

Hullámmozgás

Mechanikai hullámok

MA DG 2022



Tartalom

- Hullámmozgás fogalma (longitudinális és transzverzális hullámok, $c=f \cdot \lambda$)
- Hanghullámok spektruma
- Hullámok találkozása, interferencia, állóhullámok
- Hullámok viselkedése új közeg határán
 - Hullámok visszaverődése
 - Hullámok törése
- Hullámok elhajlása
- Hullámtani jelenségek magyarázata (Huygens-Fresnel-elv)
- Polarizáció
- Feladatok



Hullámmozgás meghatározása

Hullámmozgás jellemzői



Hullámmozgás

- **Mechanikai hullám: Valamilyen zavar (energia) rugalmas közegben, térben és időben való tovaterjedése.**
- **A zavar terjed tovább és nem a részecskék!**
- **Több jelenségben megmutatkozik:**
 - hang esetén a levegő részecskéinek sűrűsödése és ritkulása,
 - rugalmas pontsor (pl. gumikötél) esetében a részecskék függőleges elmozdulása

A fény nem mechanikai hullám. A fény elektromágneses hullám.

Mechanikai hullámok csoportosítása



1. Közeg szerint:

- vonal menti hullám (gumikötél)
- felületi hullám (víz)
- térbeli hullám (hang)

2. Rezgés iránya szerint:

transzverzális(gumikötél)

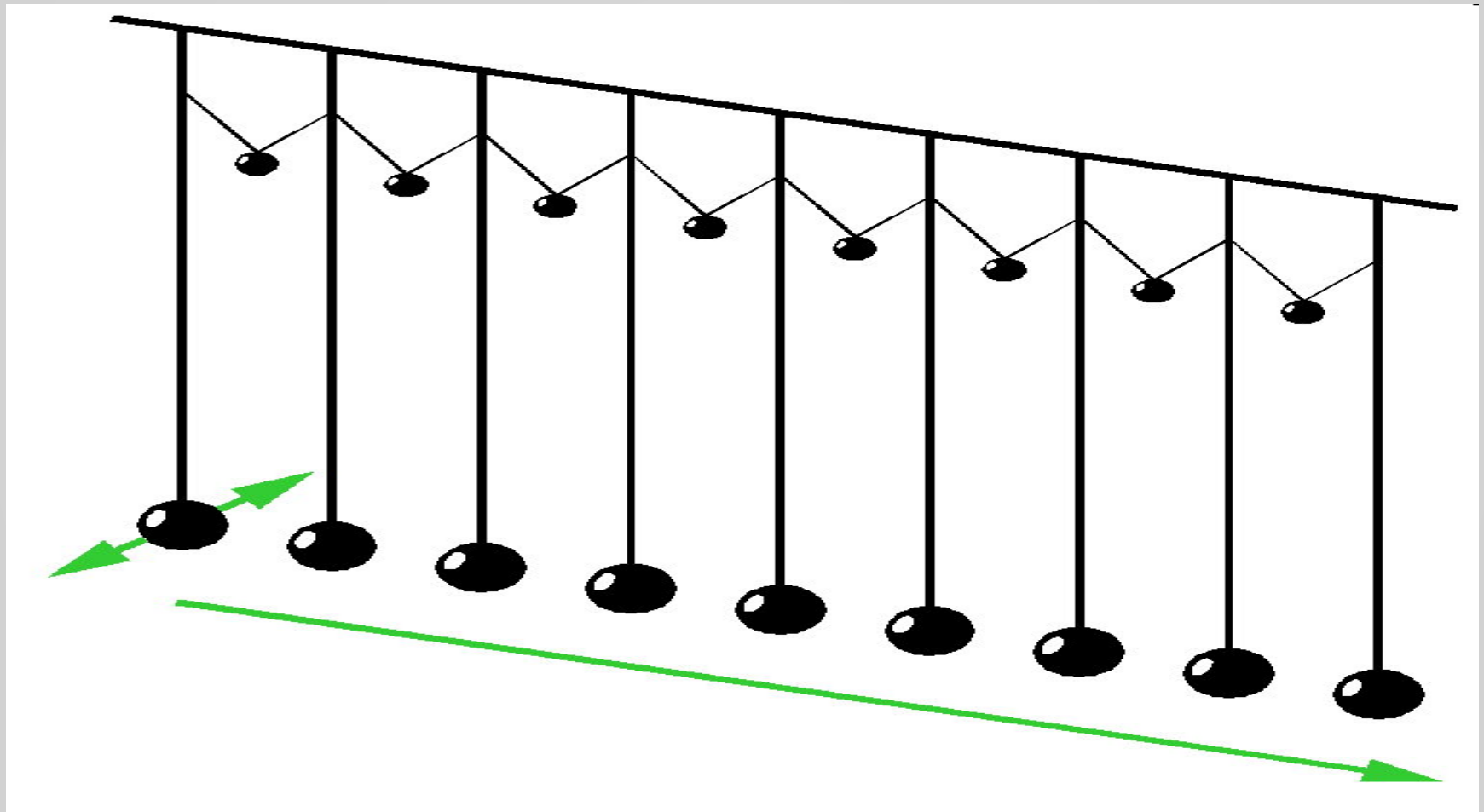


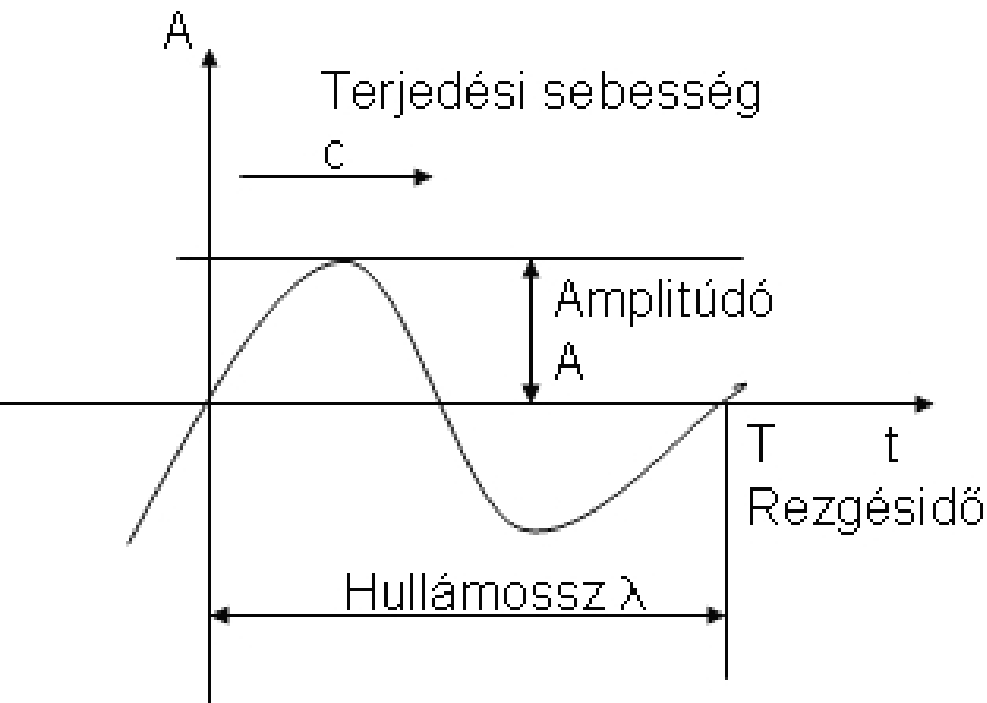
longitudinális (hang)





Hullám létrehozása ingasoron





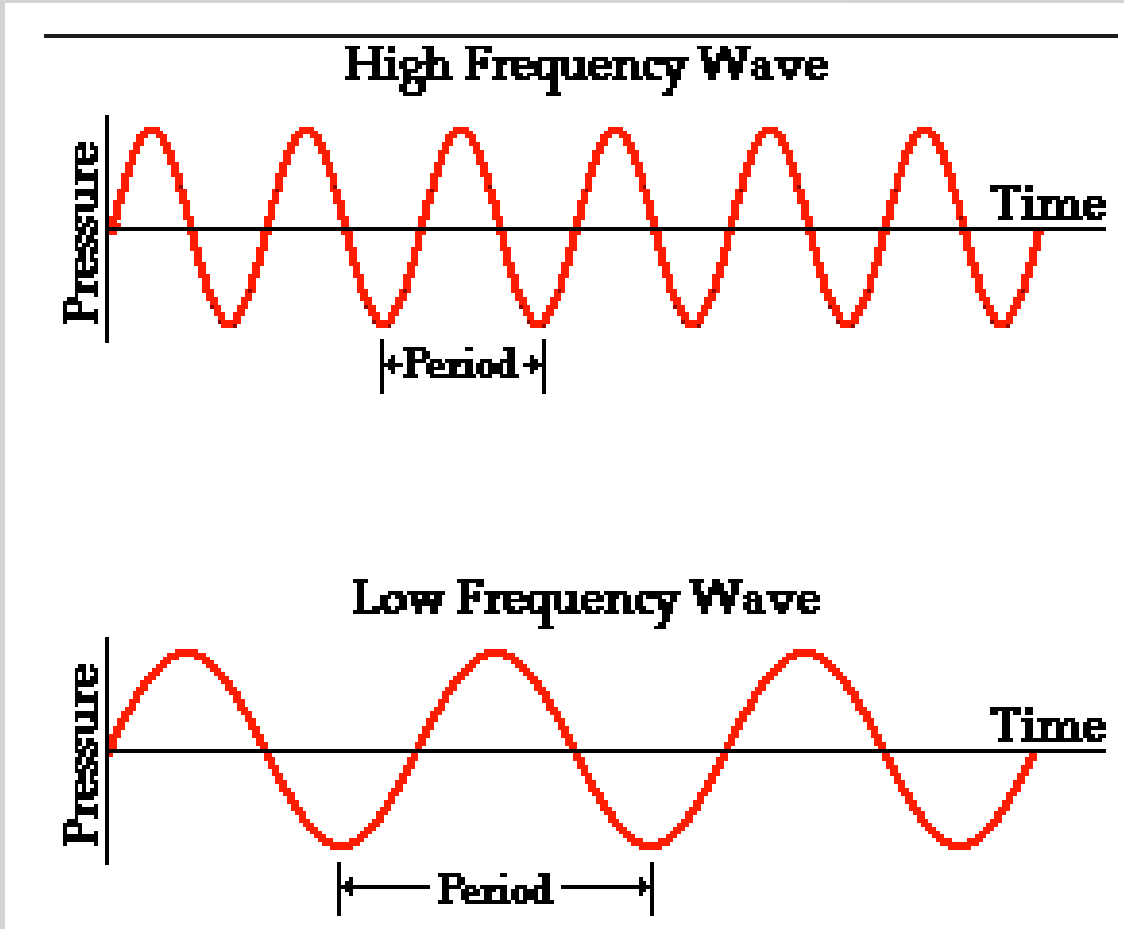
Hullámmozgást jellemző mennyiségek

Csillapítatlan *hullám* esetén az adott helyen az időbeli változást szinuszfüggvény írja le. (Harmonikus hullámok.)

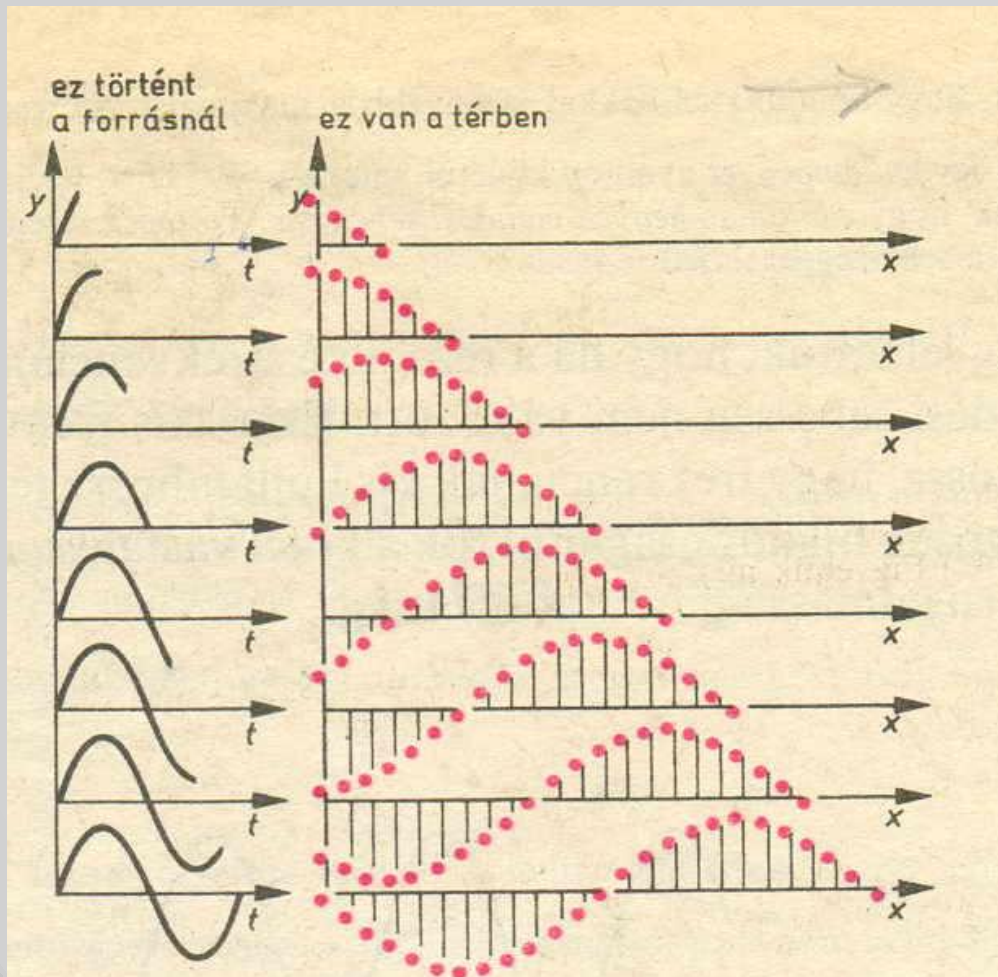
- A *hullámot* jellemző mennyiségek az egy teljes rezgés megtételéhez szükséges **periódusidő (T)**, a **hullámhossz (λ)**, a **frekvencia (f)** és az **amplitúdó (A)**.
- Hullámhossz: az a legkisebb távolság, amely után (az adott pillanatban) újra ugyanaz a fázis következik.
- A terjedés sebessége (fázissebessége) a hullámhossz és a frekvencia szorzata.

$$c=f \cdot \lambda$$

Kis- és nagy frekvenciájú hullámok



Hullámok terjedése. A zavar terjed tovább és nem a részecskék



A hullám terjedése során a részecskék bizonyos időközönként ismétlik az első részecske mozgását.

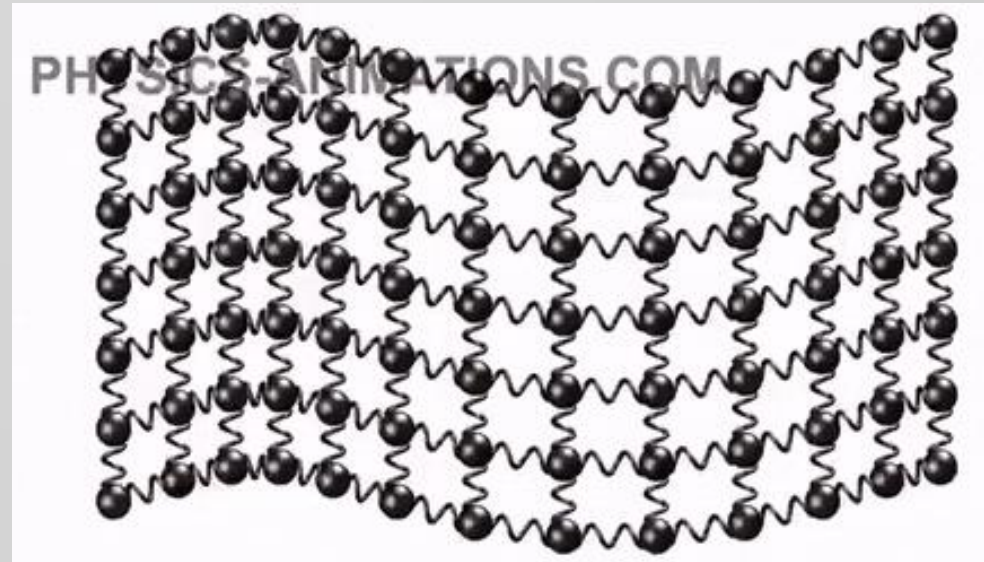
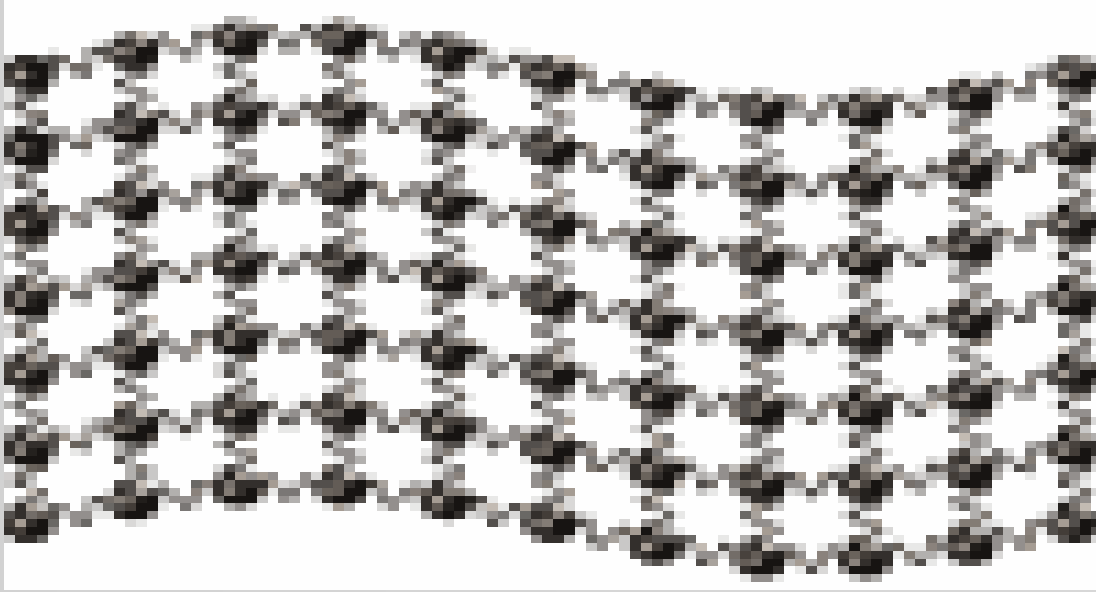
Hullámok terjedése. A zavar terjed tovább és nem a részecskék



A hullám terjedése során a részecskék (itt katonák) bizonyos időközönként ismétlik az első részecske (itt katona) mozgását.



