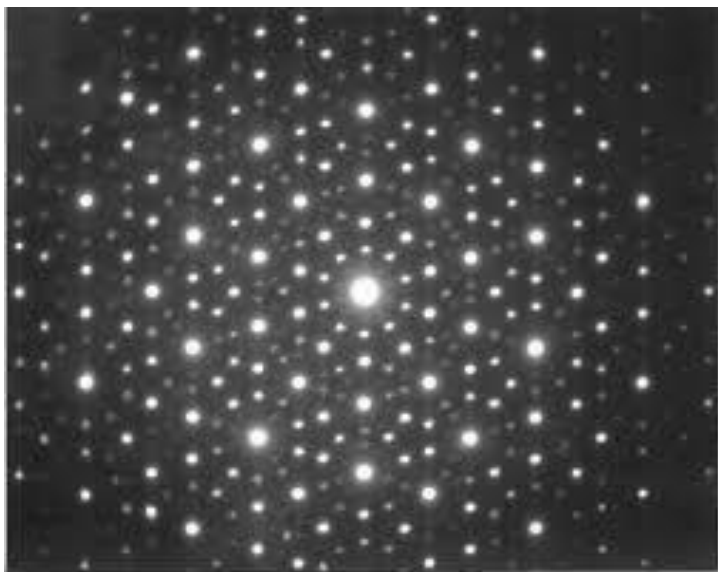
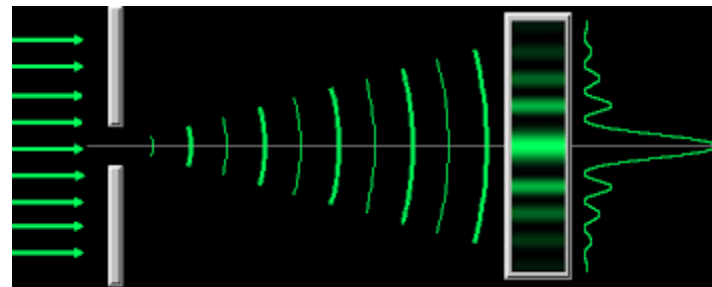
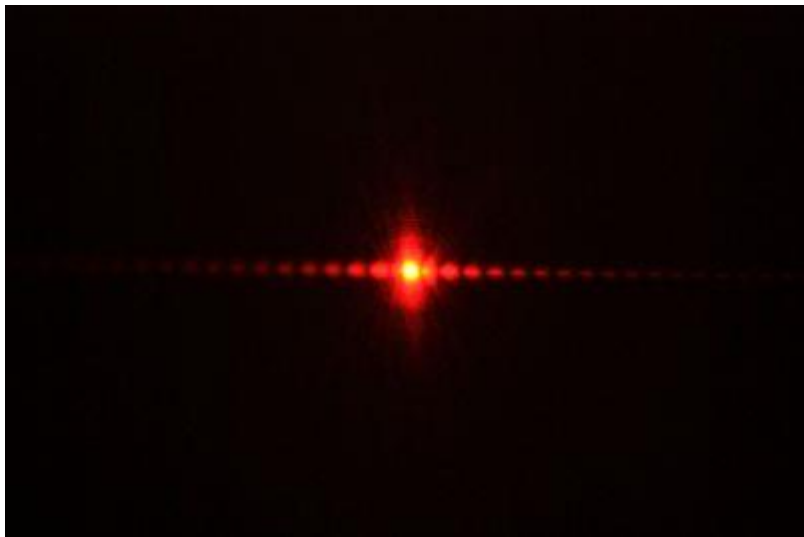


Thomas Young

Ráadásul két hullám együtt: elektromos tér (**E**) és mágneses tér (**B**) együttes hullámozása

