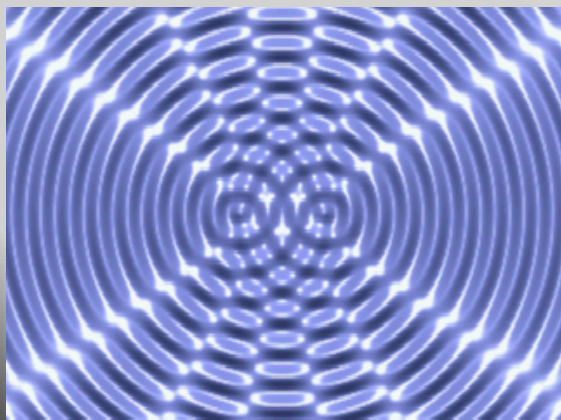


Hullámmozgás

Mechanikai hullámok

Mester András, Diósgyőri Gimnázium



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
- felületi hullám
- térbeli hullám

2. Rezgés iránya szerint:

transzverzális hullám

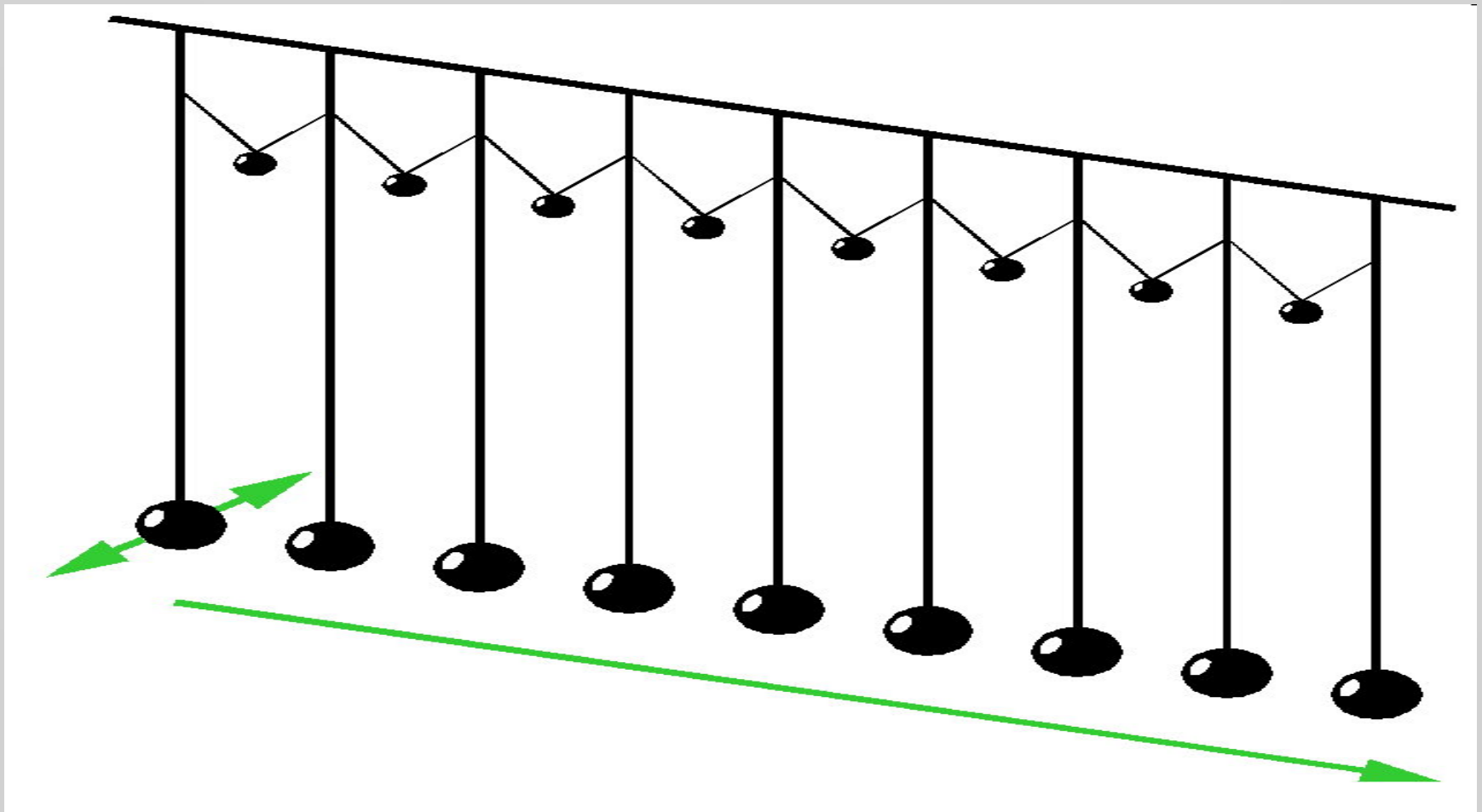


longitudinális hullám

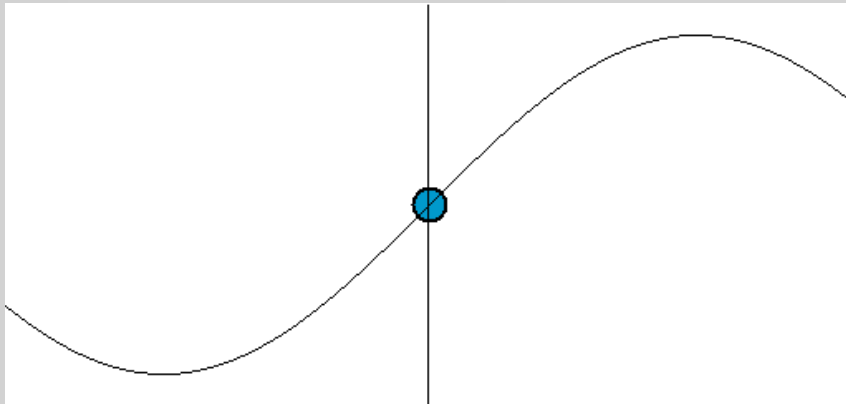