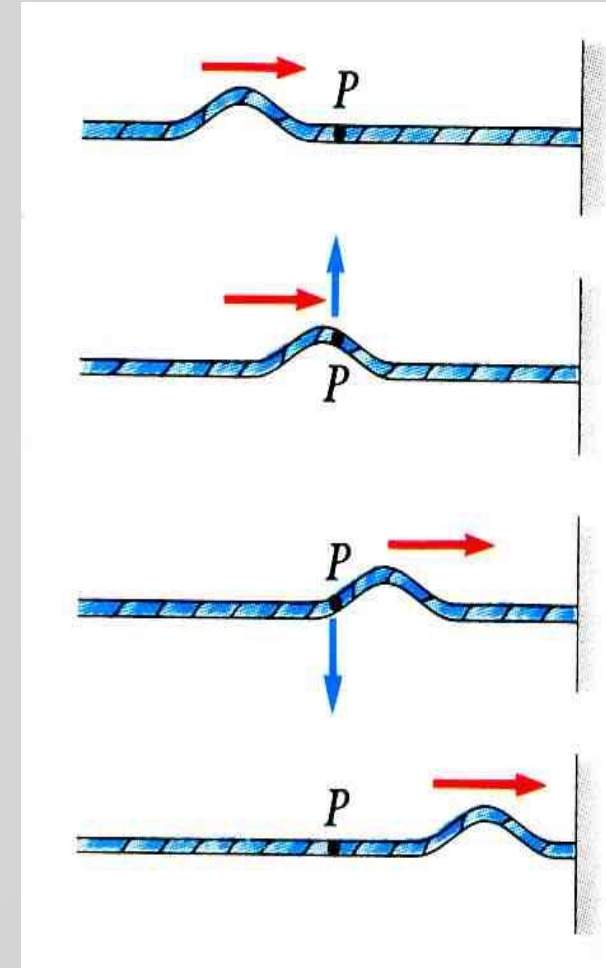
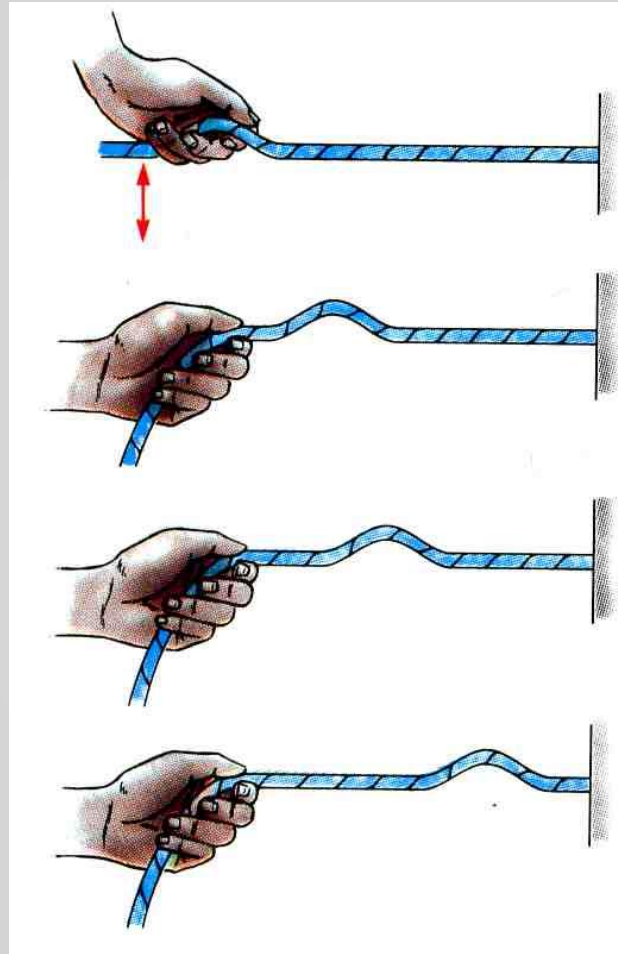
Transzverzális hullámok



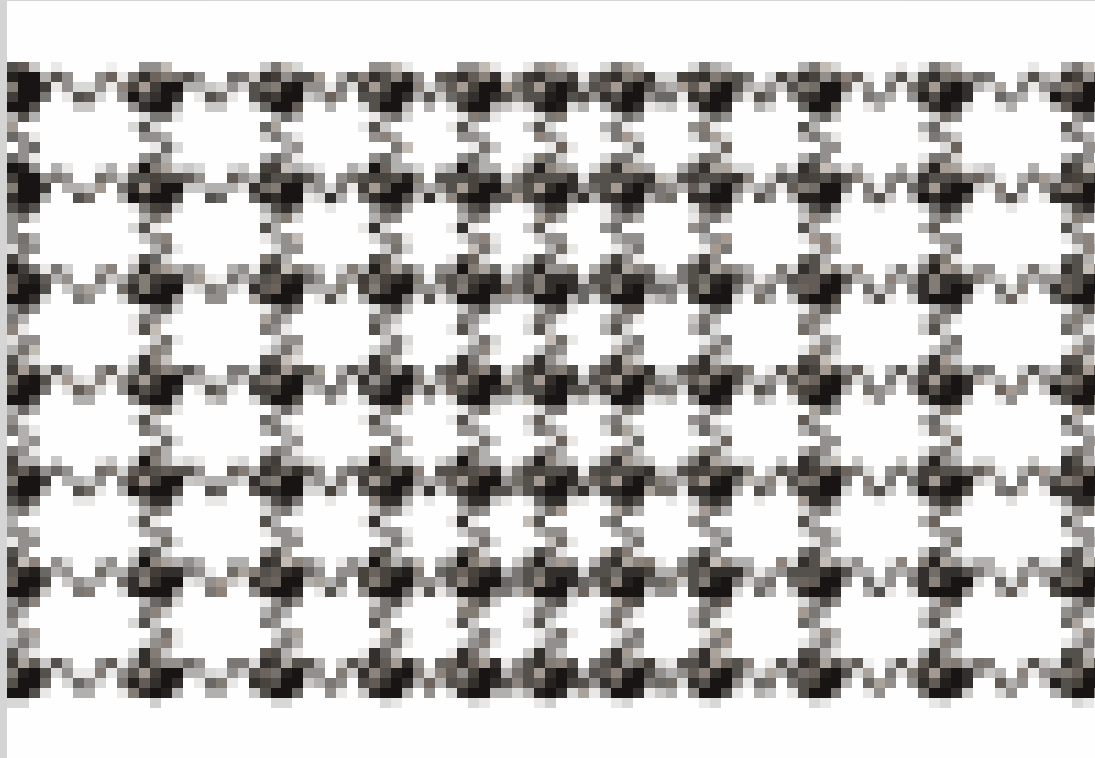
Transzverzális hullámok

Ha a közeg részecskéi a terjedési irányra merőleges mozgást végeznek, akkor **transzverzális** hullámról van szó.

A transzverzális hullámoknál hullámhegyek és hullámvölgyek terjednek.

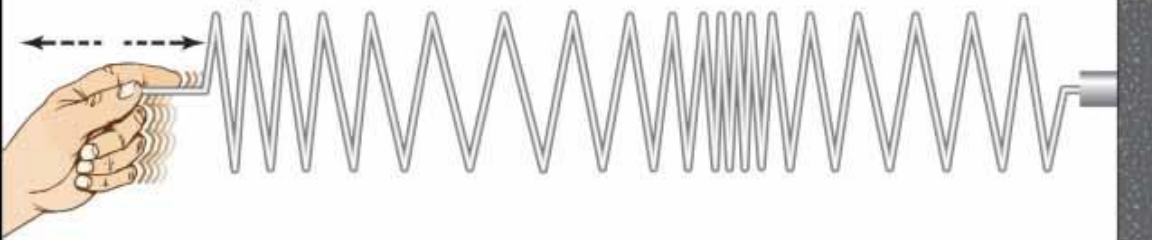


Longitudinális hullámok



Longitudinális hullámoknál sűrűsödések és ritkulások követik egymást illetve terjednek tovább.

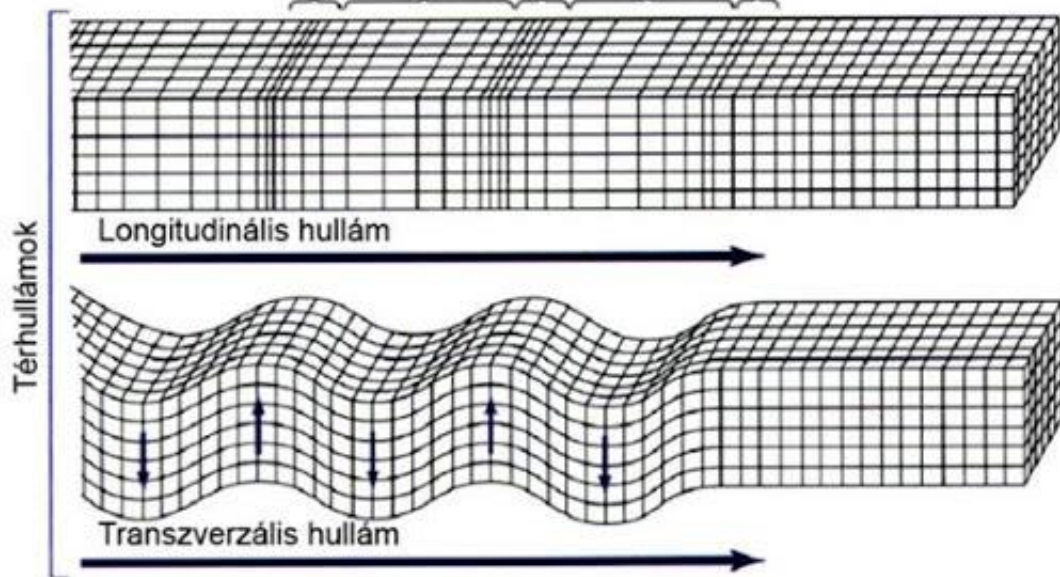
P - Longitudinális hullámok



S - Transzverzális hullámok



összehúzódás tágulás



Longitudinális hullám

Transzverzális hullám

Run Pause

Amplitude



Frequency



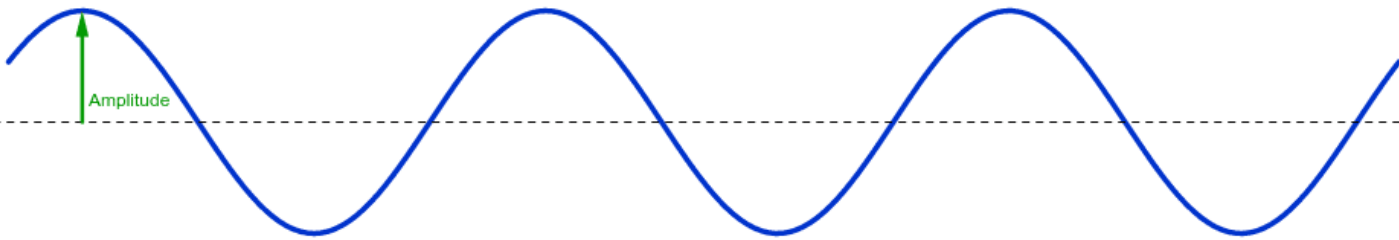
Equilibrium (of first segment)

Longitudinal Wave



Equilibrium

Amplitude



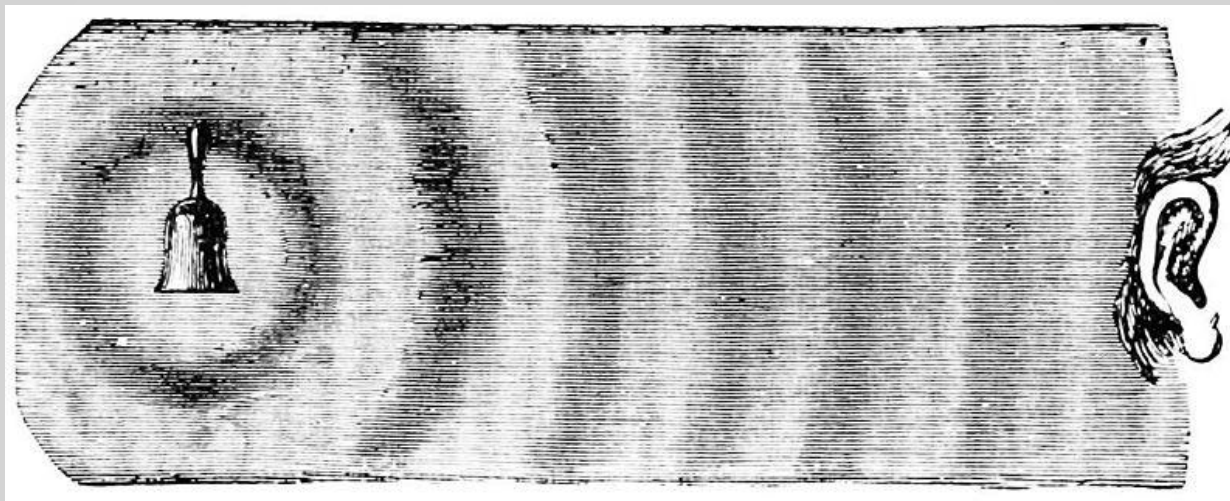
Transverse Wave



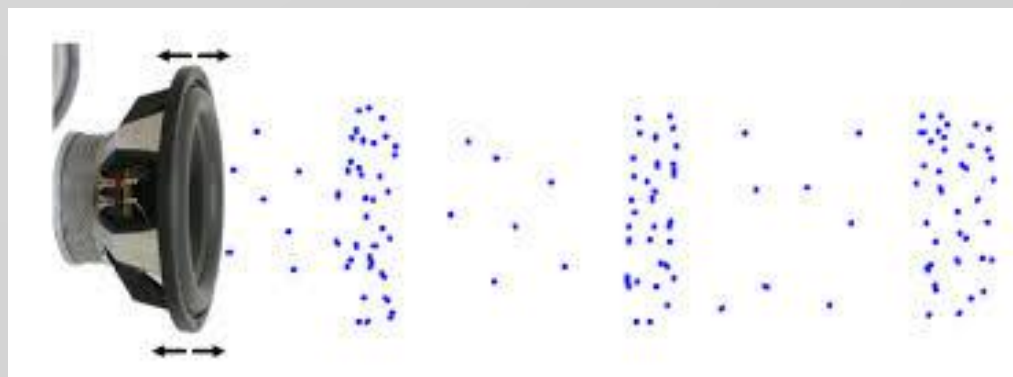
A hanghullámok spektruma

A legismertebb longitudinális
hullámok

Hanghullámok

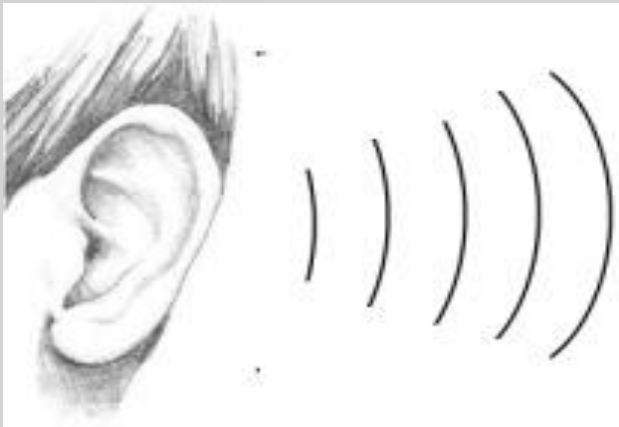


A hanghullámok longitudinális hullámok. A levegő sűrűsödésével és ritkulásával terjednek.

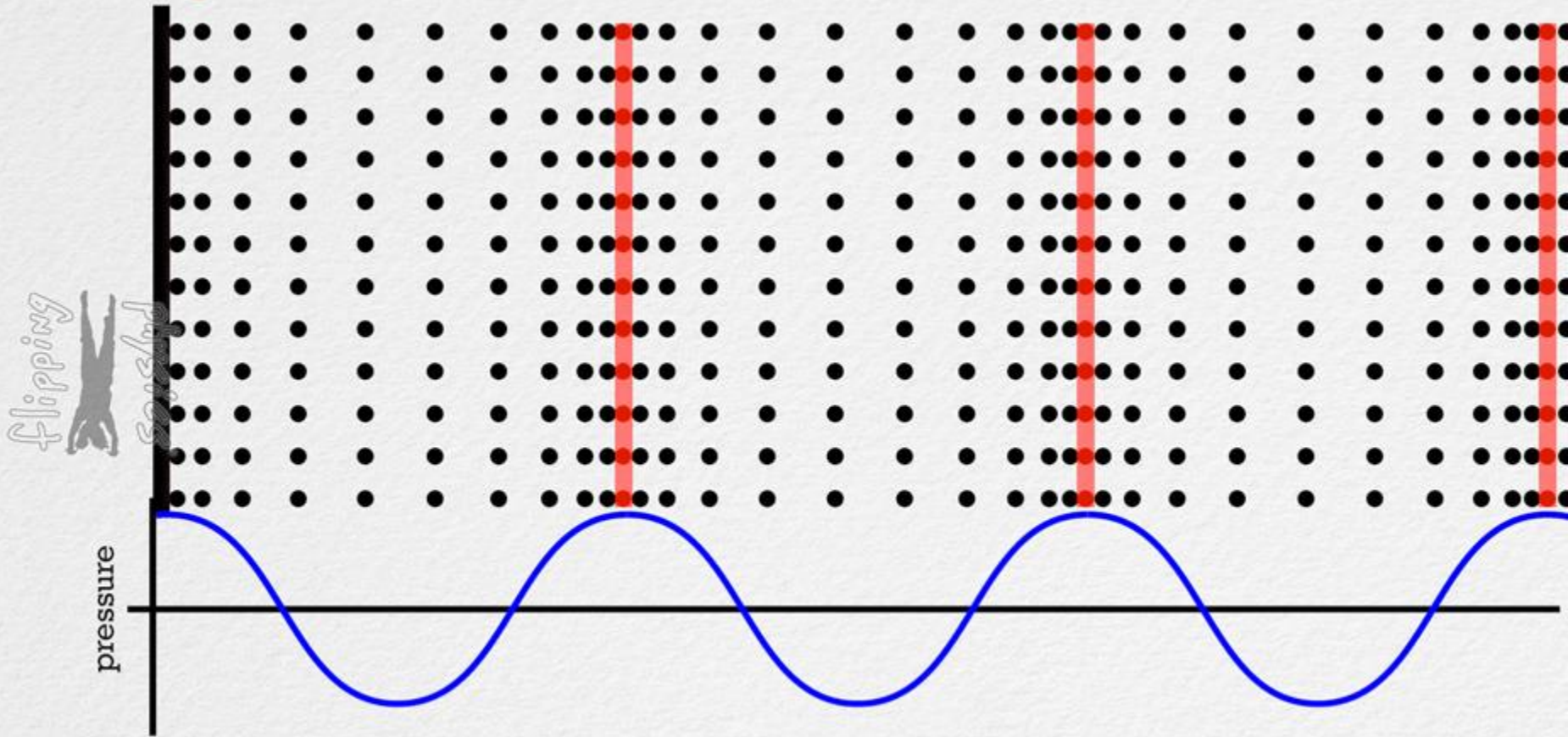




Nem minden hangot hallunk



High Pressure Air = Crest on Sinusoidal Wave = Wave Front



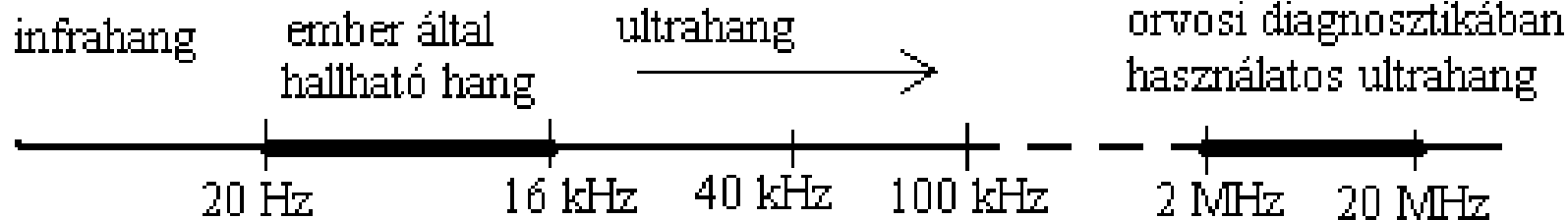
Denevérek

A legismertebb, ultrahangot használó csoport a denevérek. A ma élő valamennyi denevérfaj éjszaka aktív. Az éjszakai mozgáshoz szükség volt egy hatékony navigációs rendszerre. Az általuk használt visszhang-lokátor működésében a radarra hasonlít, de nem rádióhullámokat, hanem 50-200 kHz-es hanghullámokat bocsát ki.