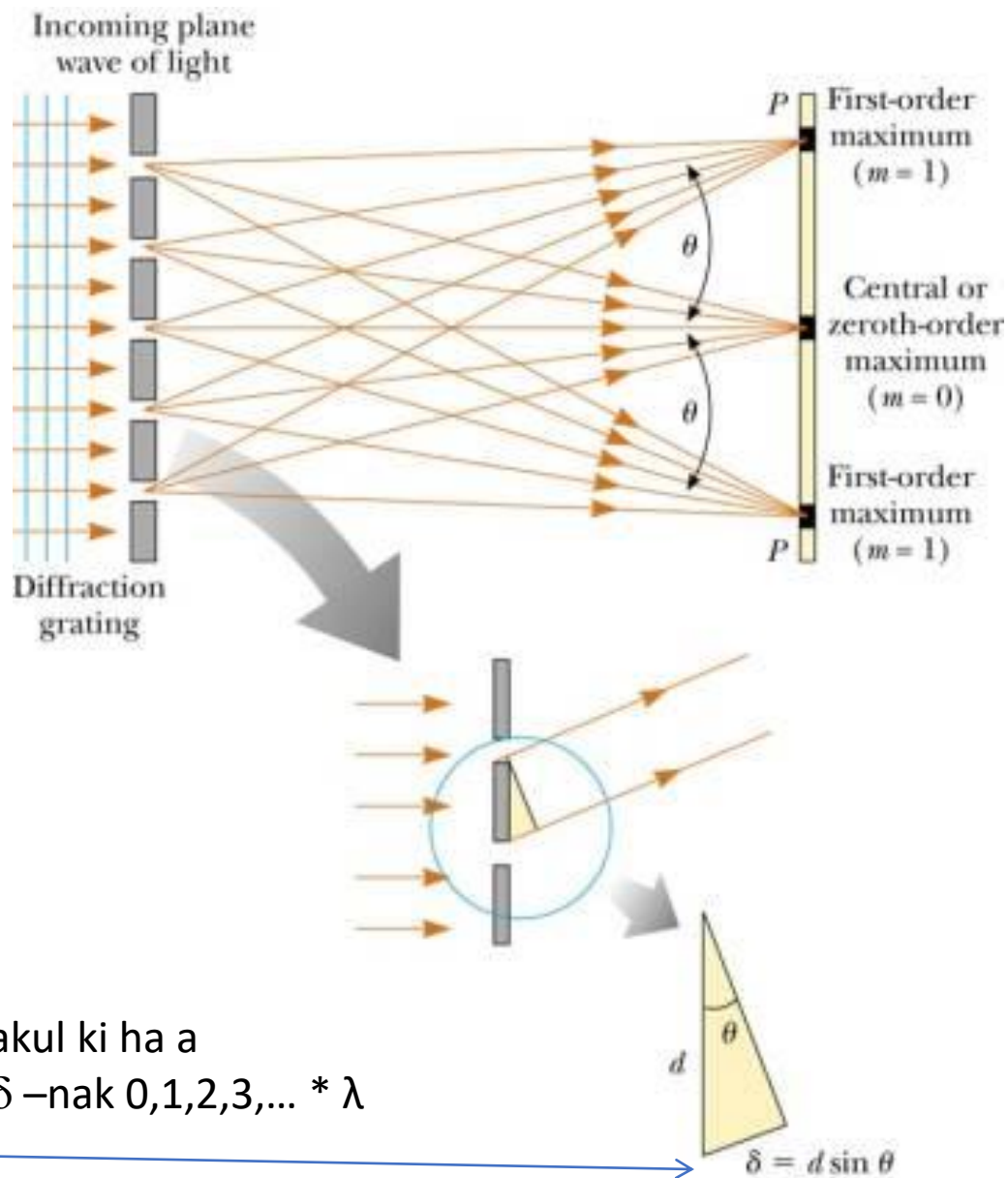


Diffrakciós mintázatok koherens fénnyel. (lézerekkel lehet jól látni)



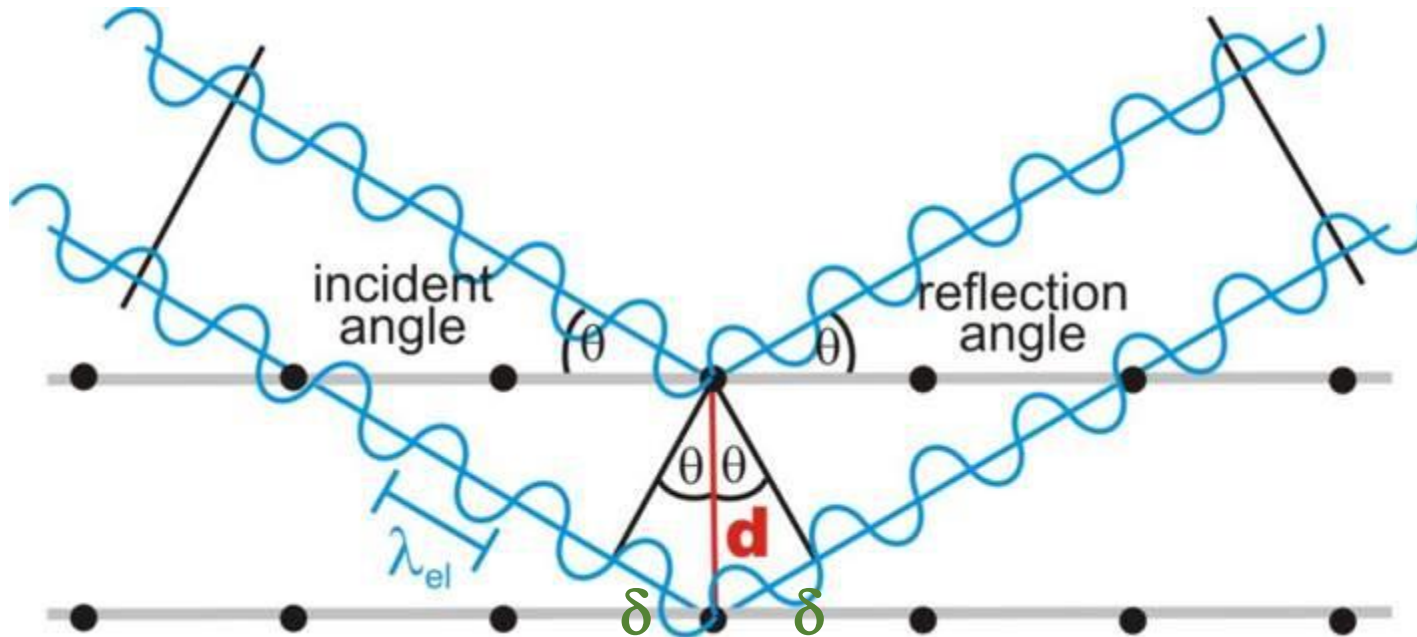
rtg diffrakció

Elhajlás optikai rácson:



Konstruktív interferencia akkor alakul ki ha a fáziseltérés $0, 1, 2, 3, \dots \cdot 2\pi$. Tehát δ -nak $0, 1, 2, 3, \dots \cdot \lambda$ nagyságúnak kell lennie.

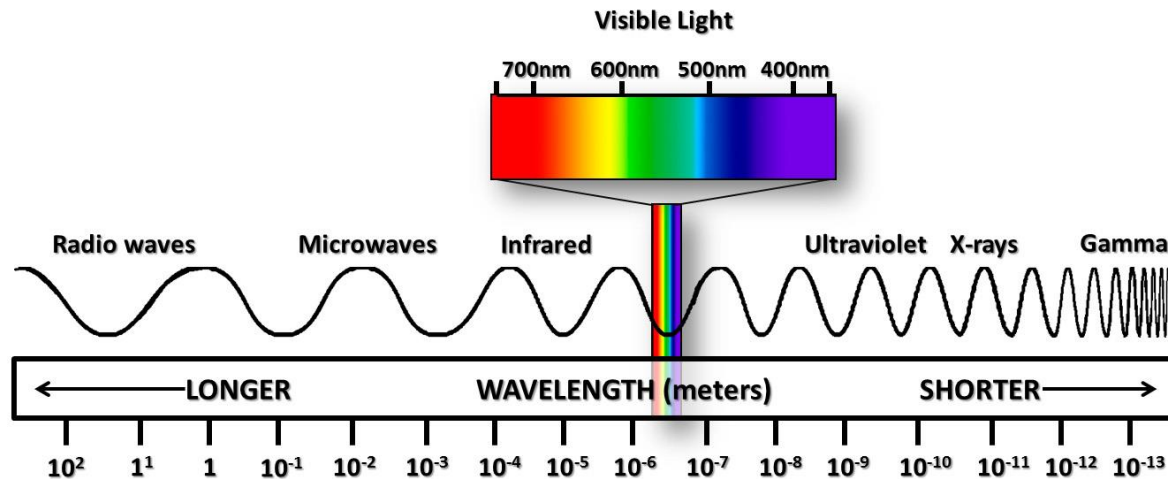
A reflexiós rácson az útkülönbség kétszer jelenik meg, így $2\delta = \lambda$
(vagy egész számú többszöröse)