A hallható hang olyan hang, amelynek (vagy legalább egy szinuszos összetevőjének) frekvenciája 20 Hz és 16000 Hz (újabban 20000) között van. Az ennél magasabb frekvenciájú hang az **ultrahang**.



macska
hallásának
határa

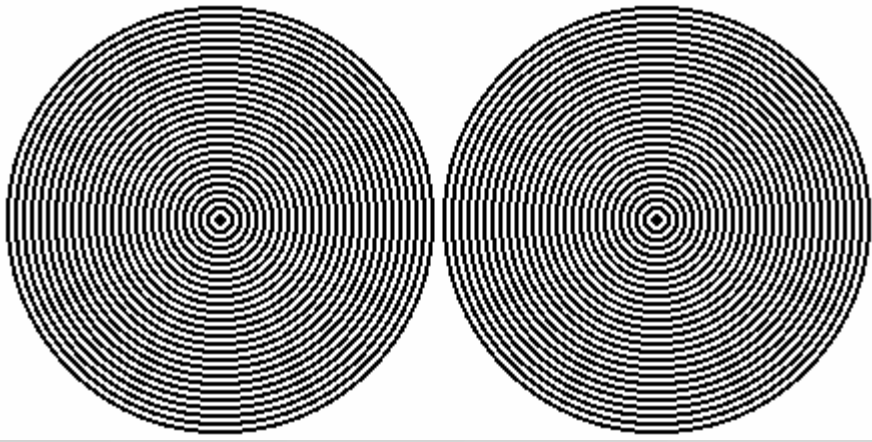
denevér
hallásának
határa

[Halláskontroll](#)



Érdekesség: Ultraszagos távirányítók az 1950-es és 1960-as évekből





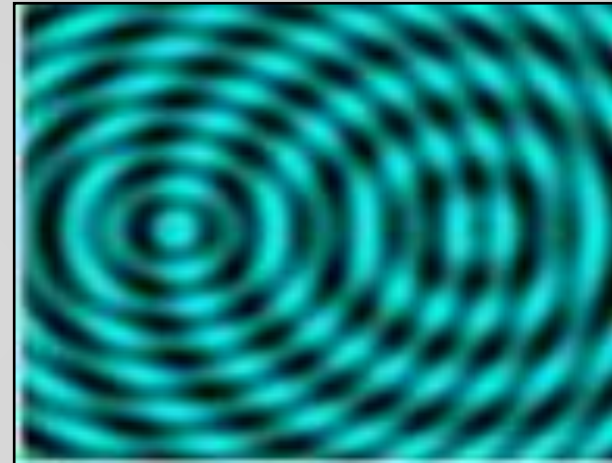
Hullámtani jelenségek



Hullámok találkozása, interferencia

Hullámok interferenciája

Hullámtalálkozásakor a közeg pontjai **több hullám hatása miatt** jönnek rezgésbe.



A tartósan megmaradó mintázatú hullámszuperpozíciót (összegződést) **interferenciának** nevezzük.

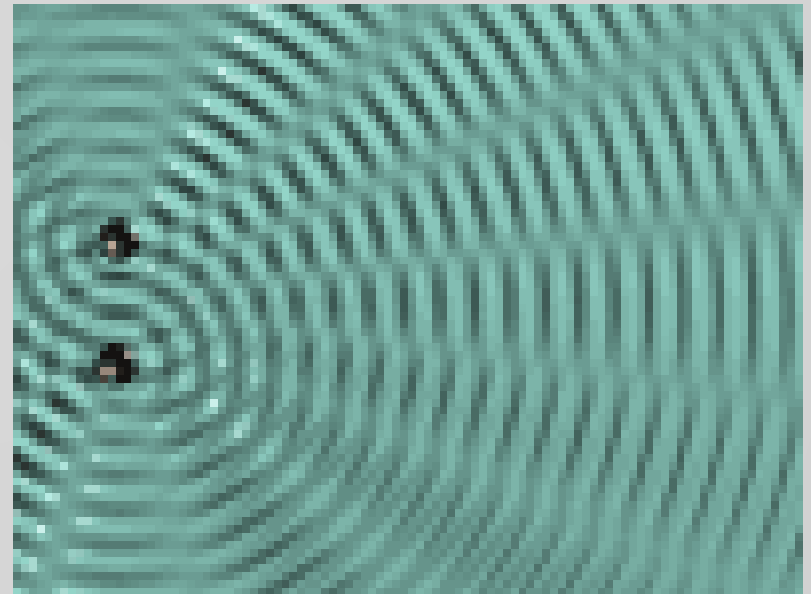
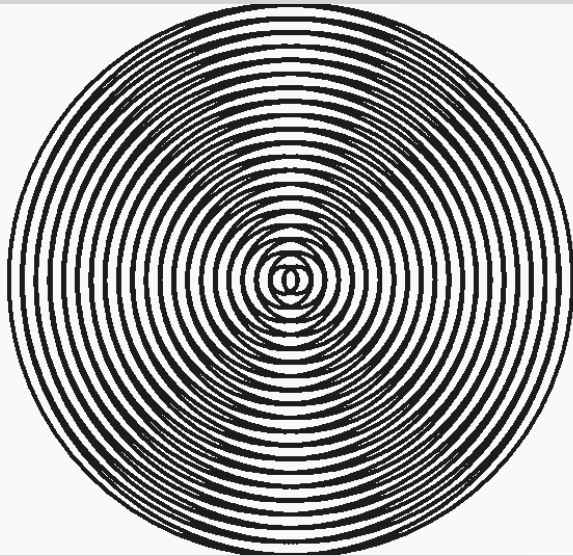
Interferencia során létrejöhet:

- **Erősítés**
- **Gyengítés**
- **Kioltás**

Interferencia, akár transzverzális, akár longitudinális hullámok esetében létrejöhet.

Interferencia szemléltetése 1.

Két pontszerű hullámforrásról érkező köralakú hullámok interferenciája.



A tér egyes pontjaiban találkozó hullámok fáziskülönbsége állandó, koherensek. (Pl.: amikor két egymáshoz rögzített tűvel rezgetjük a víz felületét.)

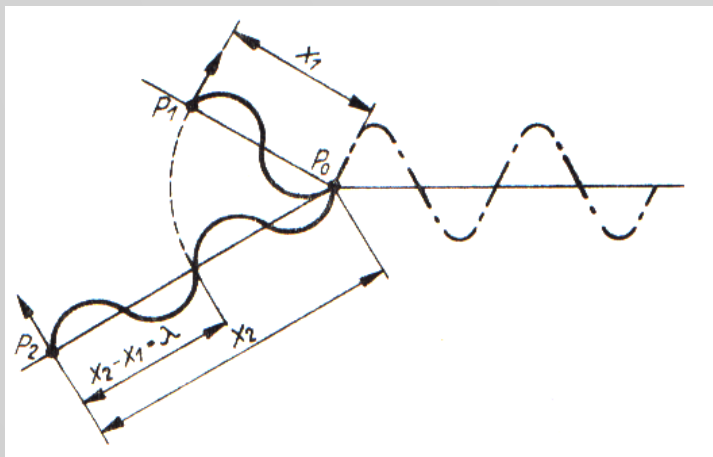
Interferencia vonal menti hullámok esetén

Az interferencia függ a két hullám által megtett út hosszától is. Vizsgáljuk az azonos fázisban induló, de különböző úthosszal rendelkező koherens ((a frekvenciák megegyeznek és a fáziskülönbség időben állandó))hullámokat:

1) Ha a két hullám úthossz-különbsége a hullámhossz felének **páros számú többszöröse**:

$$\Delta x = x_2 - x_1 = 2k \frac{\lambda}{2} \quad (k = 0, 1, 2, \dots)$$

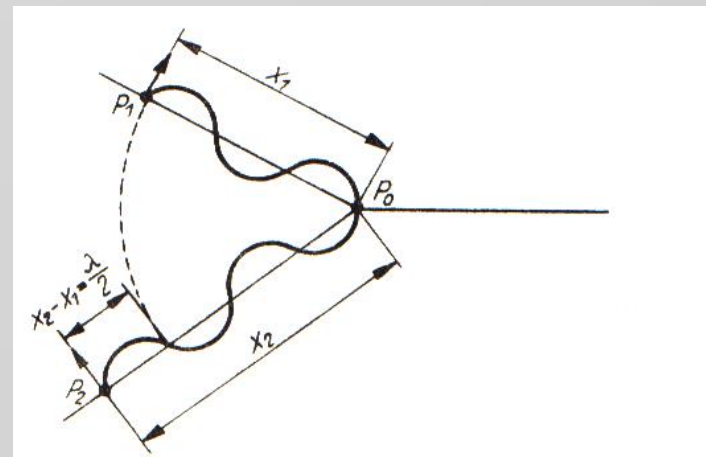
⇒ a két hullám maximálisan erősíti egymást

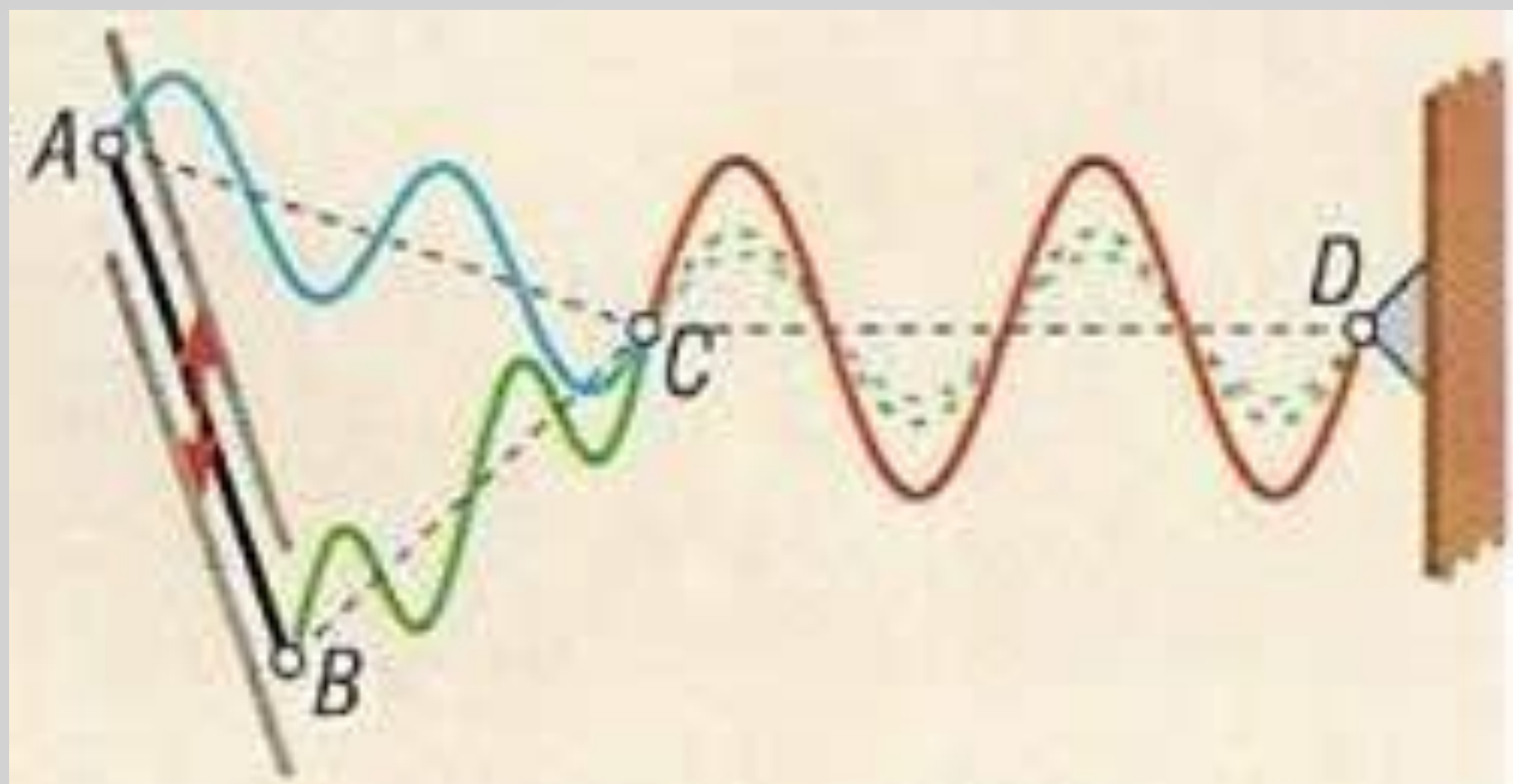


2) Ha a két hullám úthossz-különbsége a hullámhossz felének **páratlan számú többszöröse**:

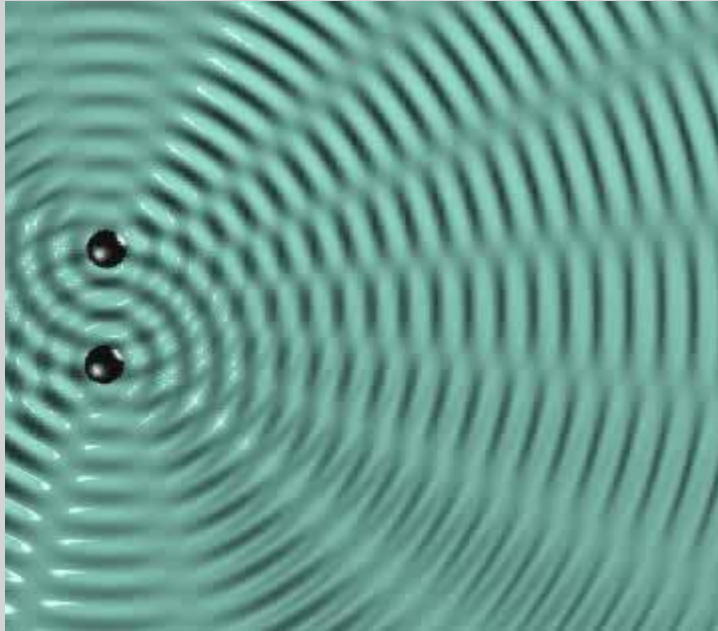
$$\Delta x = x_2 - x_1 = (2k - 1) \frac{\lambda}{2} \quad , \quad (k = 1, 2, \dots)$$

⇒ a két hullám maximálisan gyengíti/kioltja egymást





Interferencia felületi és térbeli hullámok esetén 1.



A minta állandóságához három feltételnek kell teljesülnie:

- A két hullámforrás helyzete egymáshoz képest ne változzon
- A két hullámforrás frekvenciája legyen azonos
- A rezgés huzamosabb ideig tartson

Kimerevített **interferenciakép** (nincs minden kioltás és erősítés ábrázolva).

Két forrás (S_1, S_2) azonos fázisú koherens hullámzást kelt.

Hullámhegy* (vagy **sűrűsödés***)

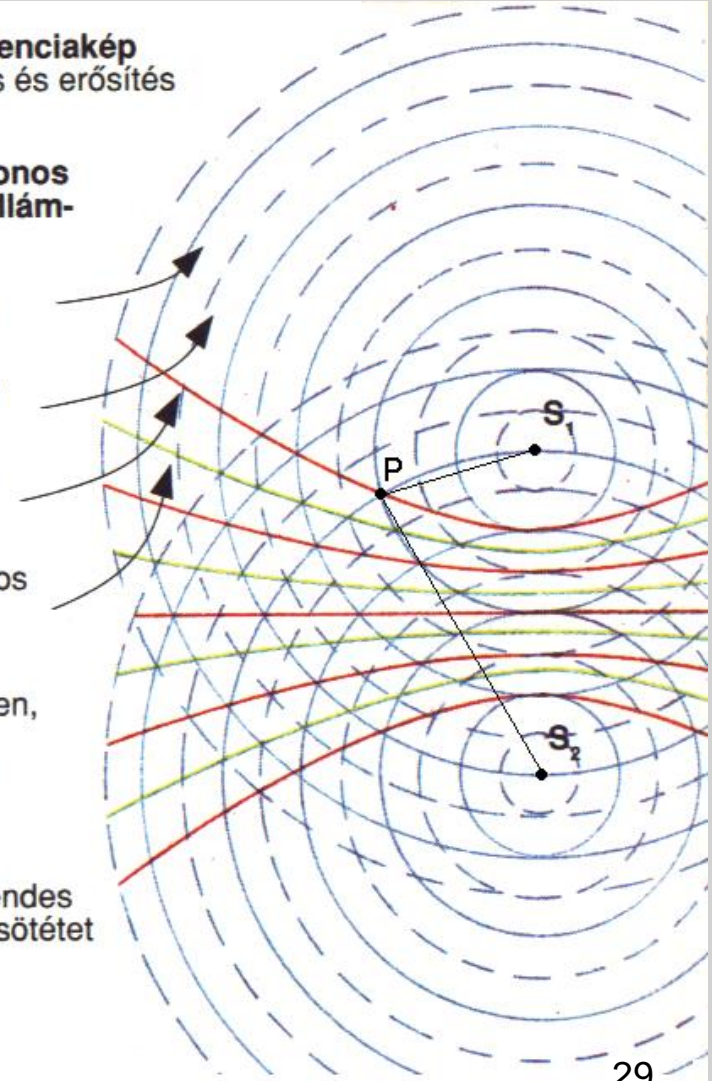
Hullámvölgy* (vagy **ritkulás***)

Interferencia révén erősítés

Csomóvonal. Azonos amplitúdók esetén nincs rezgés.

A hullámoktól függően, az erősítési helyek hullámzó vizet, erős hangot vagy fényt jelentenek.

A kioltási helyek csendes vizet, csöndöt vagy sötétet jelentenek.