Ha λ ismert, és a θ -t mérjük akkor d meghatározható -> röntgendiffrakciós szerkezetmeghatározás

Alkalmazás

az optikai rácscsal a fényt frekvenciák (hullámhossz) szerint fel lehet bontani



The Electromagnetic Spectrum

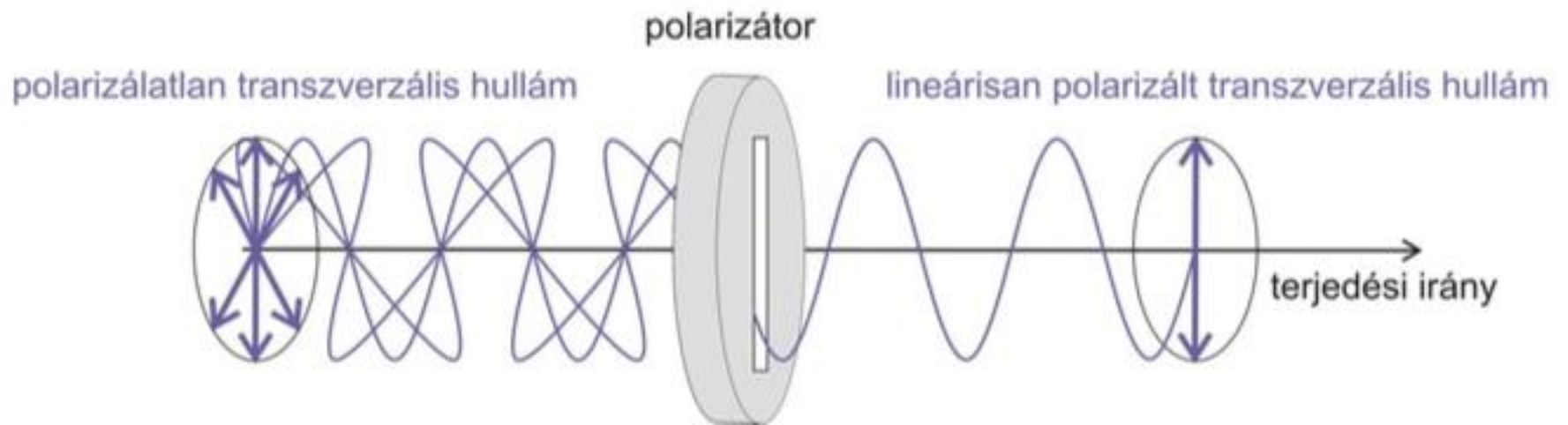
Wavelength in meters



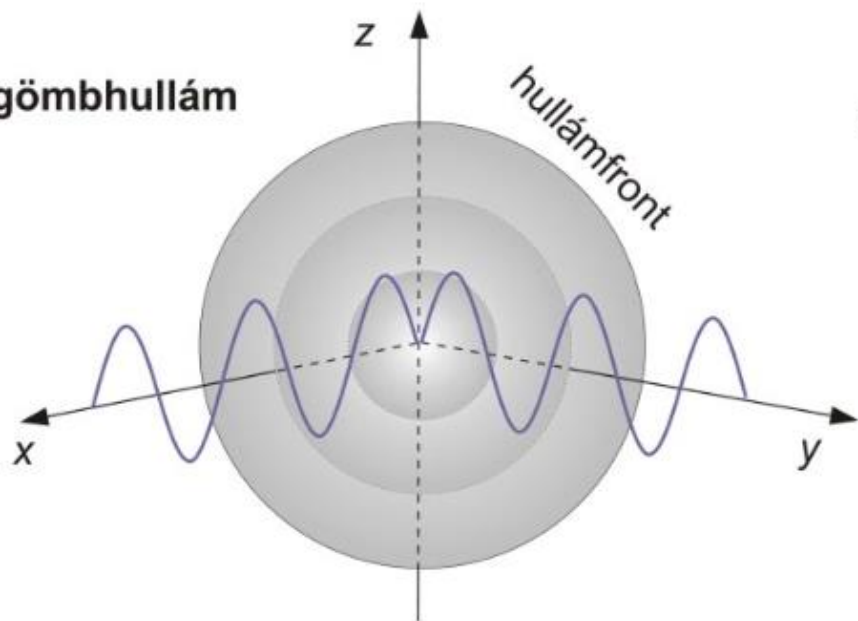
About the size of:



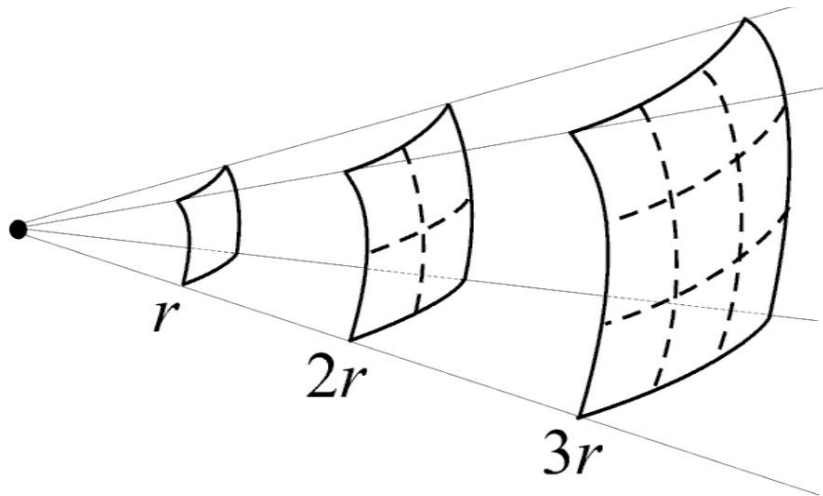
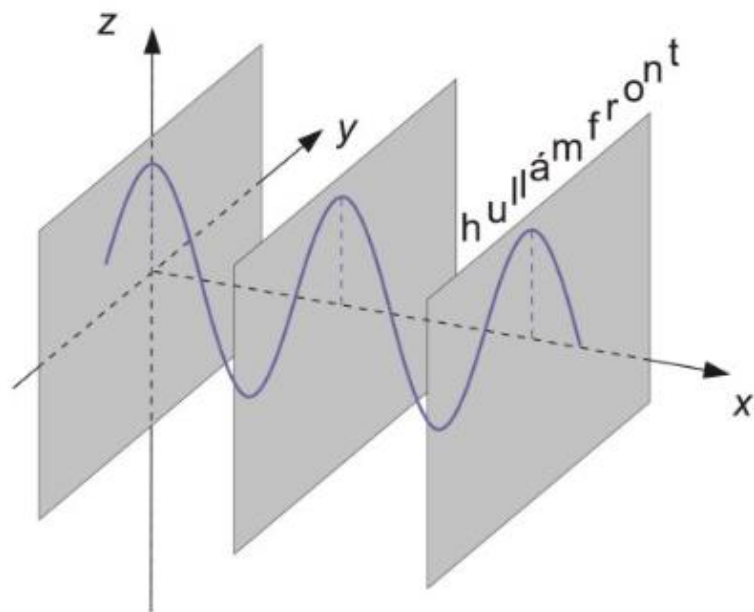
Polarizáció



gömbhullám



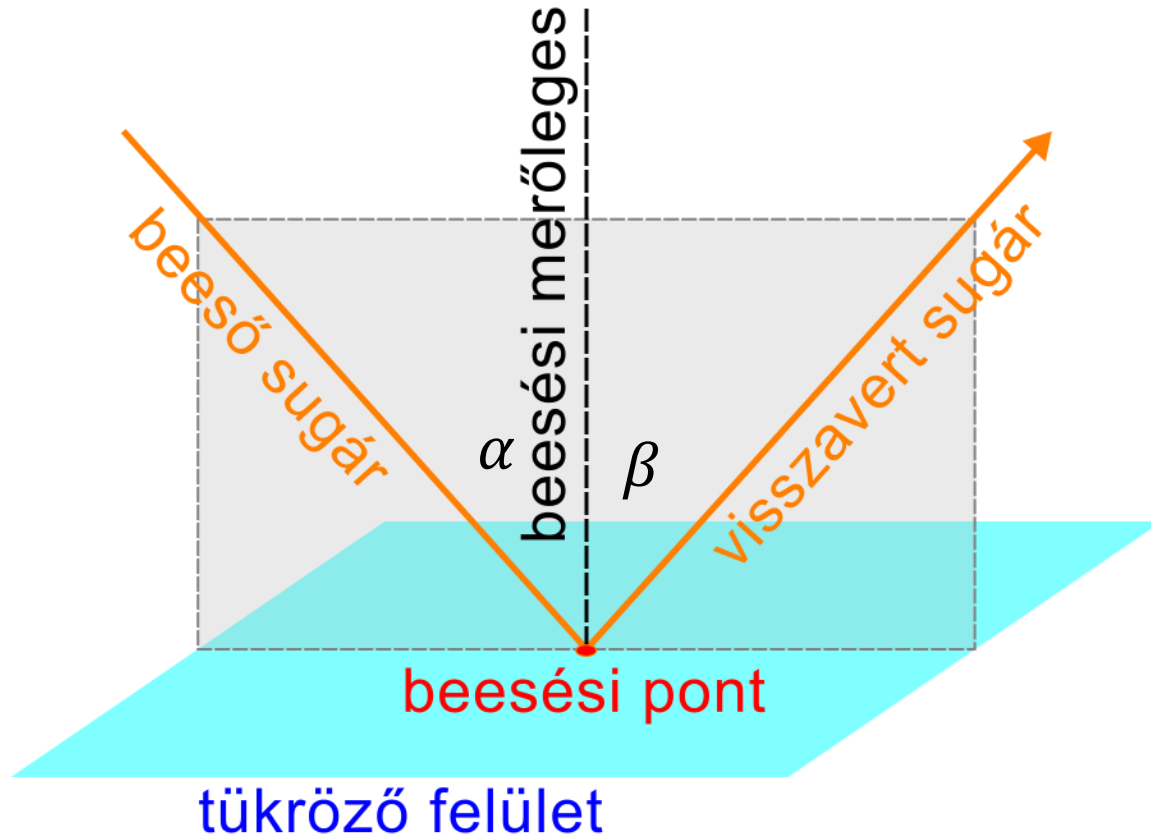
síkhullám



$\frac{\Delta E}{\Delta A}$ forrástól távolodva
csökken

$\frac{\Delta E}{\Delta A}$ forrástól távolodva
állandó marad

Reflexió



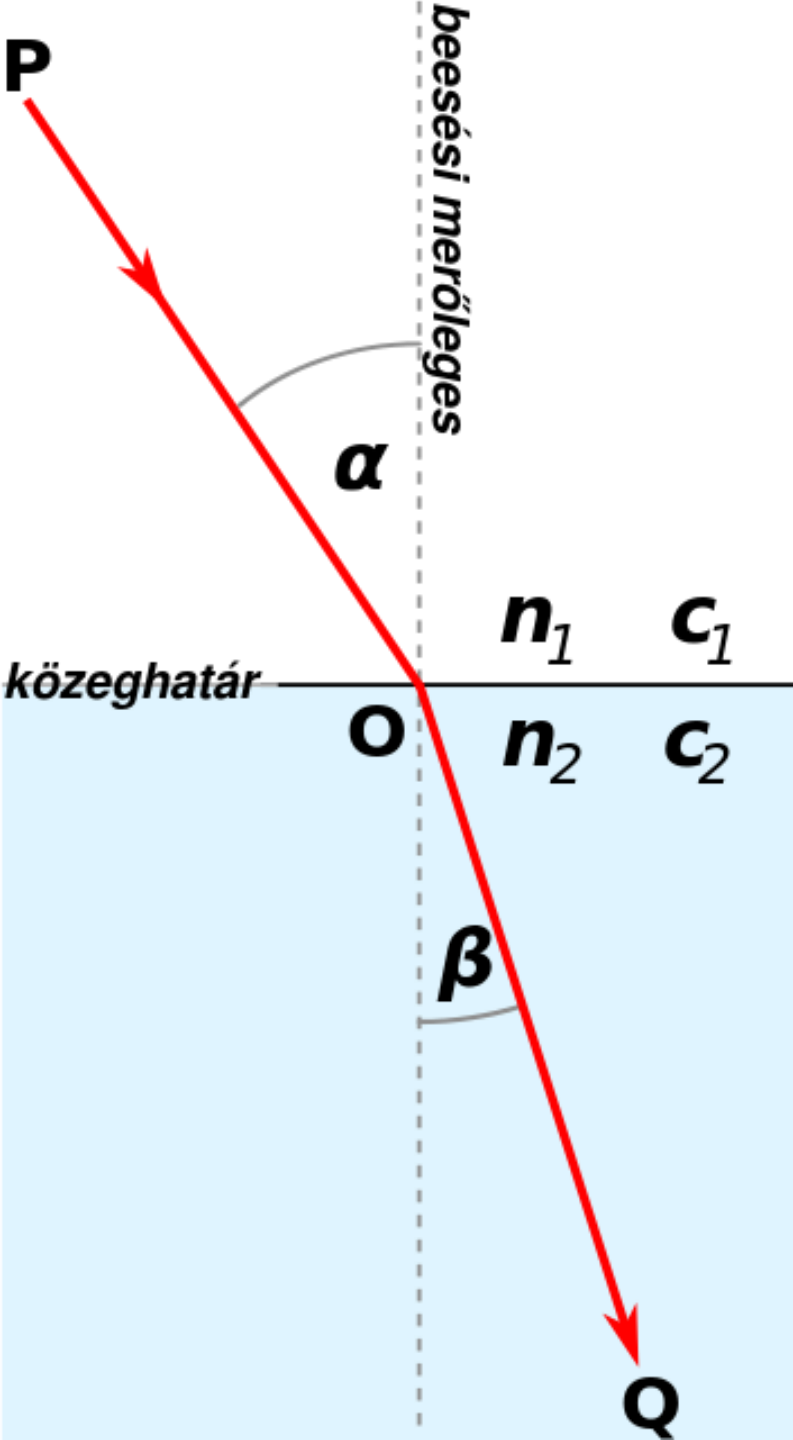
$$\alpha = \beta$$



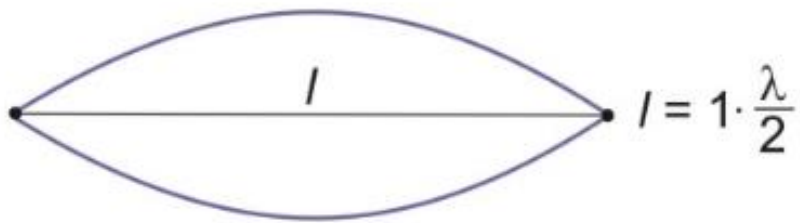
Fénytörés

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