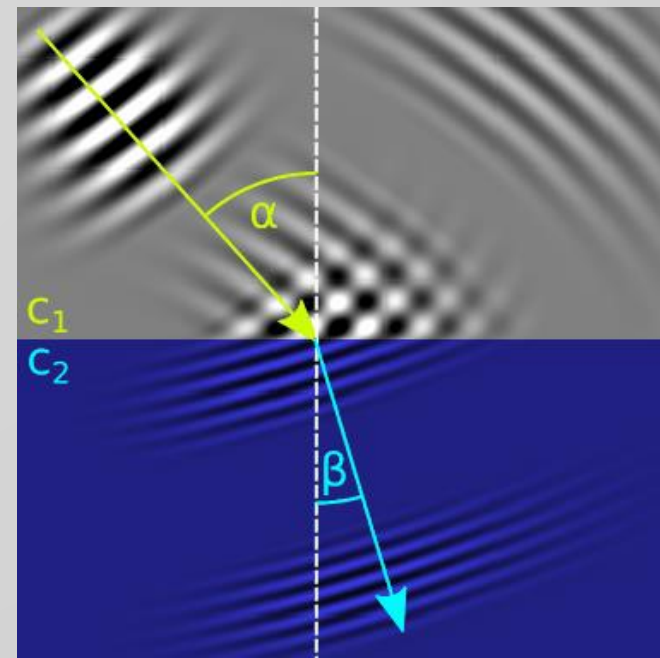


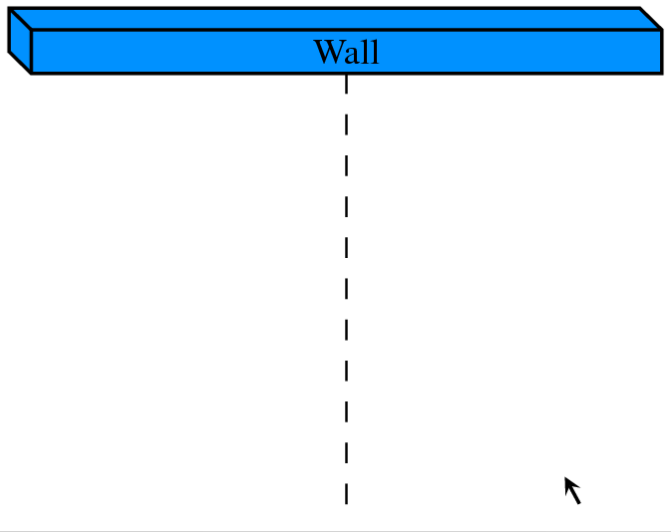


Hullámok viselkedése új közeg határán

Visszaverődés

Törés



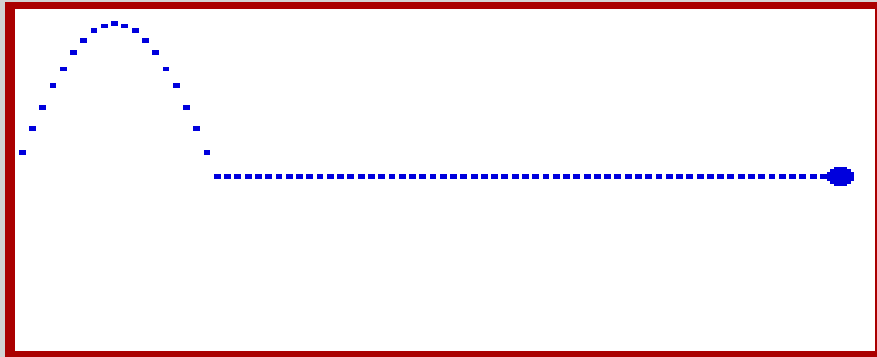


Hullámok visszaverődése



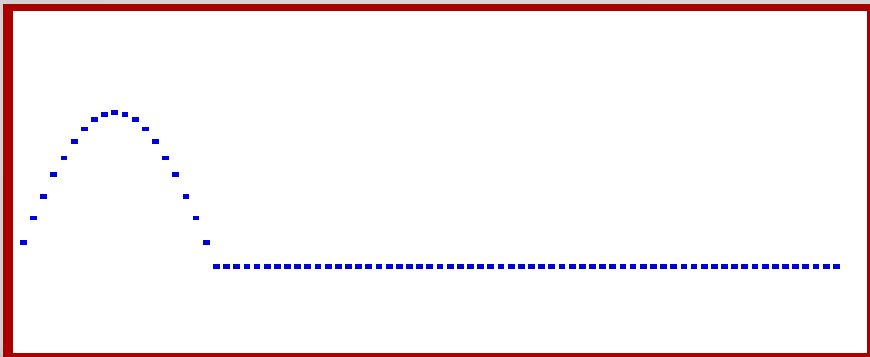
Hullámok visszaverődése

Vonal hullámok visszaverődése rugalmas pontsoron
rögzített végről

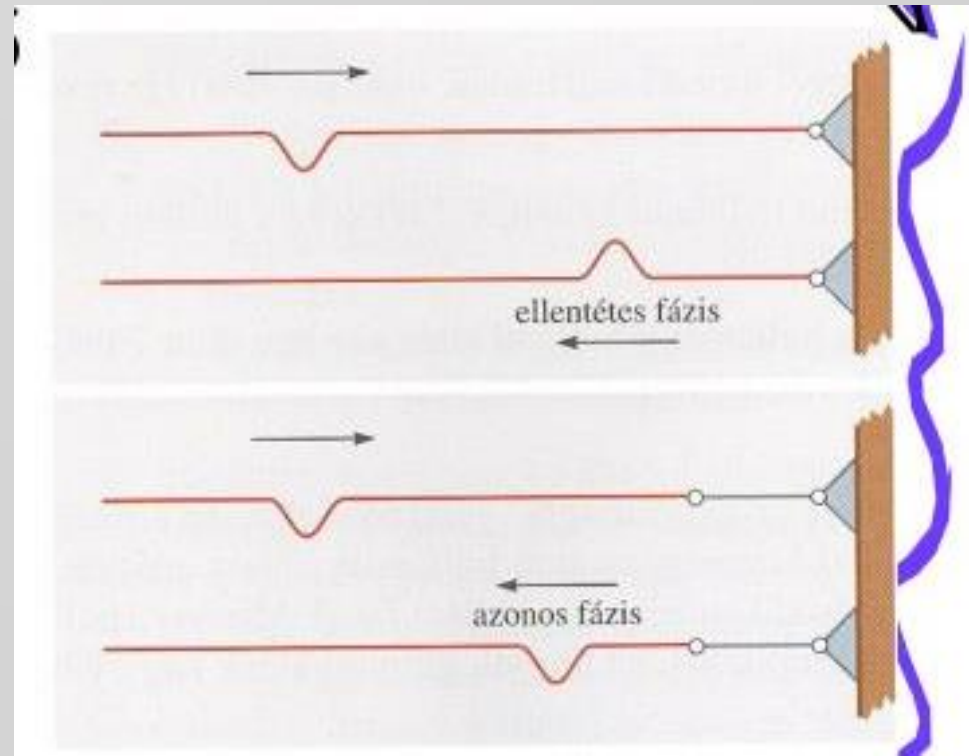


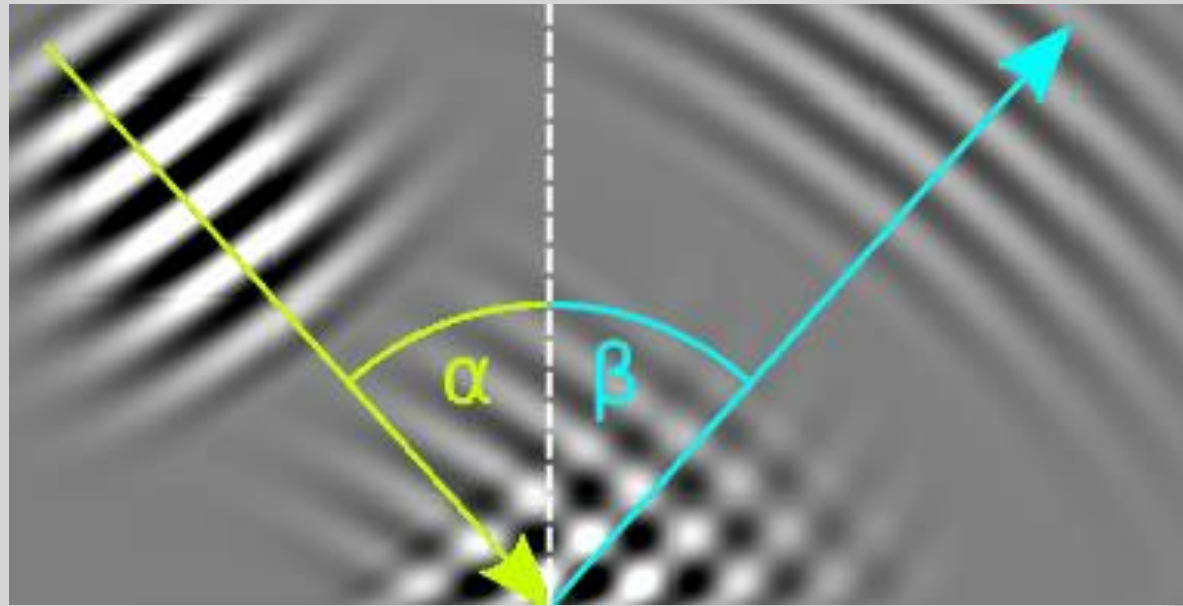
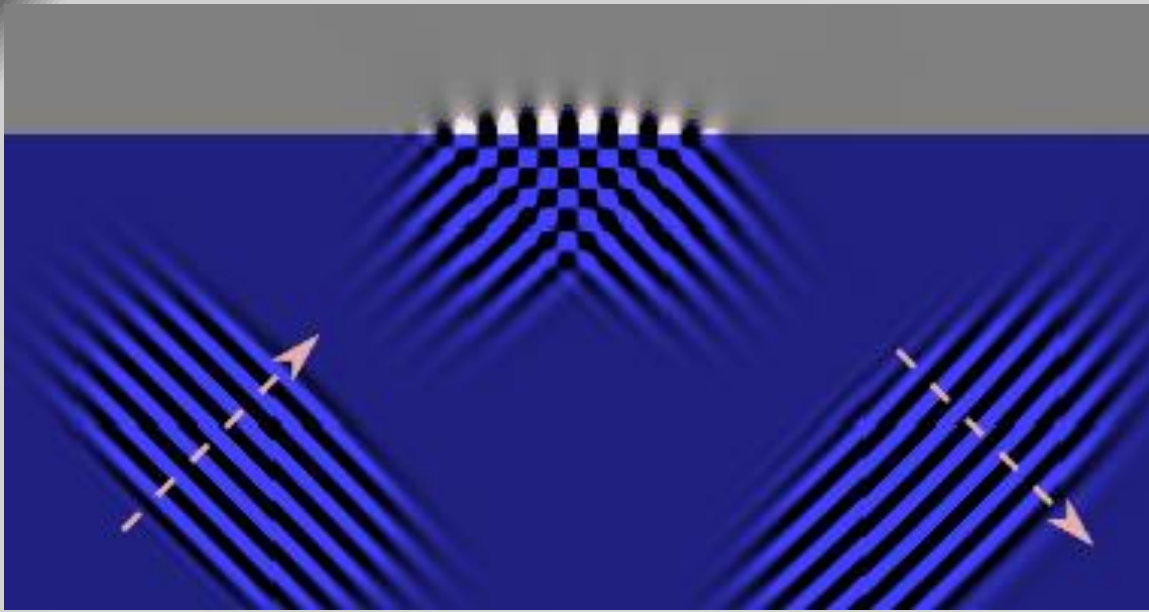
Ellentétes fázisban verődnek vissza.

szabad végről



Azonos fázisban verődnek vissza.

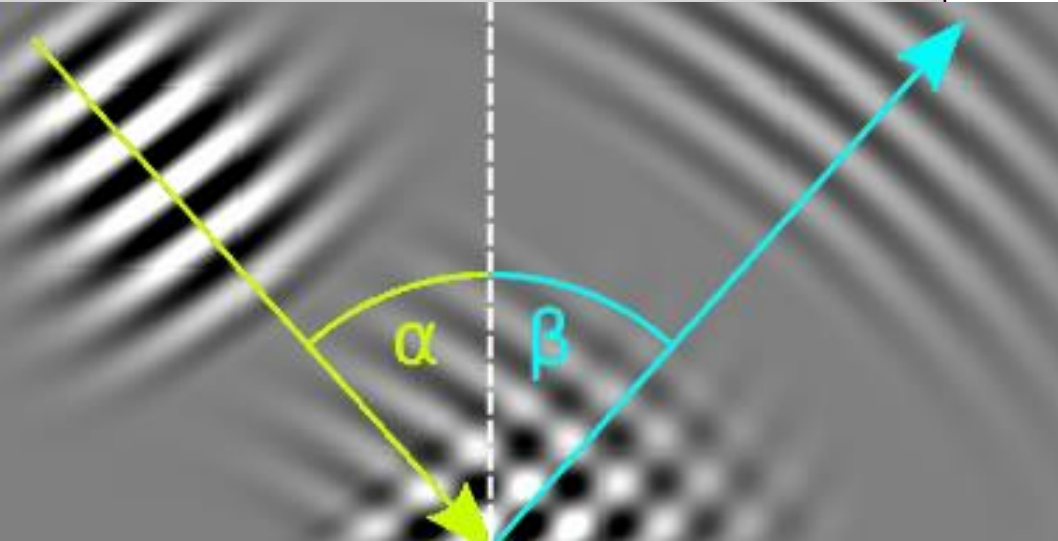
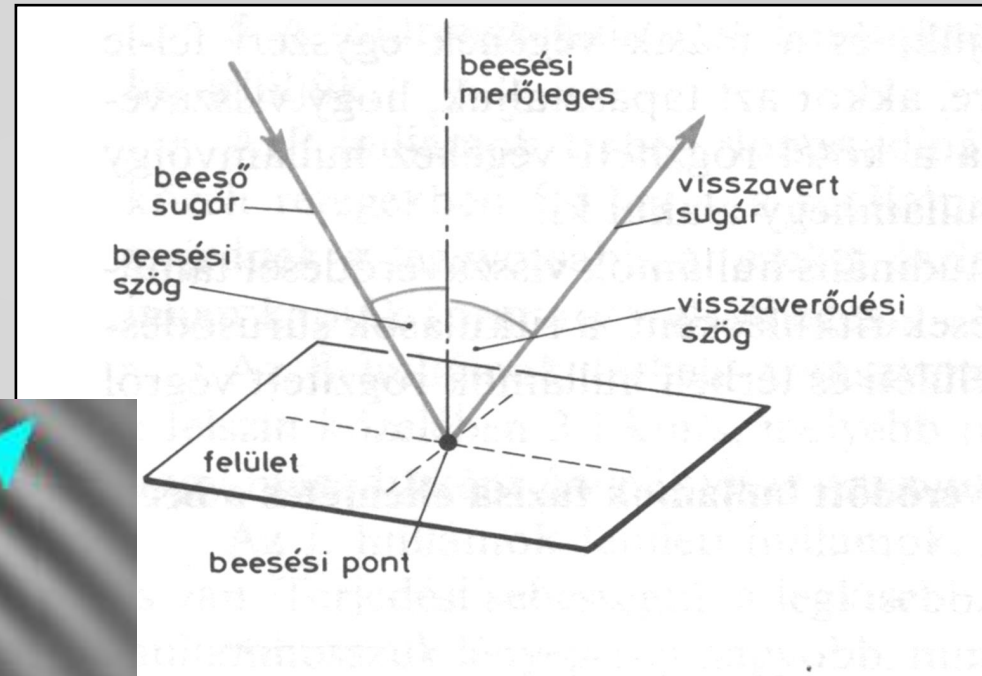


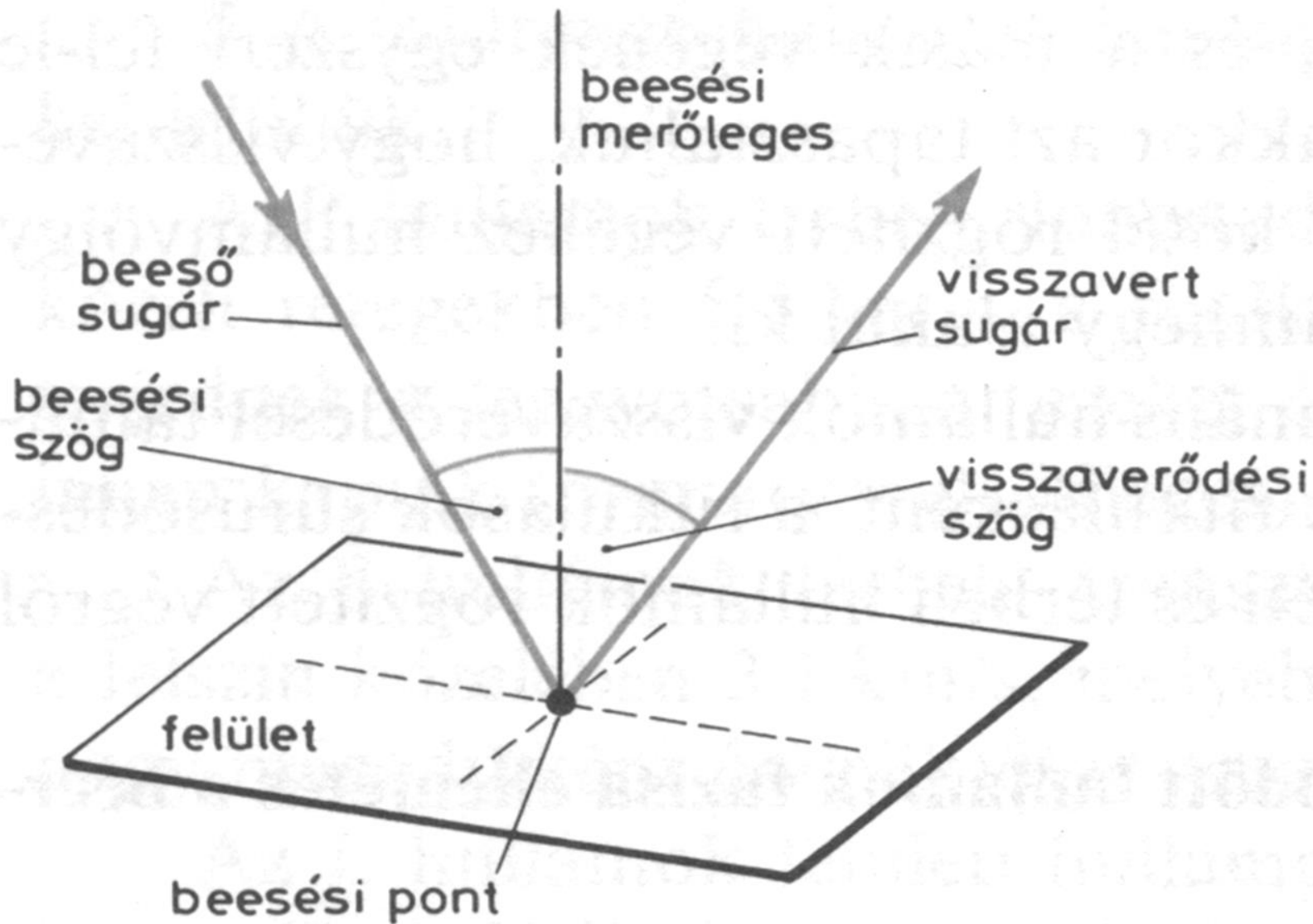


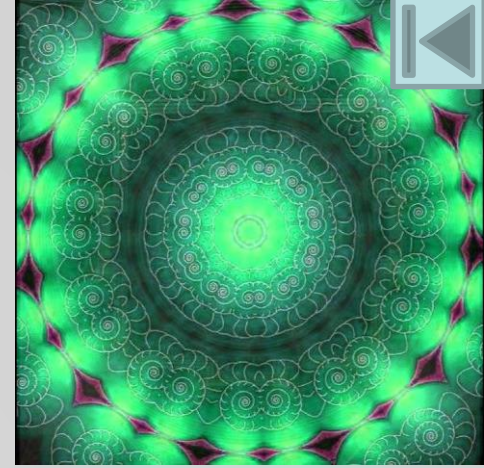
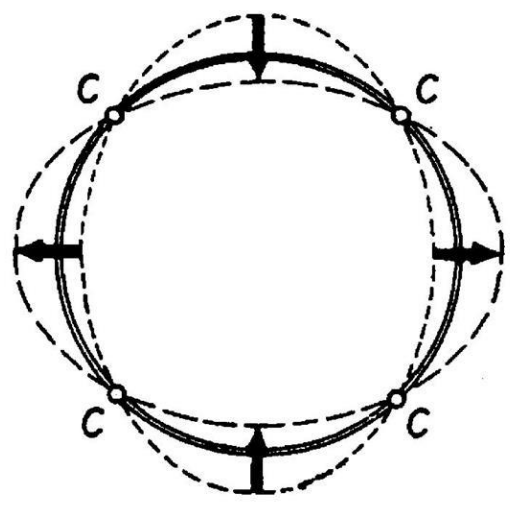
Hullámok visszaverődése

Visszaverődés törvényei:

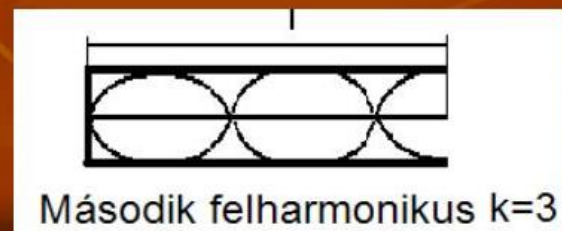
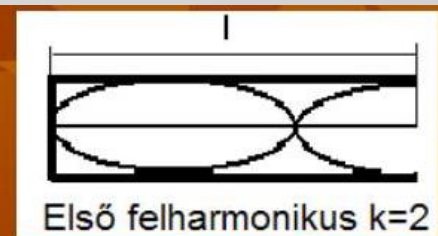
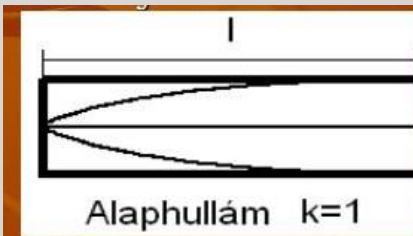
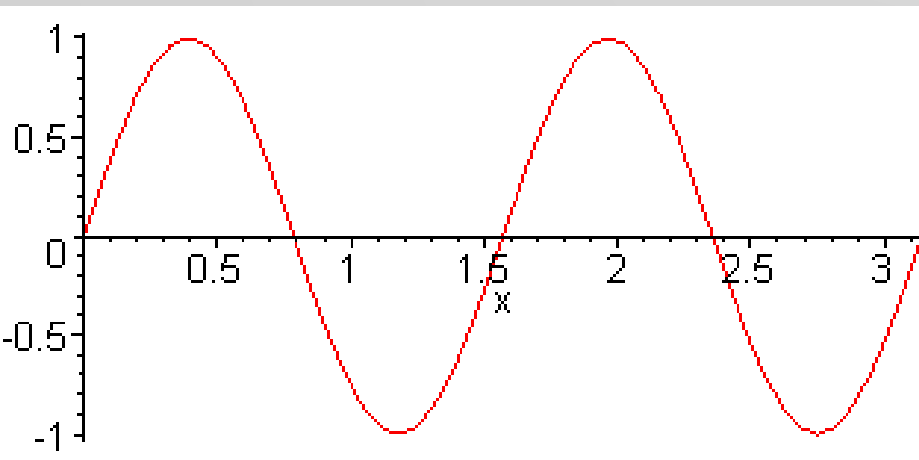
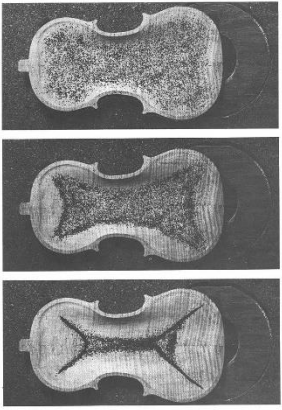
1. Térbeli hullámok esetén a beeső sugár, a beesési merőleges és a visszavert sugár egy síkban van.
2. A beesési szög és a visszaverődési szög egyenlő nagyságú.