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2}$$

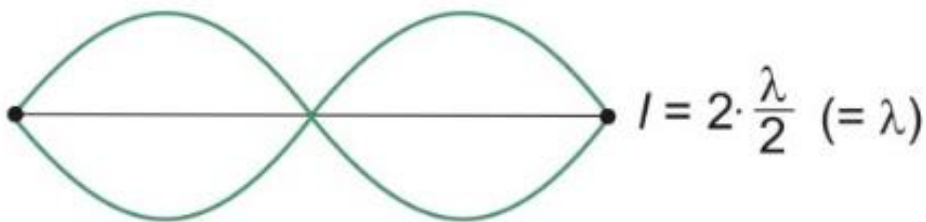


alapharmonikus

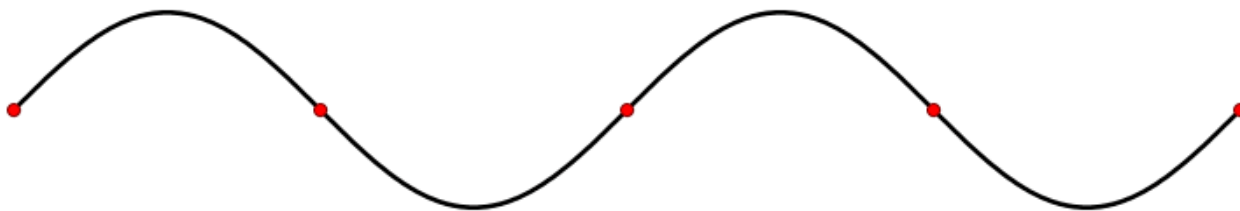


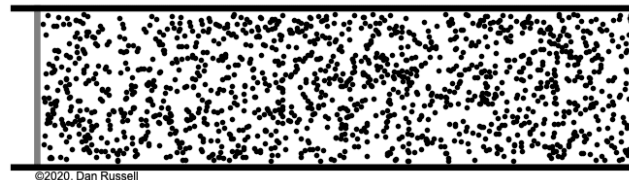
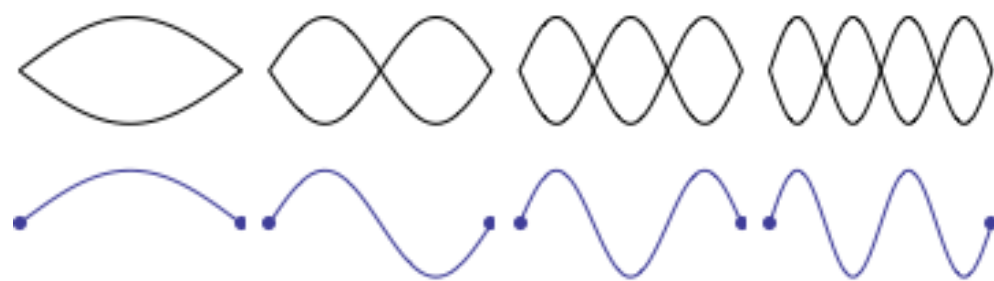
Állóhullámok

felharmonikusok



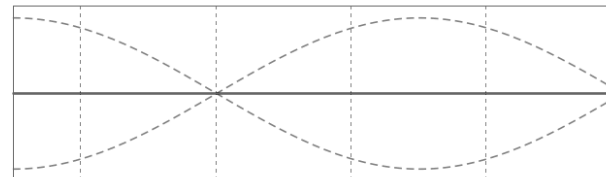
$$l = k \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (k = 1, 2, 3, \dots)$$