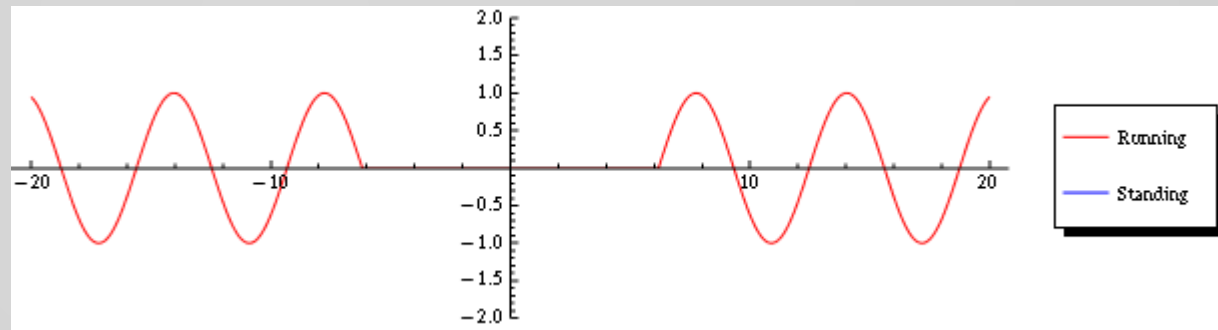
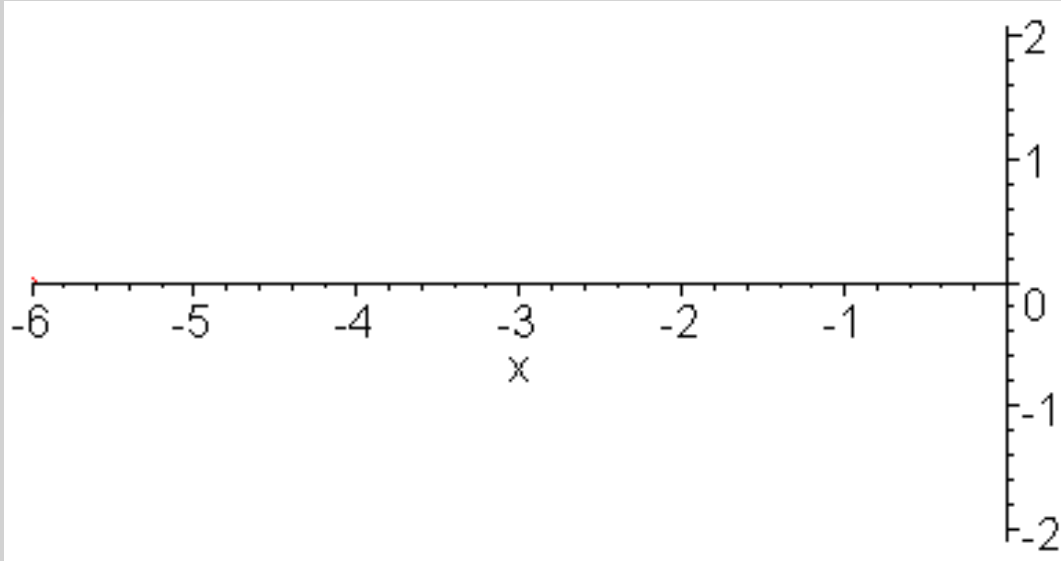




Állóhullámok



Állóhullámok keletkezése (animáció)

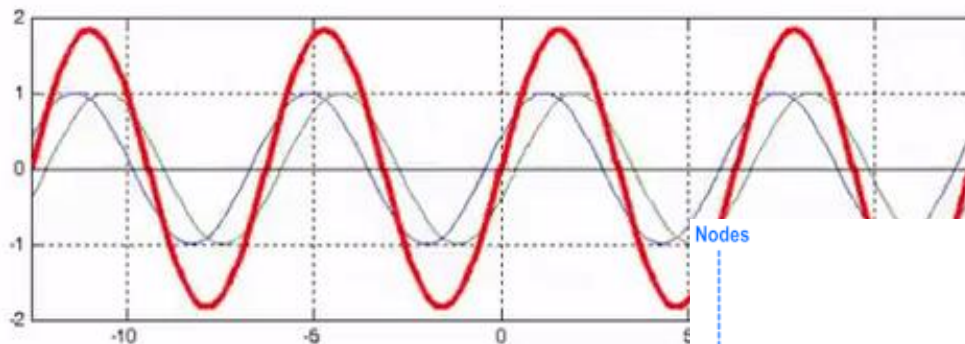


- Az **állóhullámok** az egymással szemben terjedő *hullámok* interferenciájaképpen jönnek létre (pl. a gitár húrján, amelynek hullámai visszaverődnek a két húrvégről).
- Az *animáció* az állóhullámok kialakulását mutatja be.
- Az állóhullámokban a **valamely két ponton mért elmozdulások aránya változatlan marad.**

Csomópontok és duzzadóhelyek váltakozása

Standing wave

Two waves with the same frequency, wavelength and amplitude traveling in opposite directions will interfere and produce a standing wave or stationary wave



$$y_1 = A \sin(kx - \omega t)$$

wave moving to the right

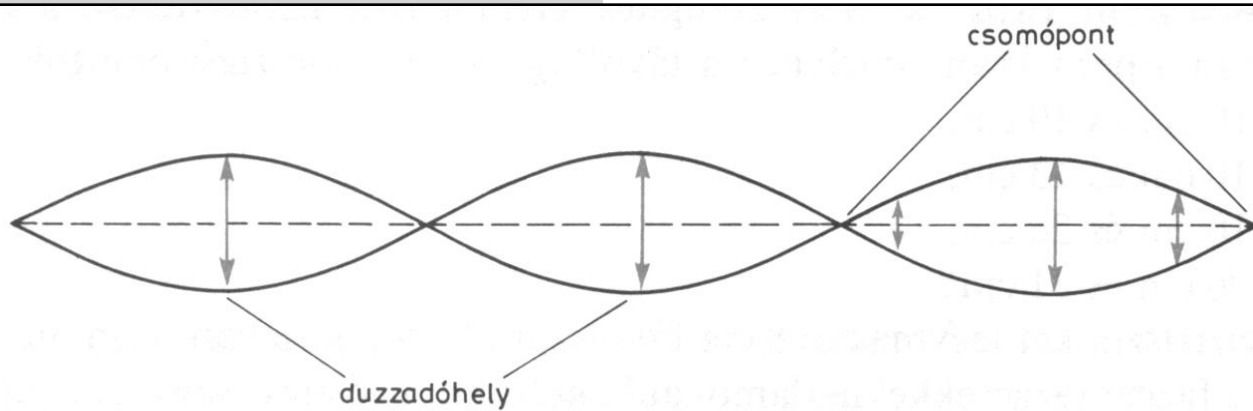
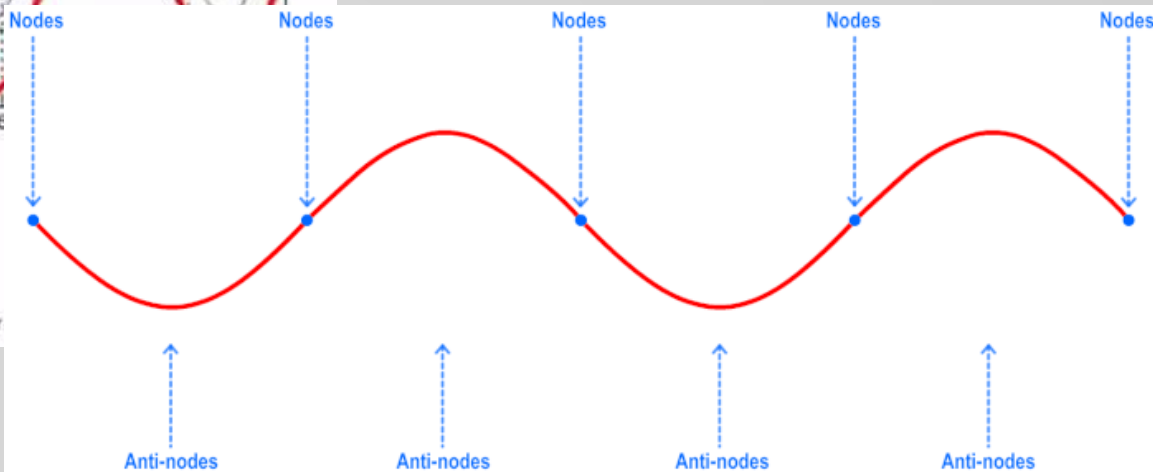
$$y_2 = A \sin(kx + \omega t)$$

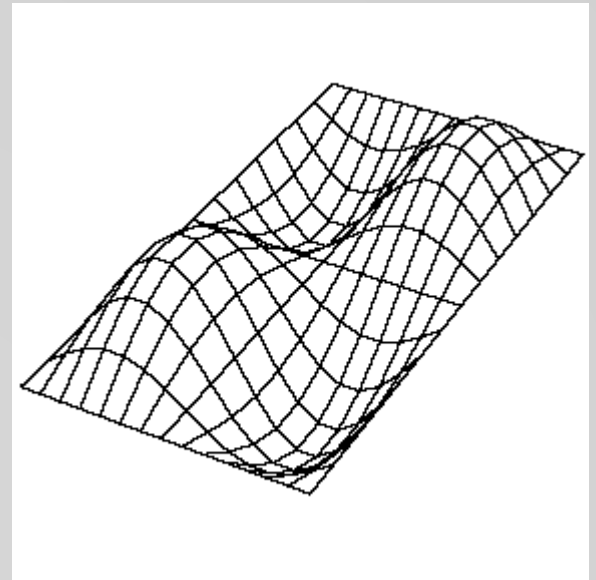
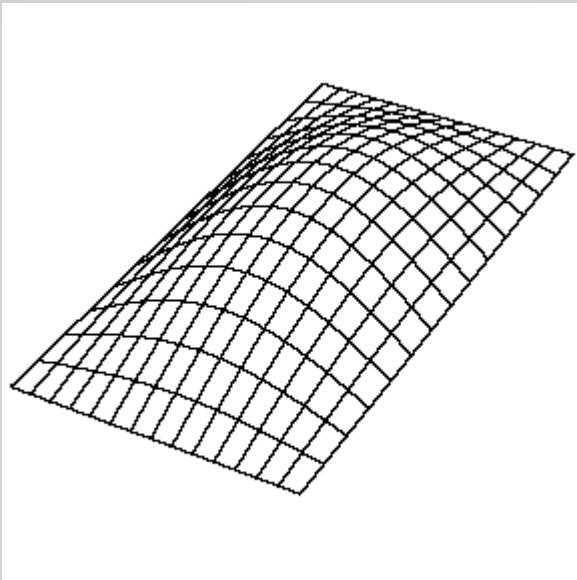
wave moving to the left

For presentation: $A=1$, $k=1$, $\omega=1/5$ (to slow down speed for

Csomópontok: kitérés nulla

Duzzadóhelyek: kitérés maximális





Mode (1,1)



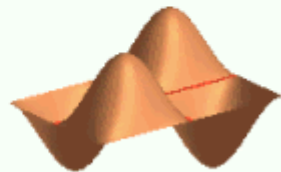
Mode (1,2)



Mode (2,1)



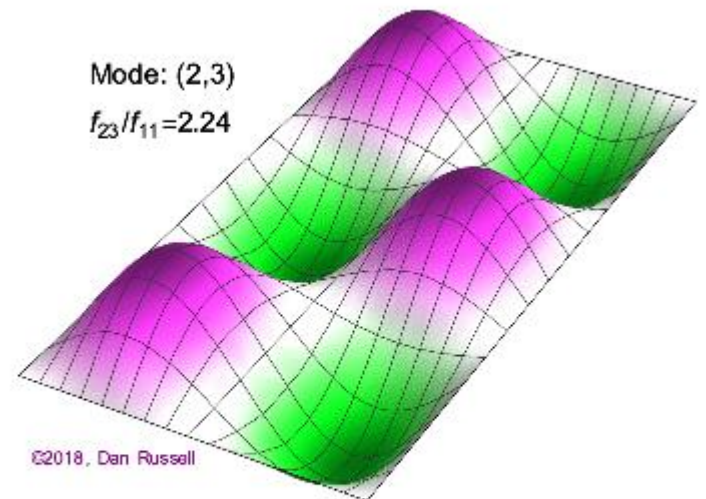
Mode (2,2)



isvr

Mode: (2,3)

$f_{23}/f_{11}=2.24$



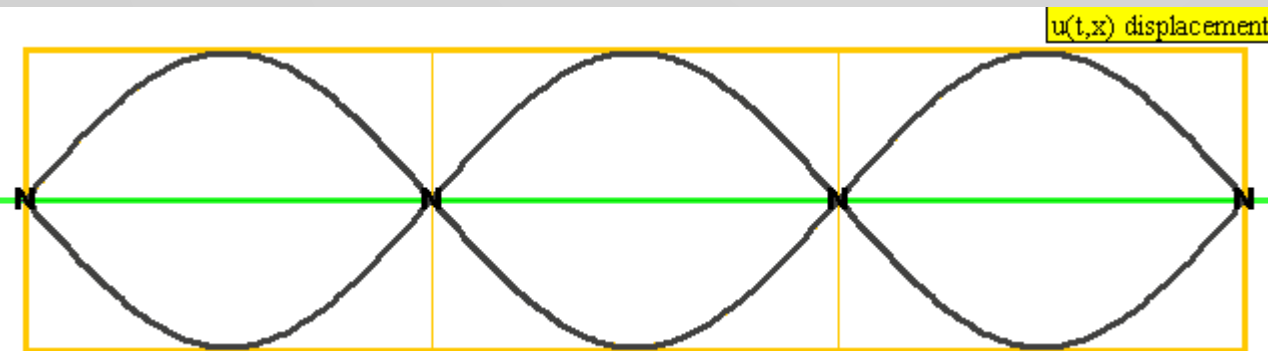
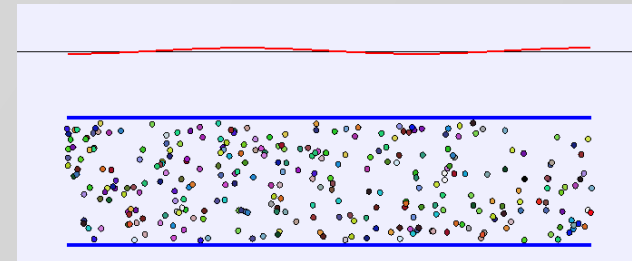
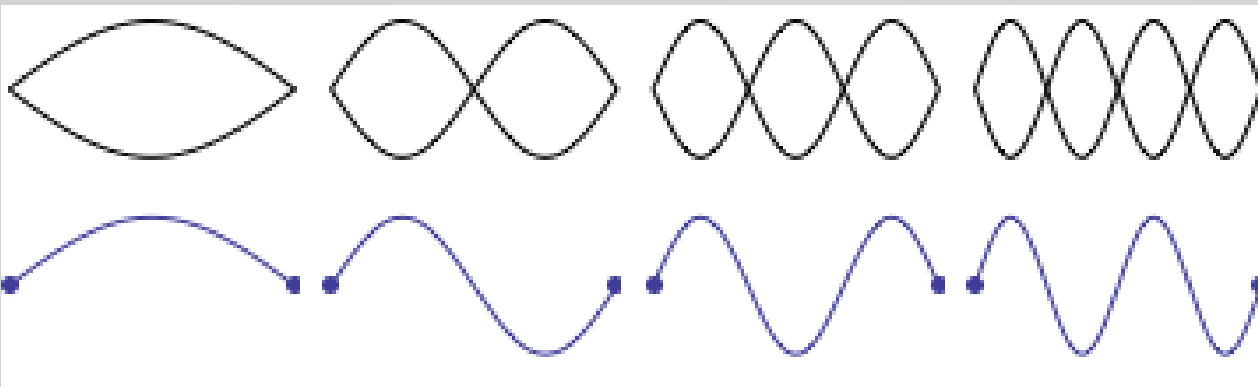
©2018, Dan Russell

Mindkét végén rögzített vagy mindkét végén szabad közegben keletkező állóhullámok

- Ha mindkét vég rögzített, akkor „n” duzzadóhellyel rendelkező állóhullámok kialakulásának feltétele:
- Ha mindkét vég szabad, akkor „n” csomóponttal rendelkező állóhullámok kialakulásának feltétele:

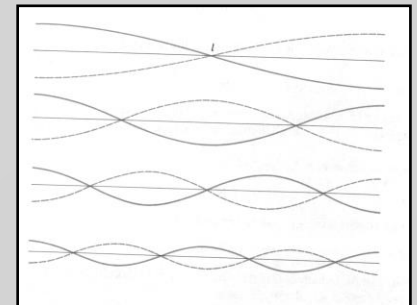
$$l = n \cdot \frac{\lambda}{2}$$

$$l = n \cdot \frac{\lambda}{2}$$

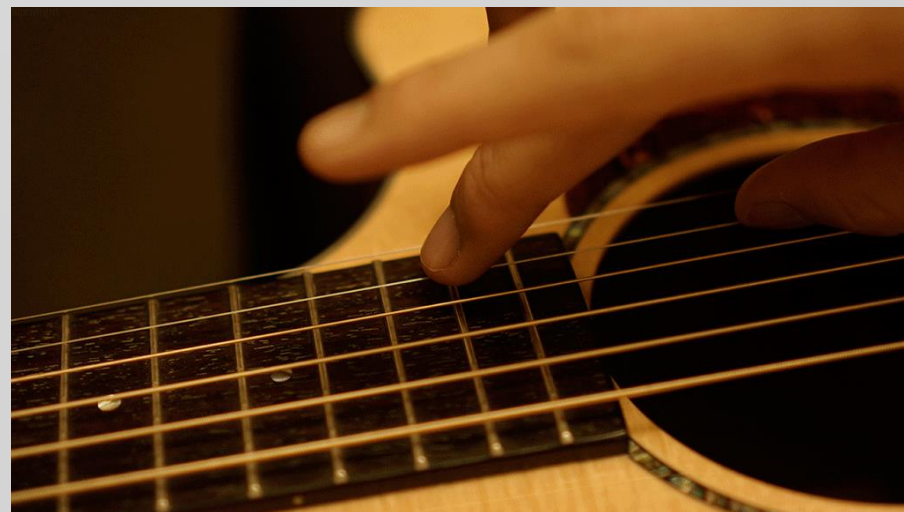


first harmonic or fundamental frequency

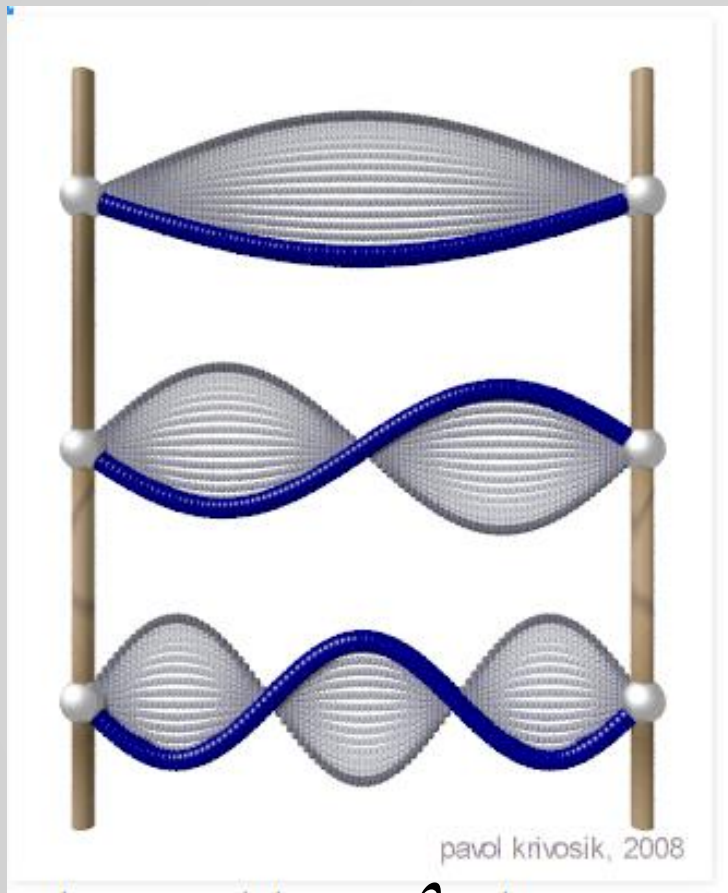
pipe side view



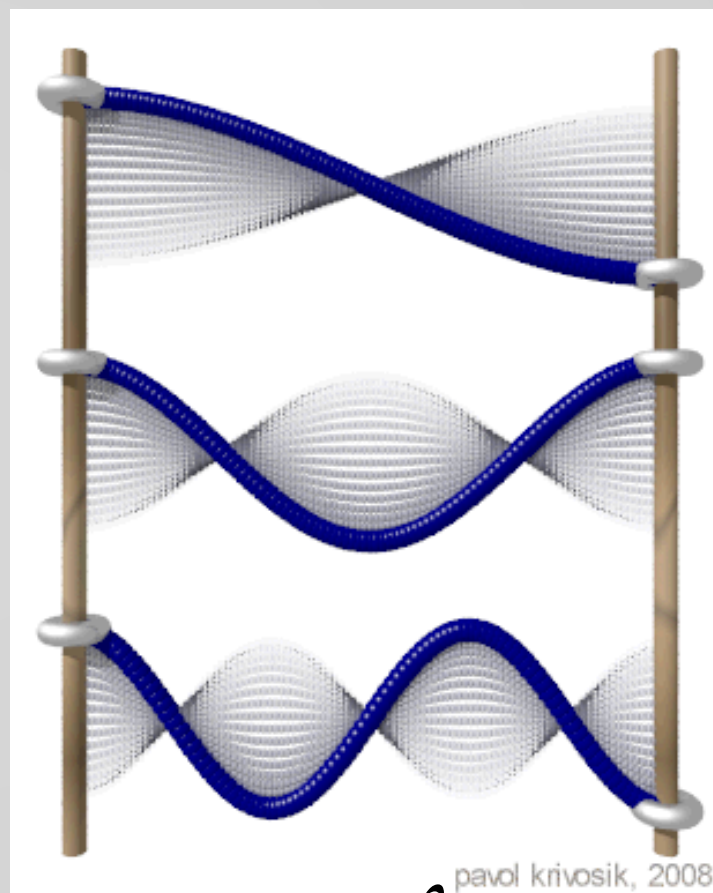
Állóhullámok gitárhúrban



Mindkét végén rögzített vagy mindkét végén szabad közegben keletkező állóhullámok



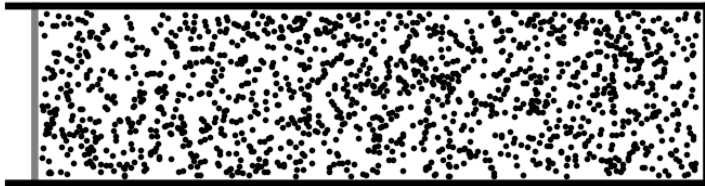
$$l = n \cdot \frac{\lambda}{2}$$



$$l = n \cdot \frac{\lambda}{2}$$

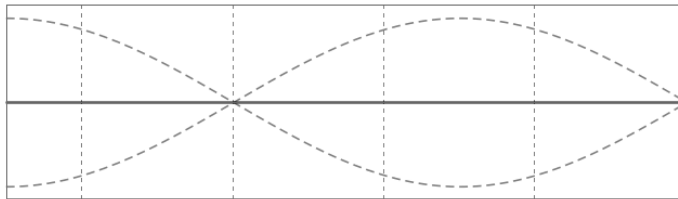
Egyik végén nyitott sípok

Kiegészítés

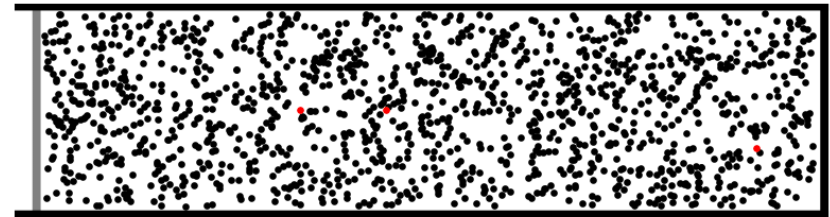
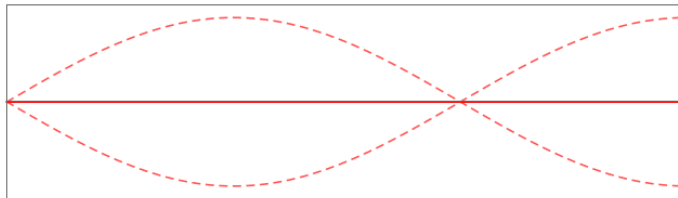


©2020, Dan Russell

Longitudinal Displacement

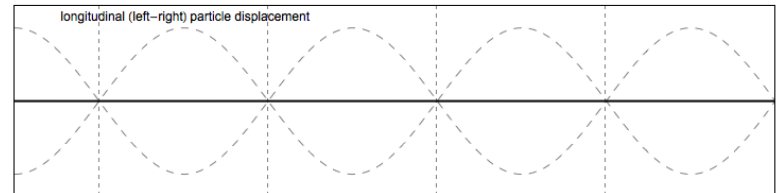


Pressure

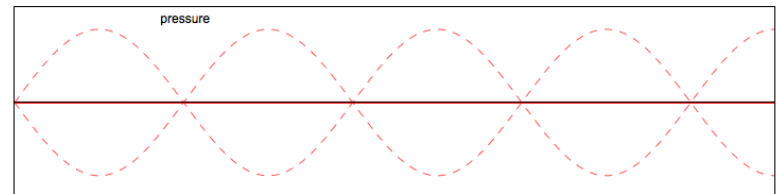


©2012, Dan Russell

longitudinal (left-right) particle displacement



pressure



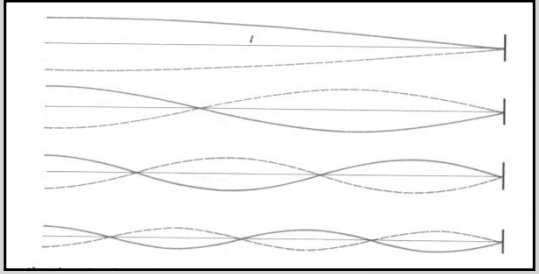


Egyik végén rögzített mások végén szabad közegben keletkező állóhullámok

- Ha az egyik vég rögzített, a másik szabad, akkor a $\frac{\lambda}{4}$ páratlan számszorosa mérhető fel:

Kiegészítés

$$l = (n - 1) \frac{\lambda}{4}$$



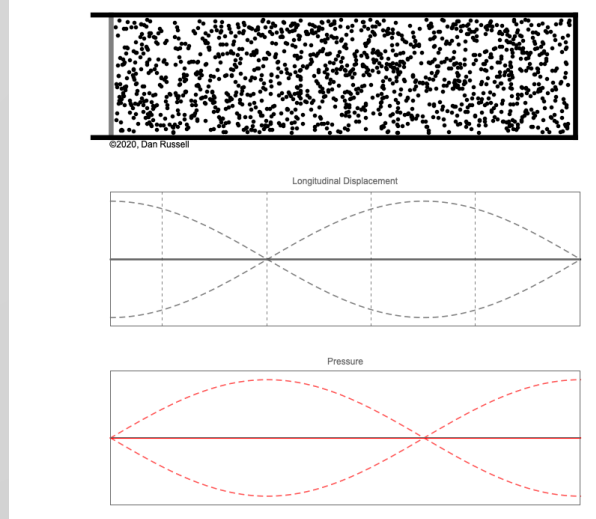
Csak olyan rezgések esetén kelthető állóhullám, amely esetén:

- Két rögzített vagy két szabad vég esetén a frekvencia

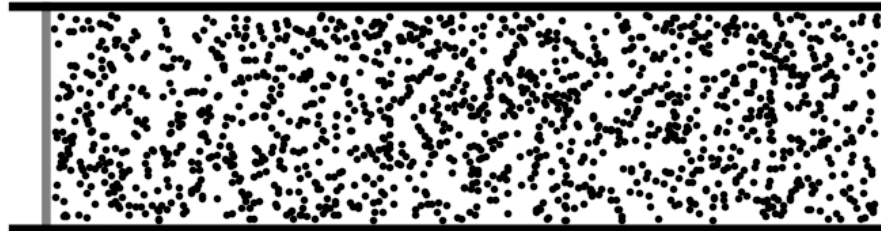
$$f = n \cdot \frac{c}{2 \cdot l}$$

- Egy rögzített és egy szabad vég esetén

$$f = (2n - 1) \frac{c}{4 \cdot l}$$

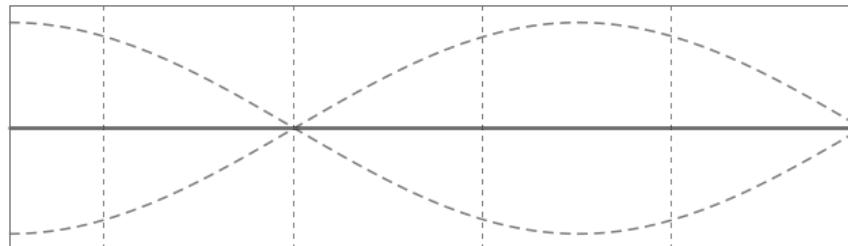


Egyik végén rögzített mások végén szabad közegben keletkező állóhullámok

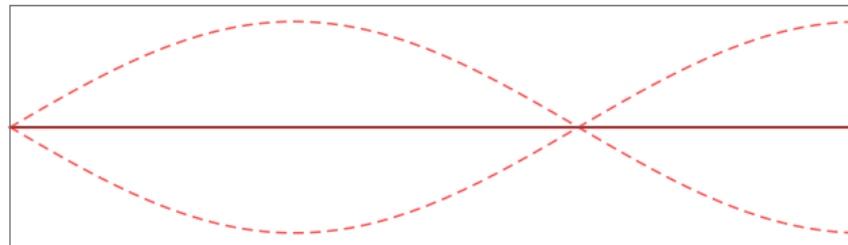


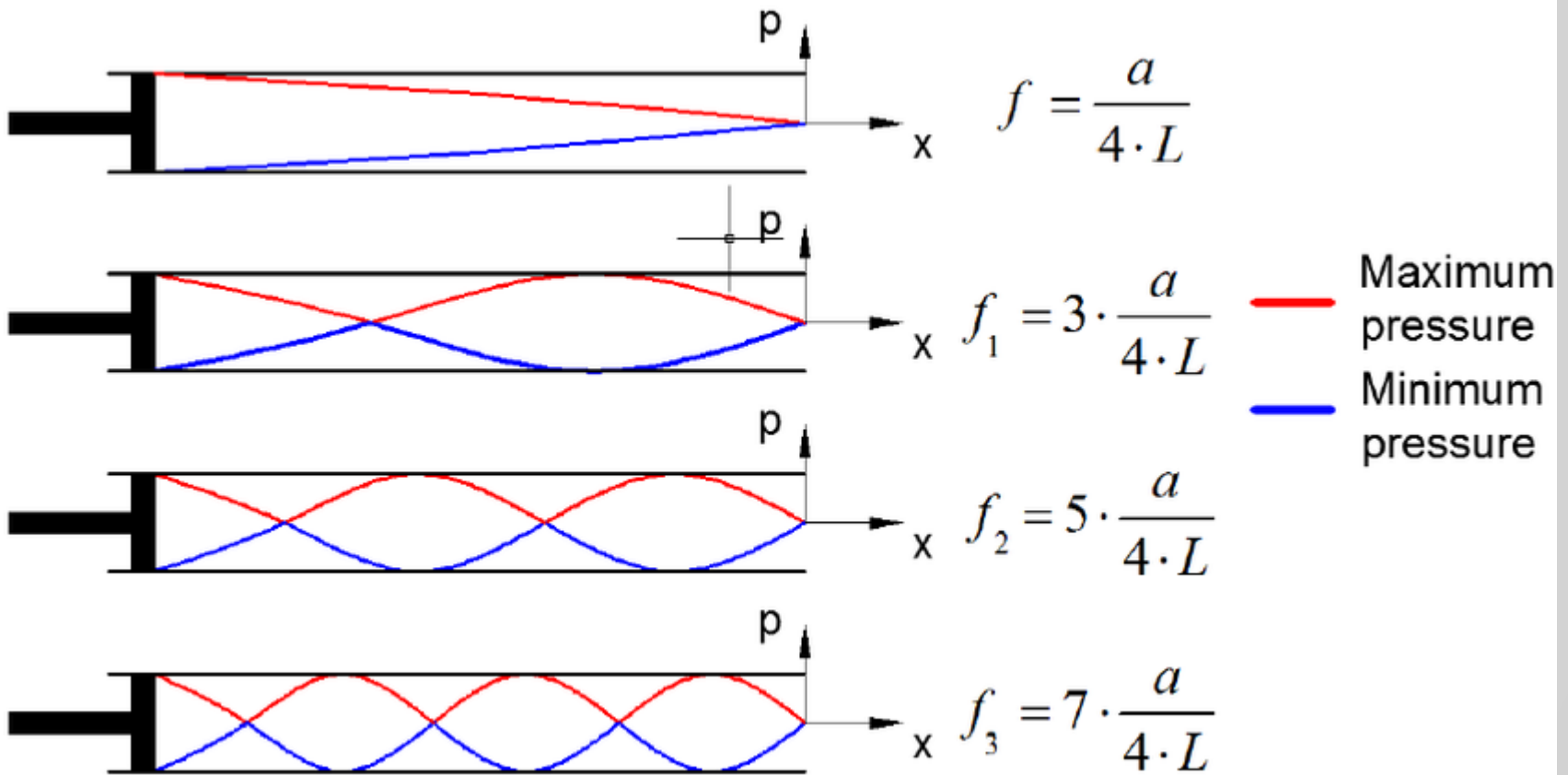
©2020, Dan Russell

Longitudinal Displacement

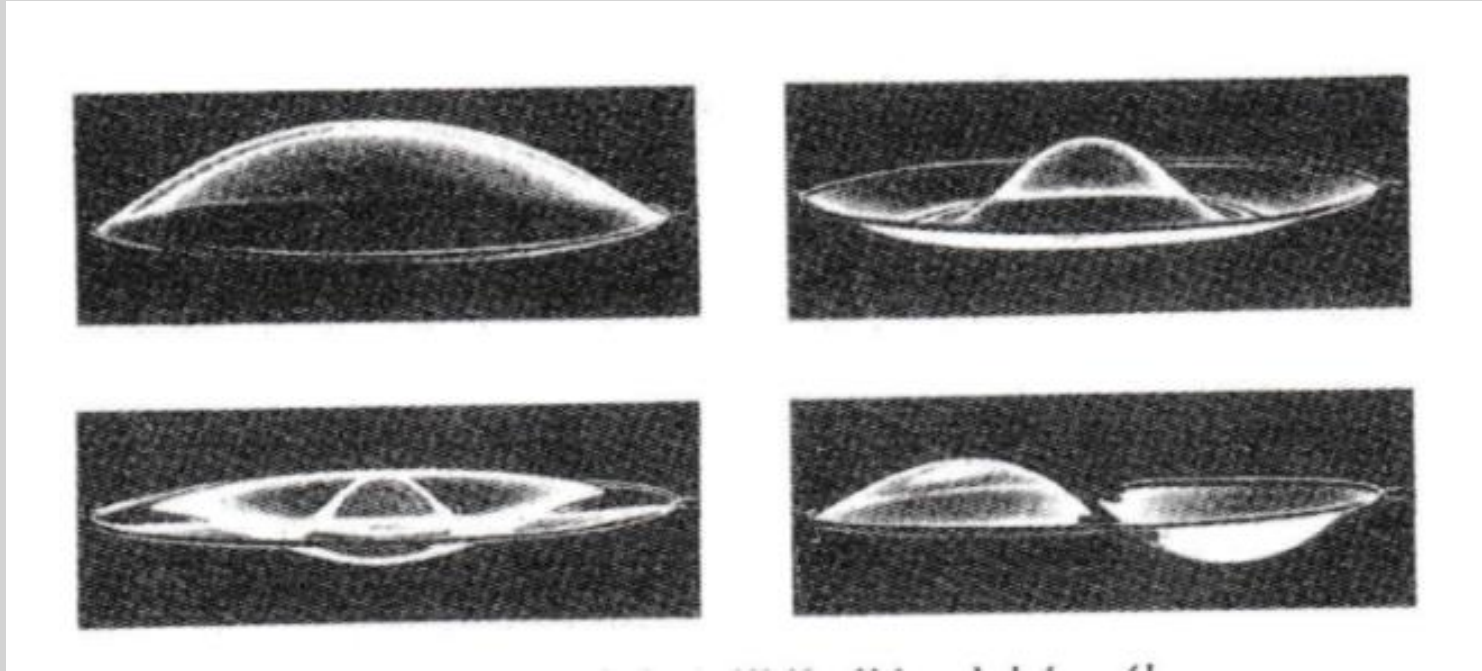


Pressure





Felületi állóhullámok



Állóhullámok nem csak rugalmas pontsoron, hanem rugalmas felületen is létrejöhetnek.