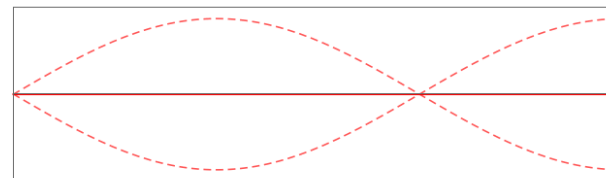


©2020, Dan Russell

Longitudinal Displacement



Pressure

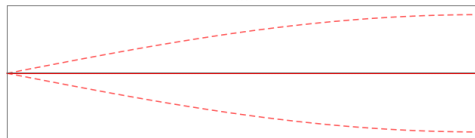


©2020, Dan Russell

Longitudinal Displacement

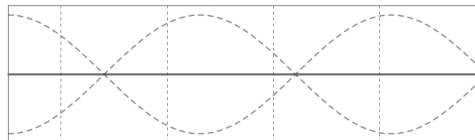


Pressure

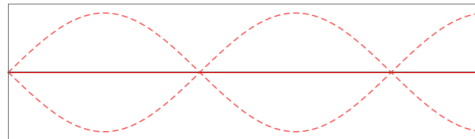


©2020, Dan Russell

Longitudinal Displacement

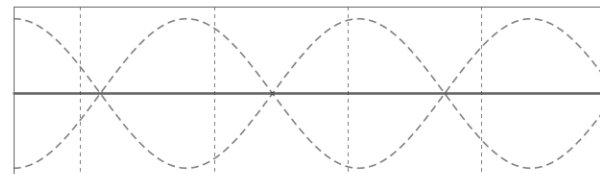


Pressure

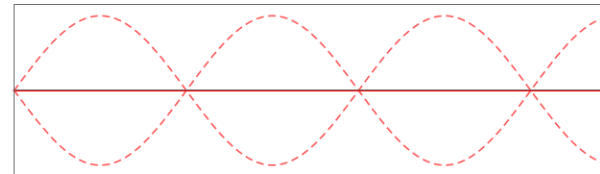


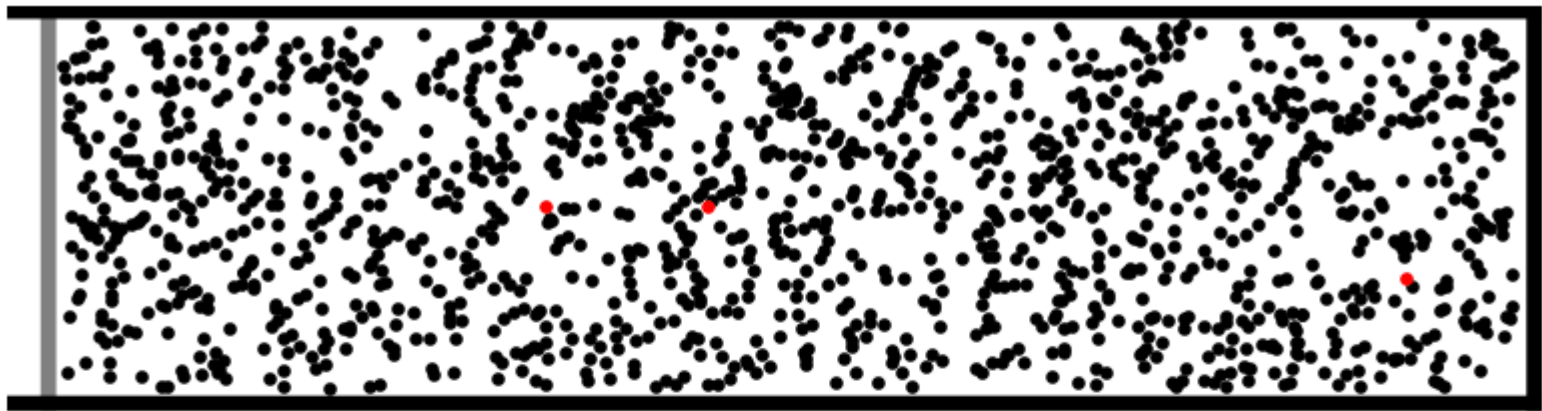
©2020, Dan Russell

Longitudinal Displacement

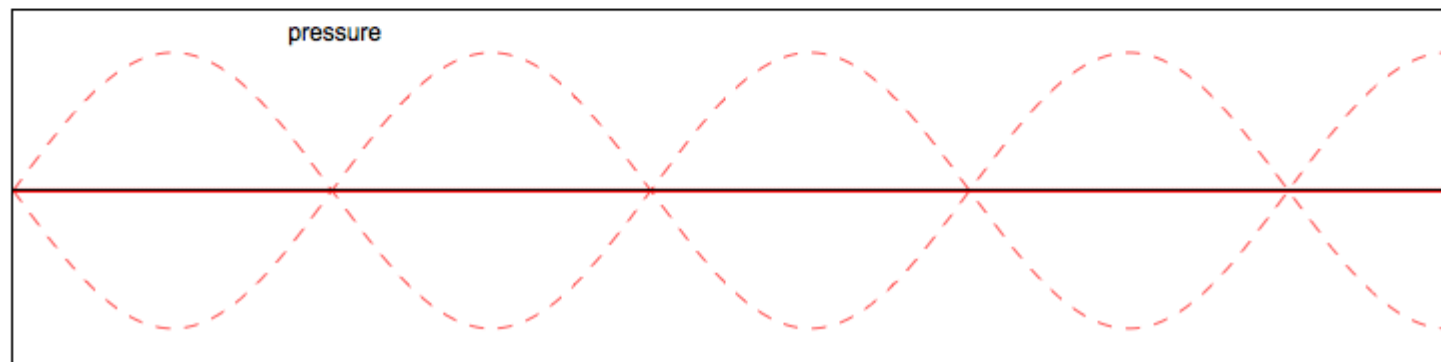
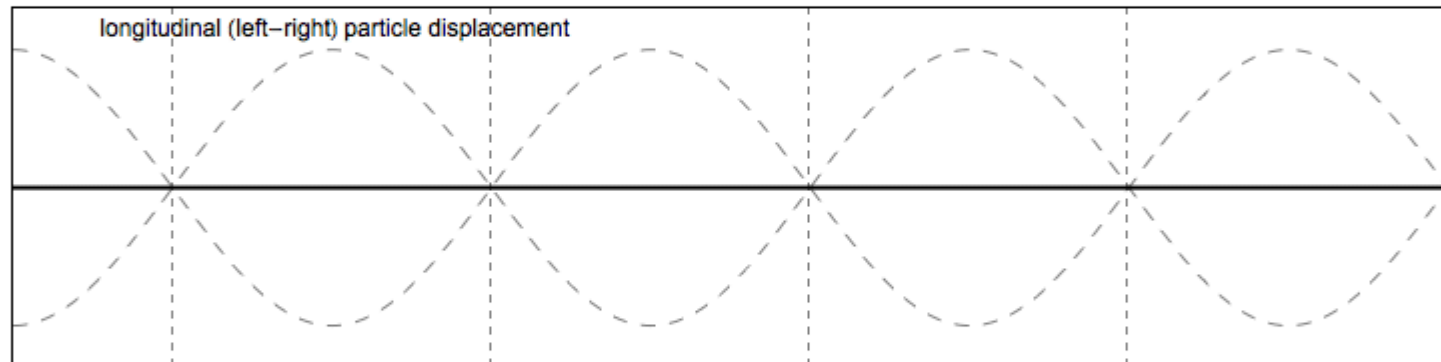