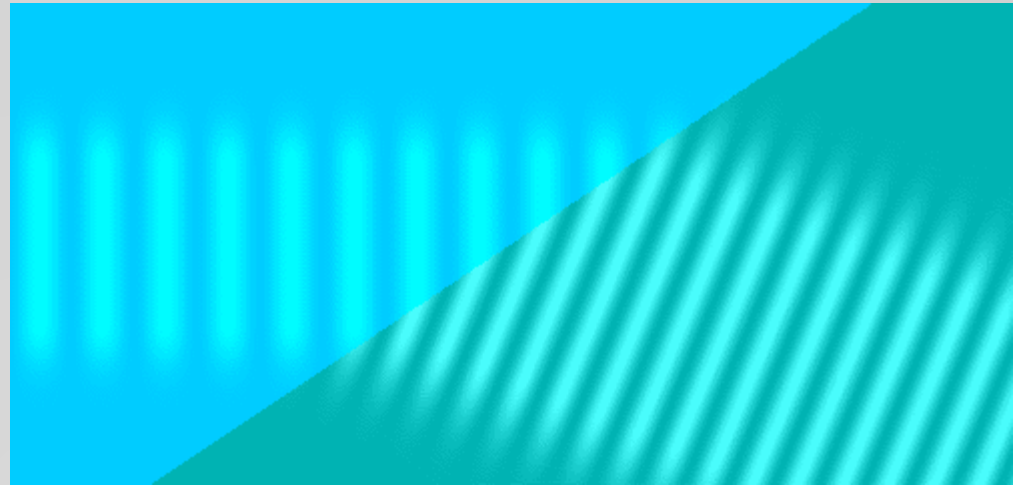
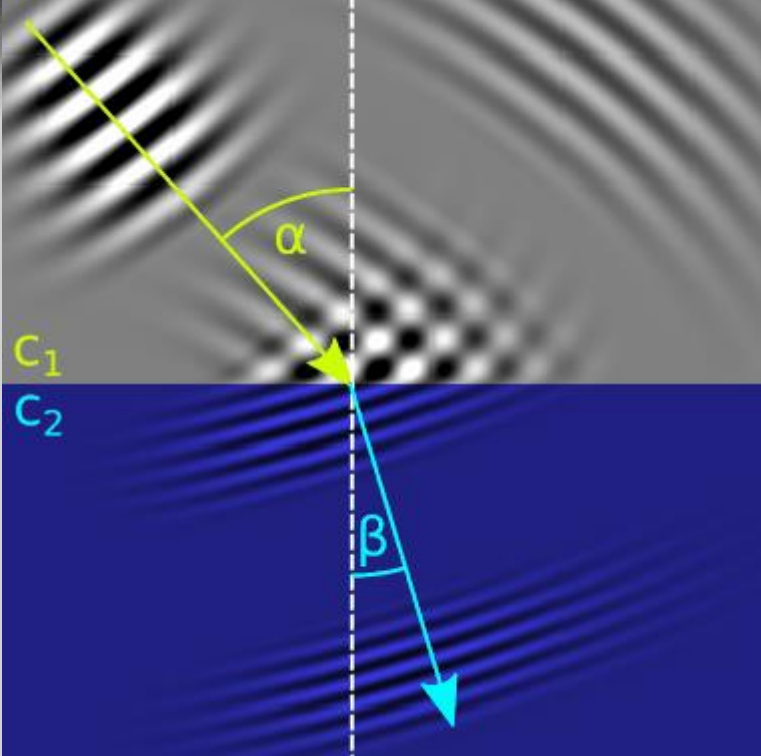
Az ábrán felületi állóhullámok keletkeztek hártyákon. Jól láthatók a kioltások és a duzzadóhelyek.



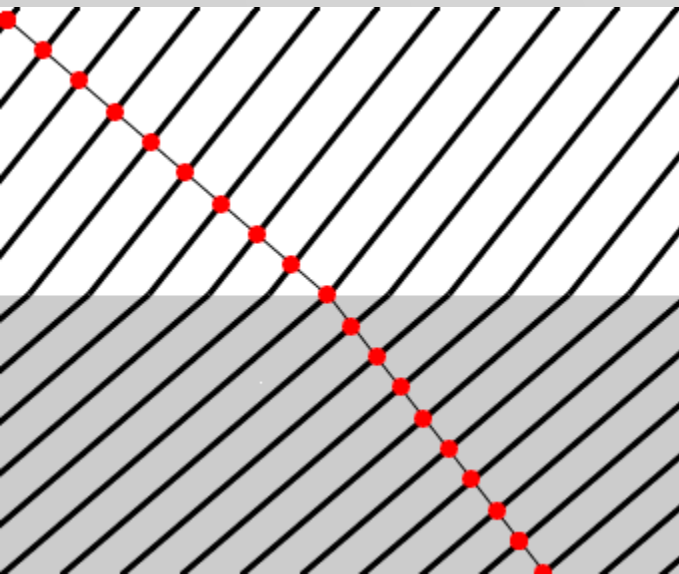
Hullámok viselkedése új közeg határán

Visszaverődés

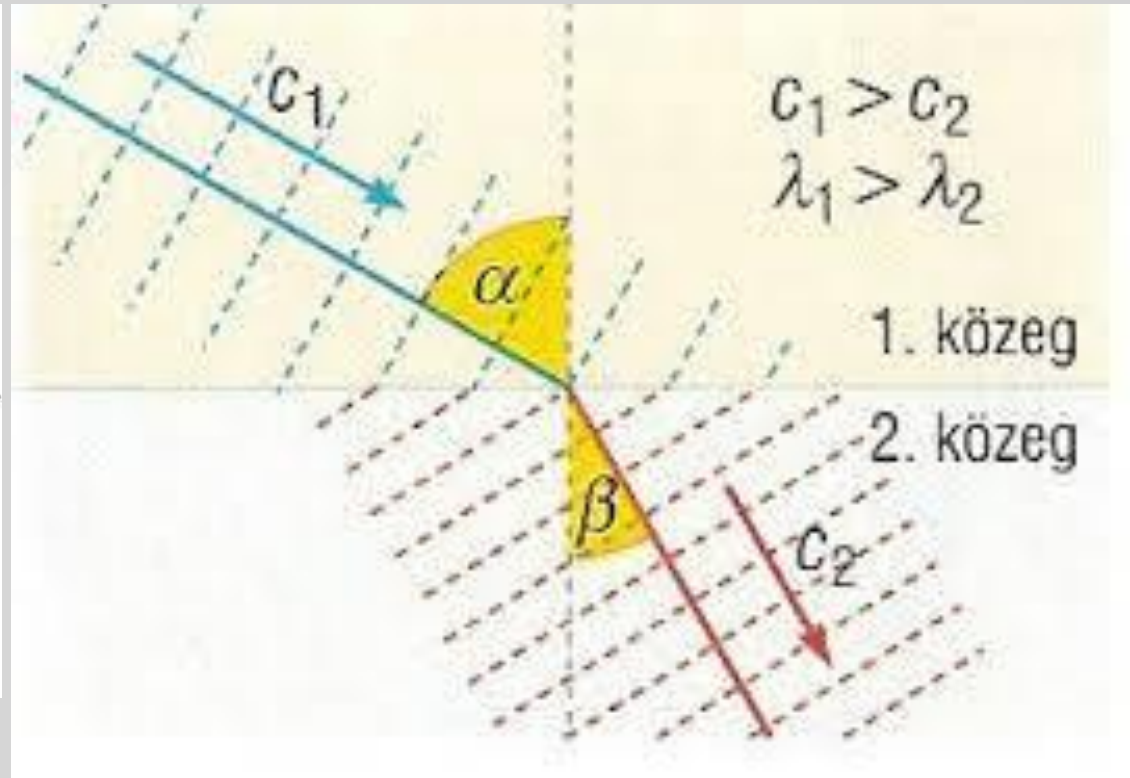
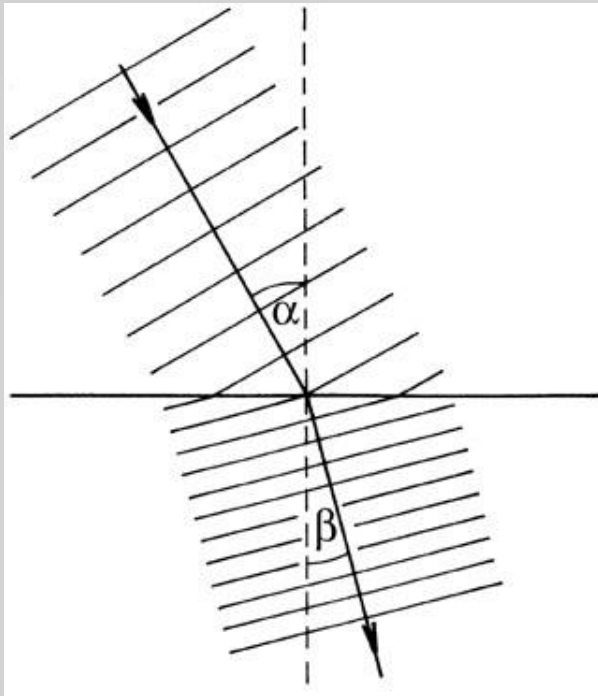
Törés



Hullámok törése



Hullámtörés



Különböző közegek közös határfelületére (nem merőlegesen) érkező és azon áthaladó hullám terjedési iránya és sebessége is megváltozik.

Ez a jelenség a hullámtörés.

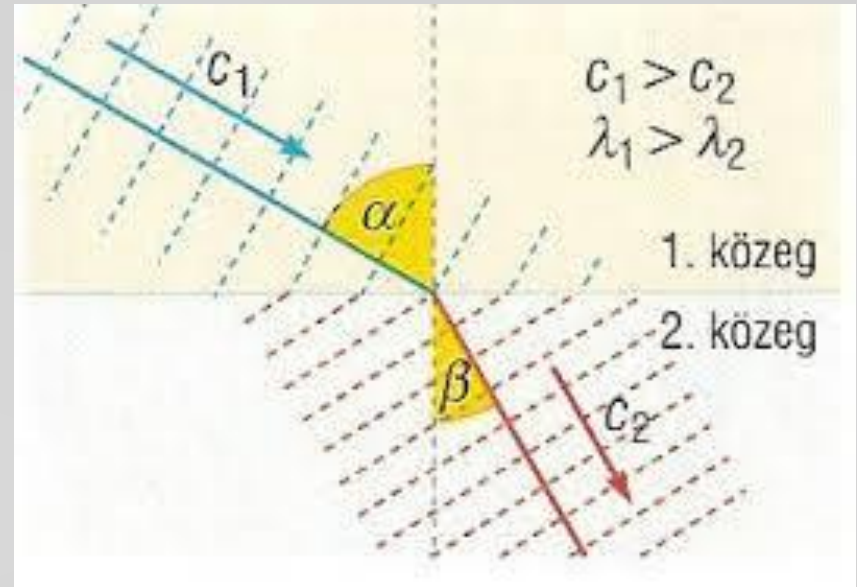
Hullámtani szempontból két közeg **akkor különböző**, ha bennük ugyanannak a hullámnak különböző a terjedési sebessége.

Hullámtörés törvényei

Kiegészítés

Hullámtörés törvényei
(Snellius_Descartes
törvény):

1. Térbeli hullámok esetén a beeső sugár, a beesési merőleges és a megtört sugár egy síkban van.
2. A beesési szög és a törési szögszínuszának hányadosa állandó.



$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = n_{2,1}$$

c_1 és c_2 a hullám sebessége az egyes közegekben, $n_{2,1}$ a 2-es közegnek 1-es közegre vonatkozó **törésmutatója**.

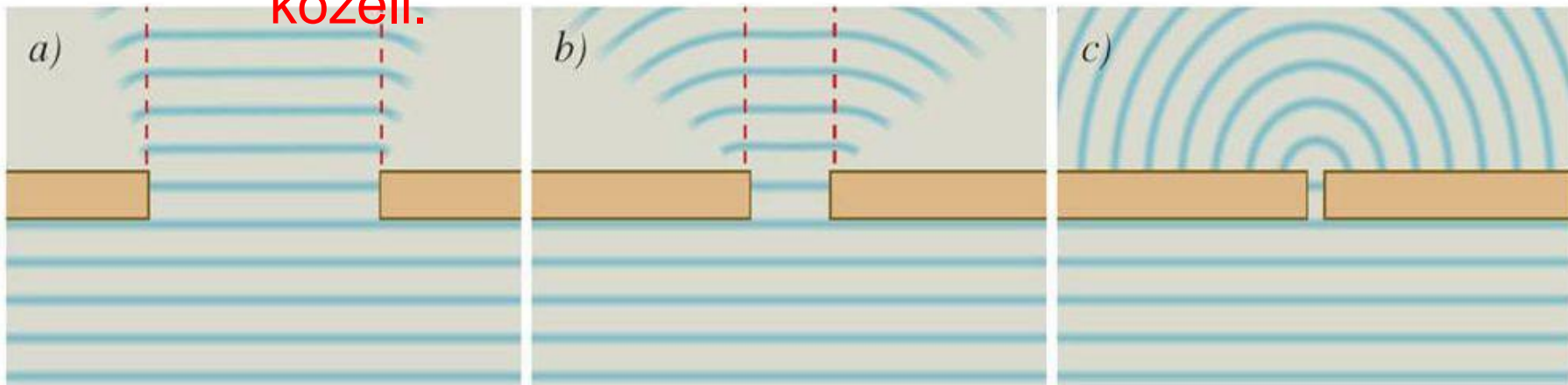


Hullámok elhajlása

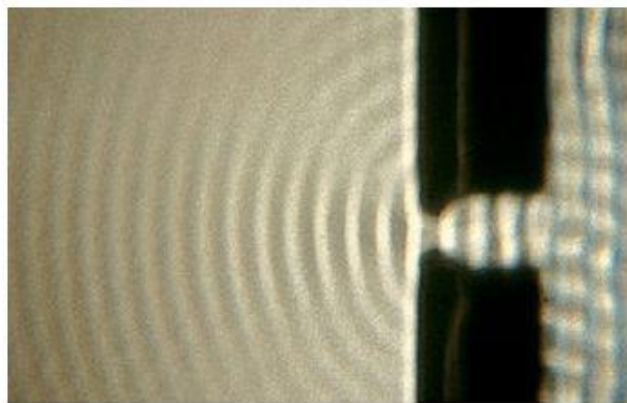
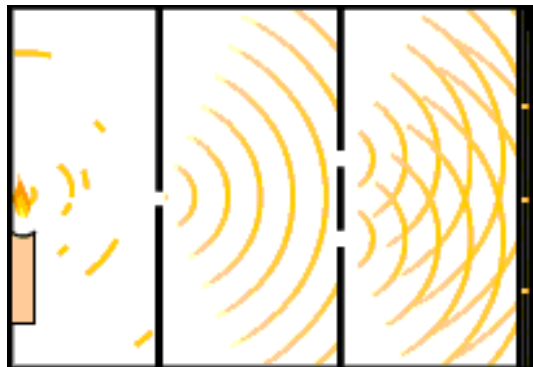
Hullámok elhajlása

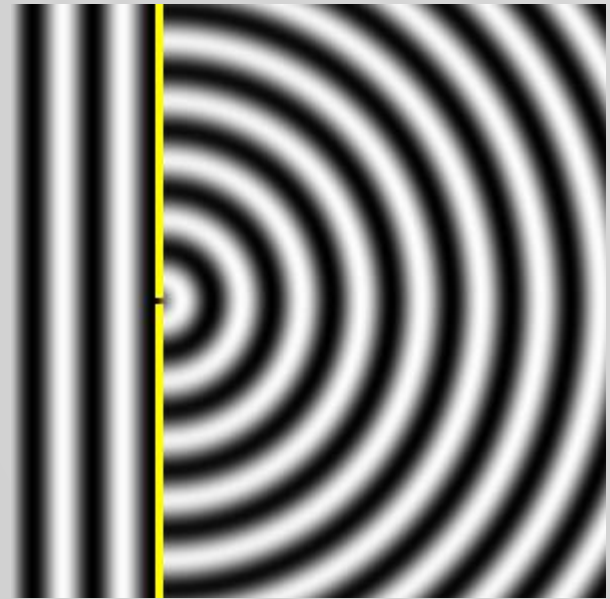
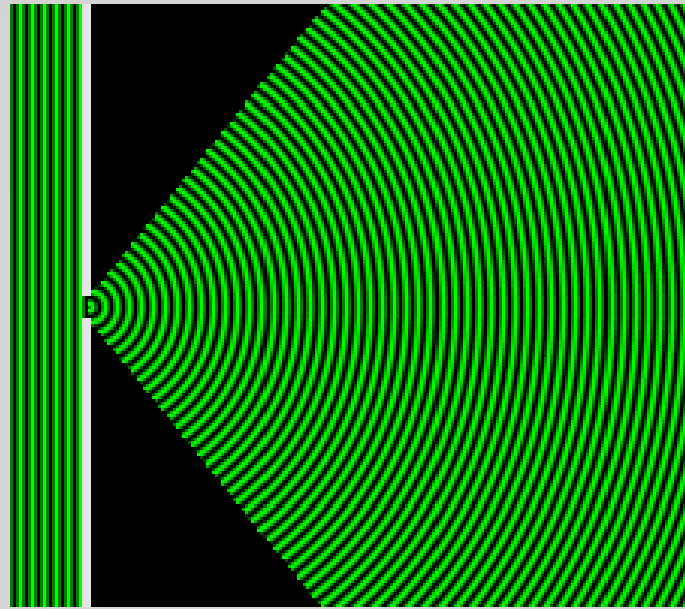
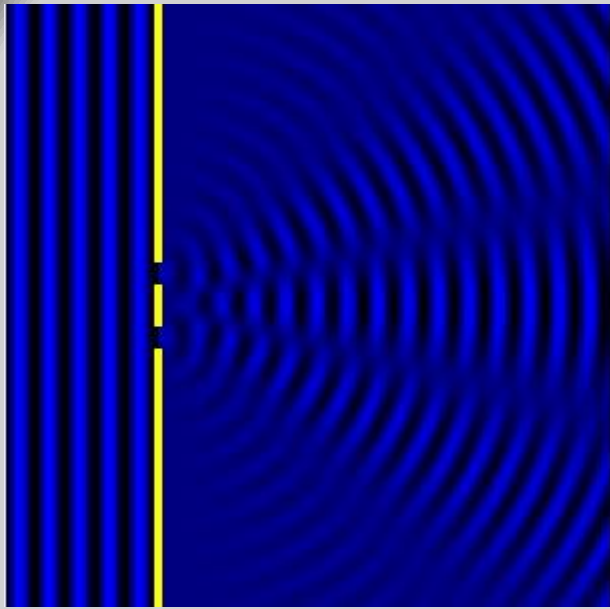
Kiegészítés

Keskeny résen áthaladó hullám nemcsak a rés mögött, hanem a rés melletti fal mögött is kialakulva halad tovább. Ez az **elhajlás** jelensége. **Akkor domináns, amikor a rés mérete hullámhossz közeli.**