Pressure





©2012, Dan Russell



Hanghullámok



Hangtartományok

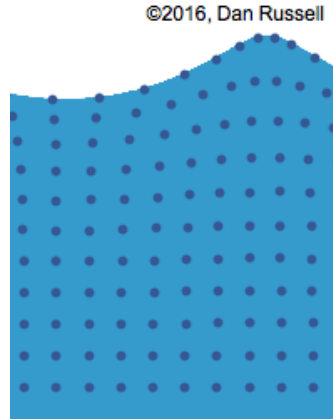
Hangtartományok	infrahang	hallható hang	ultrahang	hiperhang
frekvenciaértékek (Hz)	< 20	$20\text{--}20\,000$	$20\,000\text{--}10^9$	$10^9 <$

Hang terjedési sebessége néhány közegben

közeg	c_{hang} (m/s)
levegő (0°C, 101 kPa)	330
hélium gáz (0°C, 101 kPa)	965
víz (20°C)	1483
zsírszövet	1470
izomszövet	1568
csontszövet (kompakt)	3600
vas	5950

Feladatok: 8/4 és 8/10

4. Víz hullámok futnak $1,5 \text{ m/s}$ sebességgel a part felé. Hat méter két hullámhegy távolsága. Távolabb a parttól egy fadarab úszik a víz felszínén. Hány másodpercenként látja felbukkanni a fát a parton álló megfigyelő?

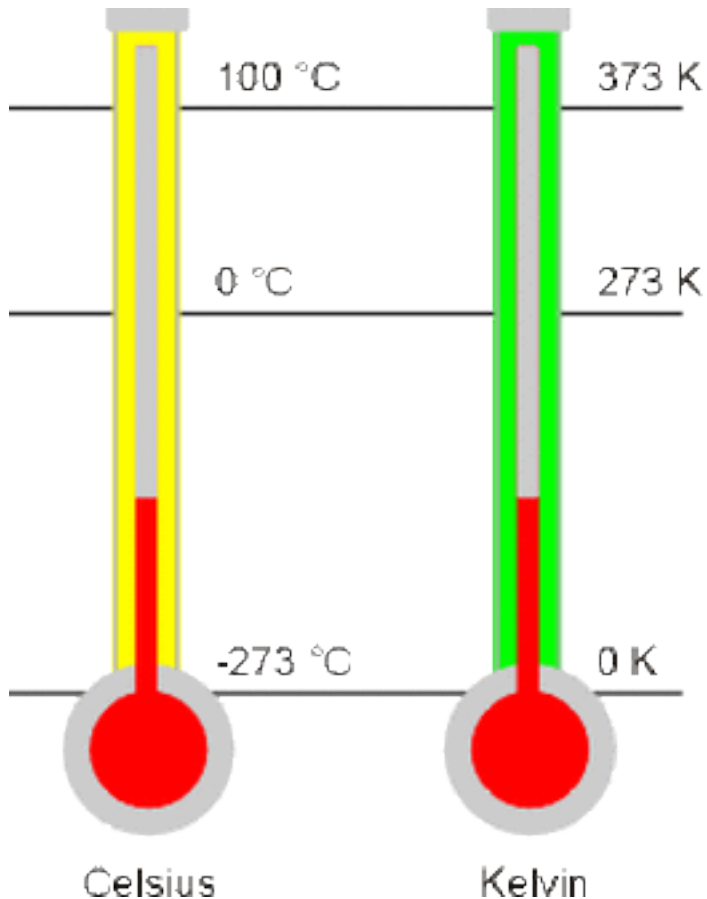


10. Hanghullám érkezik levegőből (0°C) egy vízfelületre (20°C). Beesési szöge 10° . Mekkora a törési szög?

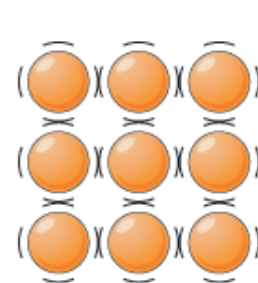
Hang terjedési sebessége néhány közegben

közeg	$c_{\text{hang}} \text{ (m/s)}$
levegő (0°C , 101 kPa)	330
hélium gáz (0°C , 101 kPa)	965
víz (20°C)	1483
zsírszövet	1470
izomszövet	1568
csontszövet (kompakt)	3600
vas	5950

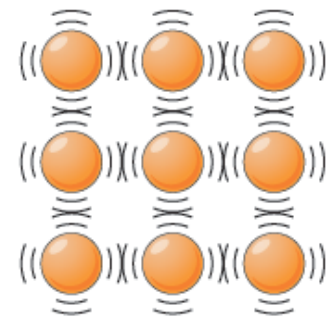
Hőtan (Termodinamika)



$$\frac{T}{K} = \frac{t}{^{\circ}\text{C}} + 273 \quad \text{és} \quad \frac{t}{^{\circ}\text{C}} = \frac{T}{K} - 273.$$



Cold



Hot

Hőkapacitás (C) és fajlagos hőkapacitás (c)

$$C = \frac{Q}{\Delta T} = \left[\frac{J}{K} \right]$$

$$c = \frac{C}{m} = \left[\frac{J}{kg \cdot K} \right]$$

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

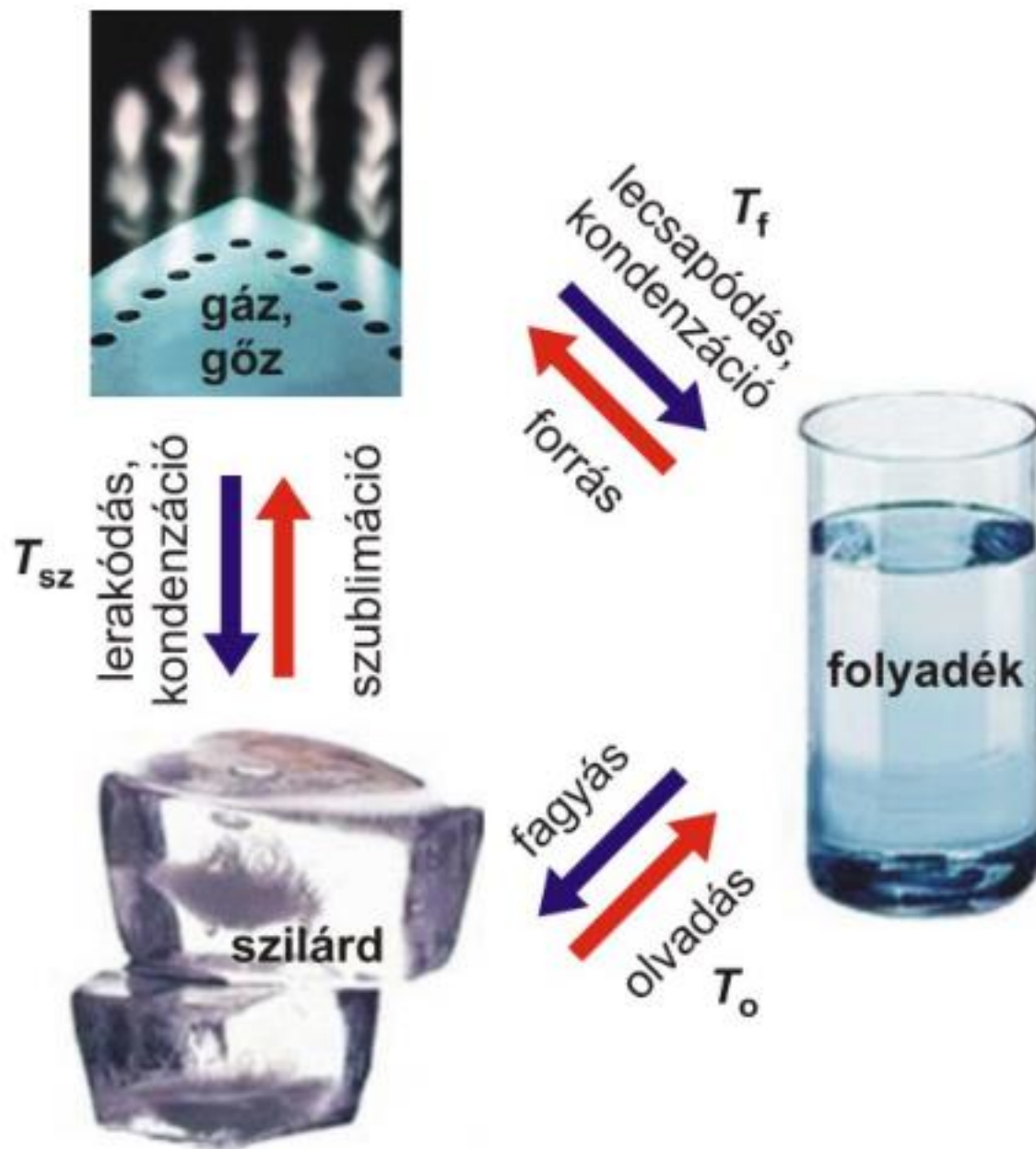
Néhány anyag fajlagos hőkapacitása

anyag	c (J/(kg·K))
ezüst	234
üveg	840
víz	4180
testszövet (átlagérték)	3500

Halmazállapot változások

Fázisátalakulási hő

$$L = \frac{Q}{m} = \left[\frac{J}{kg} \right]$$



Gáztörvények

Boyle-Mariotte tv.

$$pV = \text{konstans}_I$$

Gay-Lussac I tv.

$$\frac{V}{T} = \text{konstans}_{II}$$

Gay-Lussac II tv.

$$\frac{p}{T} = \text{konstans}_{III}$$

Avogadro tétel

$$\frac{V}{N} = \text{konstans}_{IV}$$



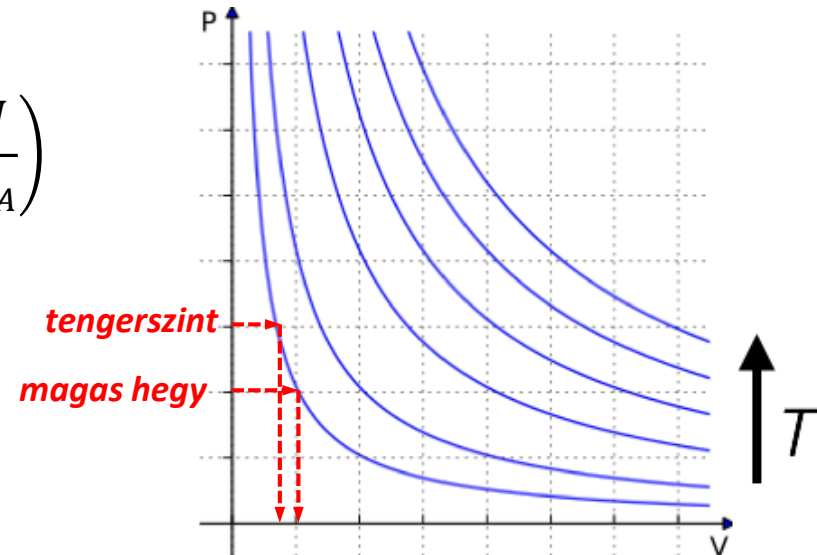
$$\frac{p}{T} \cdot \frac{V}{N} = k_{III} \cdot k_{IV}$$

$$k_{III} \cdot k_{IV} = k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$$

$$pV = Nk_B T$$

$$(k_B \cdot N_A = R) \quad \left(\nu = \frac{N}{N_A} \right)$$

$$pV = \nu RT$$



izobár folyamat – állandó **nyomáson** zajlik

izoterm folyamat – állandó **hőmérsékleten** zajlik

izochor folyamat – állandó **térfogaton** zajlik

Feladatok: 9/7 és 9/12

7. Egy pohár (2 dl) meleg (30 °C) vízbe dobunk egy 20 g-os 0 °C hőmérsékletű jégkockát. Mi lesz a végső hőmérséklet a jég elolvadása után?

12. Egy fémpalack a tűző napon fekszik. A benne lévő ideális gáz nyomása kezdetben 50 bar. A napsütés hatására hőmérséklete 12°C-ról 72°C-ra emelkedik. Mekkora növekszik benne a nyomás?

Néhány anyag fajlagos hőkapacitása

anyag	c (J/(kg·K))
ezüst	234
üveg	840
víz	4180
testszövet (átlagérték)	3500

Néhány anyag átalakuláshője

anyag	q (kJ/kg)
arany — <i>olvadáshő</i>	67
alumínium — <i>olvadáshő</i>	396
só (NaCl) — <i>olvadáshő</i>	517
jég — <i>olvadáshő</i>	334,4
víz — <i>párolgáshő</i> (30°C és 101 kPa mellett)	2400
víz — <i>forráshő</i> (100°C és 101 kPa mellett)	2257