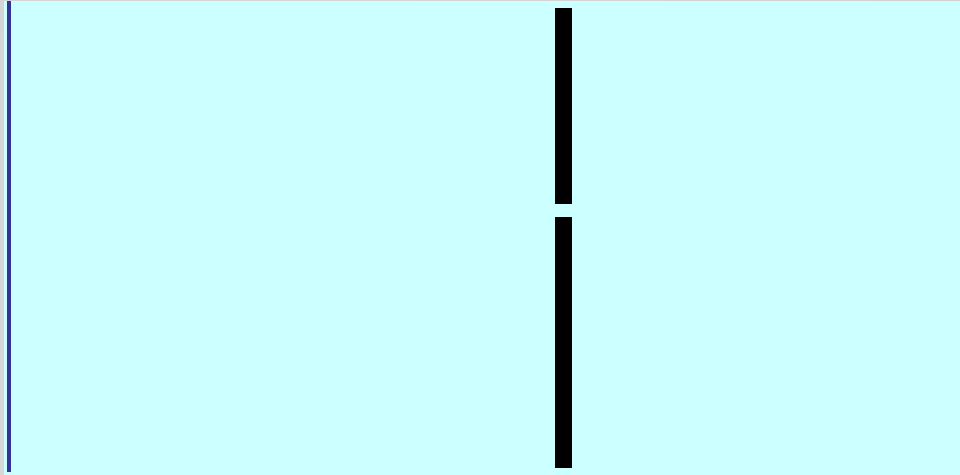
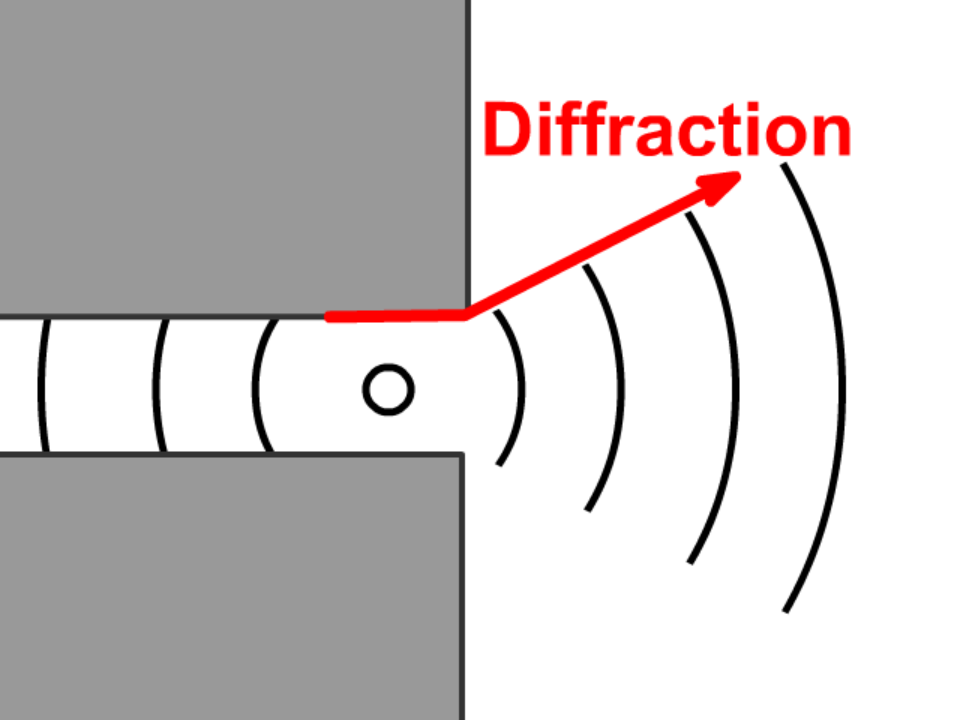


Minél kisebb a „kapu”, annál jobban behatol a hullám az árnyéktérbe





Diffraction





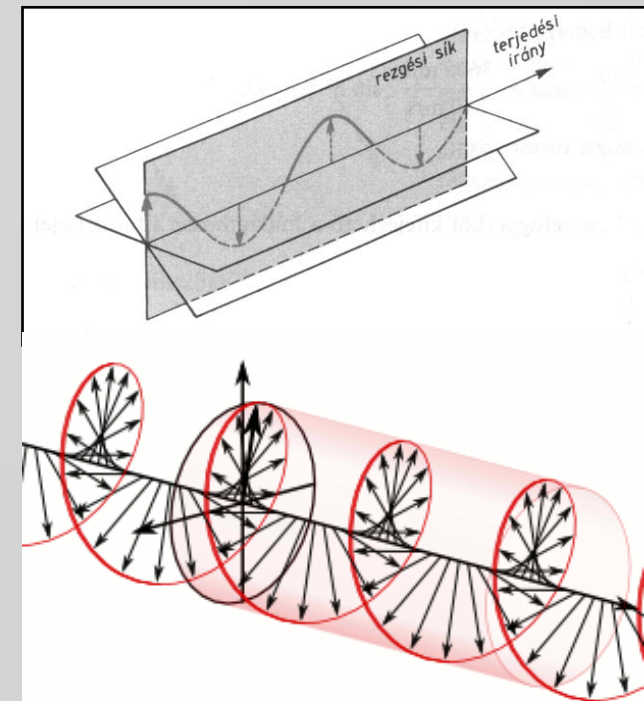
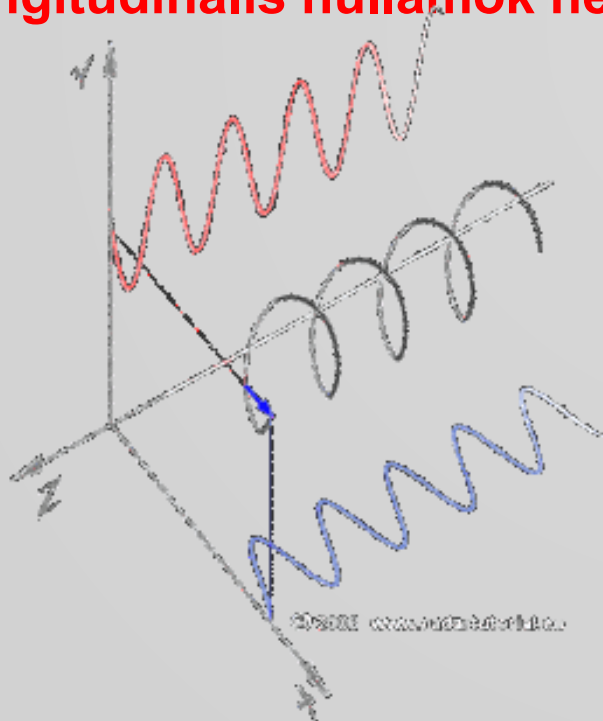
Polarizáció

Polarizáció

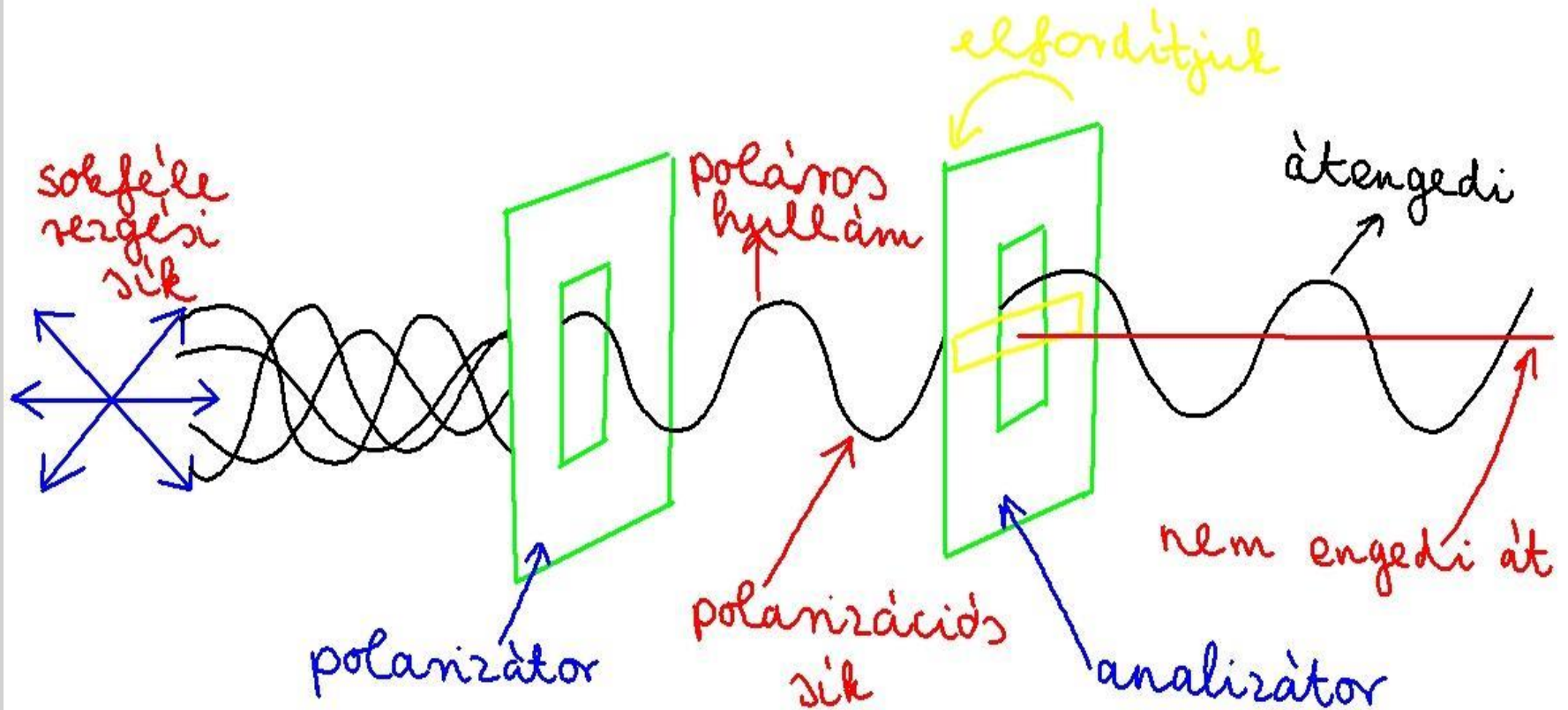
Lineáris polarizáció az a jelenség, amely során a sokféle rezgési síkkal rendelkező hullámból lineárisan poláros hullám jön létre.

Megjegyzés: Nem csak lineárisan polarizált hullámok léteznek. (A polarizációnak alapvetően három típusa van: a lineáris, a cirkuláris és az elliptikus polarizáció.)

Fontos, hogy csak a transzverzális hullámok polarizálhatók a longitudinális hullámok nem!

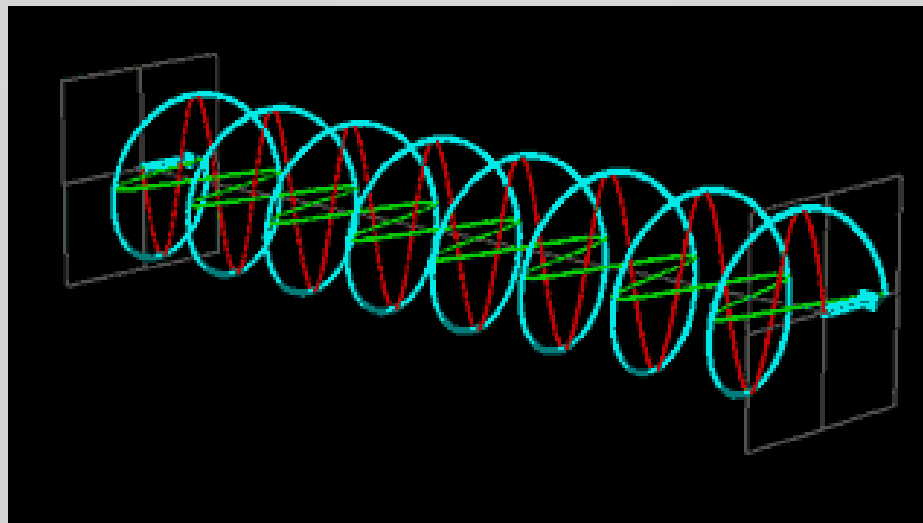
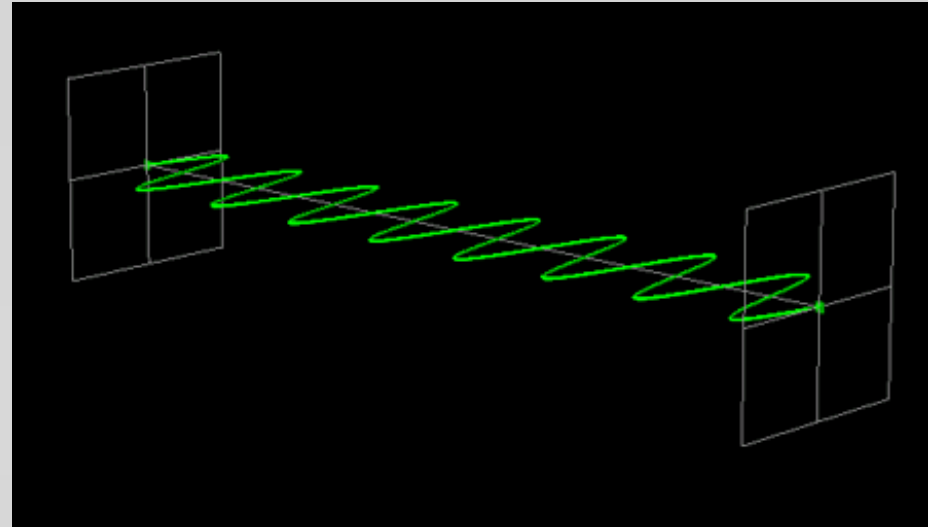
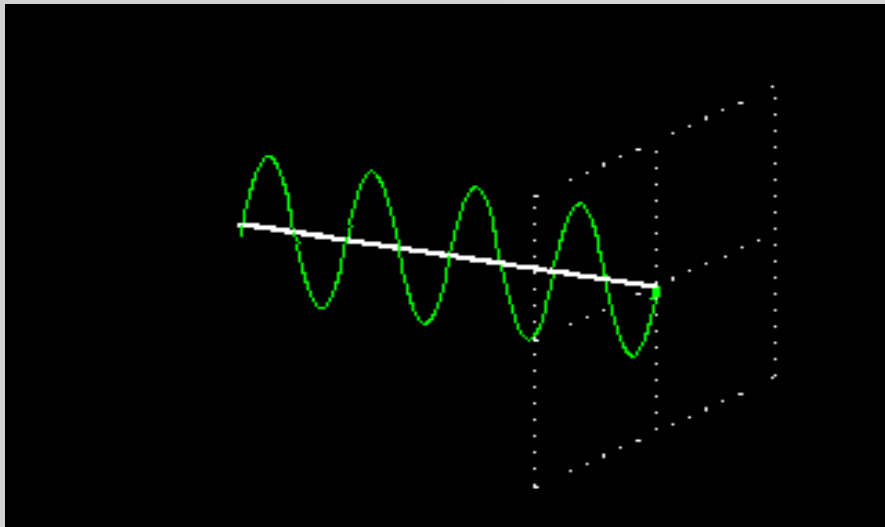


Polarizáció





Polarizált hullámok (animációk)



F	200-400 km		Nap UV sugárzása hozzá létre
E	150 km		Nappali, éjjel nem tűnik el teljesen
D	50-90 km		Nappali, éjjel eltűnik

The diagram illustrates the relationship between ionospheric layers and radio frequencies. A ground station is shown at the bottom left. Lines indicate the following frequency ranges:

- <30 MHz:** Points to the F layer.
- >2.5 MHz:** Points to the E layer.
- 1 MHz - 2.5 MHz:** Points to the D layer.
- >3 MHz:** Points to the F layer.
- 200kHz - 2 MHz:** Points to the D layer.
- <200 kHz:** Points to the ground level.



Feladatok



Ismétlő kérdések

- Mit nevezünk hullámmozgásnak?
- Hogyan csoportosíthatók a hullámok?
- Mi a különbség a transzverzális és a longitudinális hullámok között?
- Hogyan verődnek vissza a vonalhullámok rögzített illetve szabad végről?
- Mik a visszaverődés törvényei?
- Mikor jön létre interferencia, mi lehet az eredménye?
- Mikor jönnek létre állóhullámok?
- Mit nevezünk polarizációnak?

1. feladat

Mennyi a terjedési sebessége és periódusideje annak a 100 Hz rezgésszámú hullámnak, amelynek a hullámhossza 3,4m?

Adatok:

$$f = 100 \text{ Hz}$$

$$\underline{\lambda = 3,4 \text{ m}}$$

$$c = ?$$

$$T = ?$$

Megoldás:

$$c = f \cdot \lambda = 340 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$T = \frac{1}{f} = 0,01 \text{ s}$$

2. feladat

Egy tengeralattjáró 100 Hz-es hullámot kelt. Ezt a hullámot a hullámkeltés kezdete után 2 másodperccel később észlelik a 3 km távolságban lévő megfigyelők. Mekkora a hullám hullámhossza?

Adatok:

$$f = 100 \text{ Hz}$$

$$t = 2 \text{ s}$$

$$\underline{s = 3 \text{ km} = 3000 \text{ m}}$$

$$\lambda = ?$$

Megoldás:

A hullám terjedési sebessége:

$$c = \frac{3000 \text{ m}}{2 \text{ s}} = 1500 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\lambda = \frac{1500 \text{ m}}{100 \text{ Hz}} = 15 \text{ m}$$

3. feladat

Milyen periódusidejű hangforrás kelt levegőben, illetve vízben 77 cm hullámhosszúságú hanghullámot?

A hang terjedési sebessége levegőben 340 m/s, vízben 1450 m/s.

Adatok:

$$c_{\text{levegő}} = 340 \text{ m/s}$$

$$c_{\text{víz}} = 1450 \text{ m/s}$$

$$\lambda = 77 \text{ cm} = 0,77 \text{ m}$$

$$T_{\text{levegő}} = ?$$

$$T_{\text{víz}} = ?$$

Megoldás:

$$T_{\text{levegő}} = \frac{0,77 \text{ m}}{340 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 2,26 \cdot 10^{-3} \text{ s}$$

$$T_{\text{víz}} = \frac{0,77 \text{ m}}{1450 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 5,31 \cdot 10^{-4} \text{ s}$$



4. feladat

- A hang sebessége vízben 1450 m/s.
- Milyen távolságra vannak egymástól az egymáshoz legközelebb lévő ellentétes fázisú helyek, ha a rezgésszám 725 Hz?

Adatok:

$$c = 1450 \text{ m/s}$$

$$\underline{f = 725 \text{ Hz}}$$

$$\frac{\lambda}{2} = ?$$

Megoldás:

$$\lambda = \frac{1450 \frac{m}{s}}{725 \text{ Hz}} = 2 \text{ m}$$

$$x = \frac{\lambda}{2} = 1 \text{ m}$$



5. feladat

Kiegészítés

- Hang a vízből levegőbe 45° -os beesési szöggel érkezik.
- Mennyivel térül el eredeti irányától, ha a hang terjedési sebessége levegőben 340 m/s , vízben 1450 m/s ?

Eredmény:
 $35,46^\circ$



Irodalom

- Halász Tibor-Jurisits József-Szücs József: Fizika, Rezgések és hullámok. Modern fizika 11, Mozaik Kiadó, Szeged, 2003
- Gulyás János-Honyek Gyula-Markovits Tibor-Varga Antal (Alkotó szerkesztő: Tomcsányi Péter): Fizika, Mechanika, Műszaki Kiadó, Budapest, 1999
- Szakközépiskolai összefoglaló feladatgyűjtemény, Fizika, Nemzeti Tankönyvkiadó, 1993
- <https://hu.wikipedia.org/wiki/Hullám>
- http://cddemo.szialab.org/index_hu.html