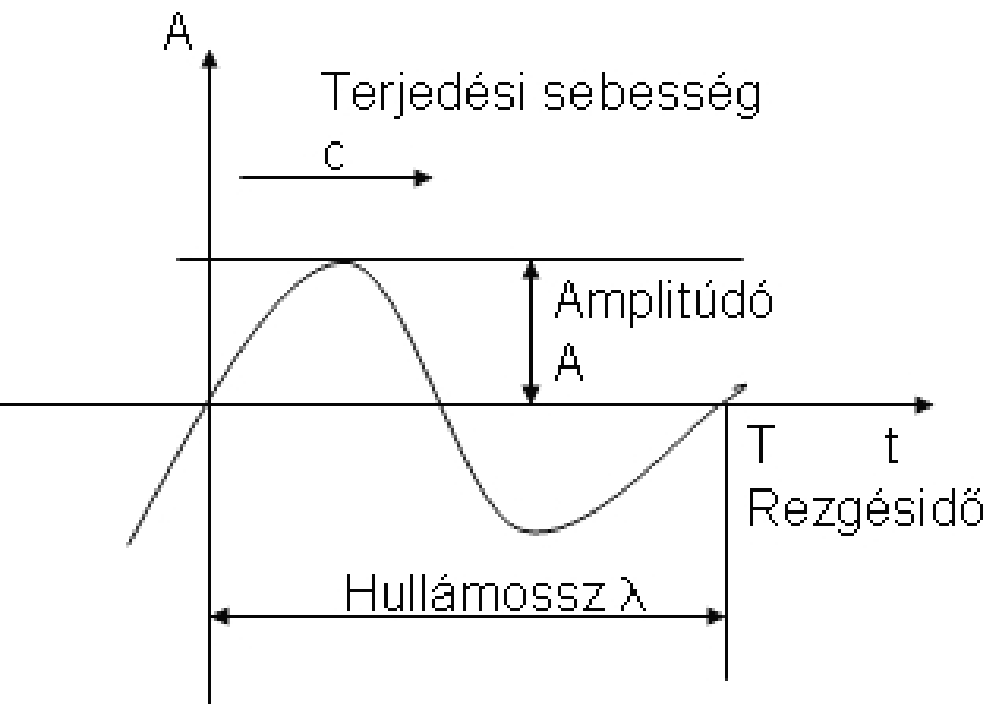
Hullám létrehozása ingasoron



A zavar és nem a részecskék terjednek tovább



- Egyszerű szinuszos transzverzális haladó hullám. A kék pötty harmonikus rezgőmozgást végez, de nem halad. Ez a hullám tekinthető különböző fázisban harmonikus rezgőmozgást végző pontok sorának, ahol csak a hullámfront halad, de az egyes részecskék nem.



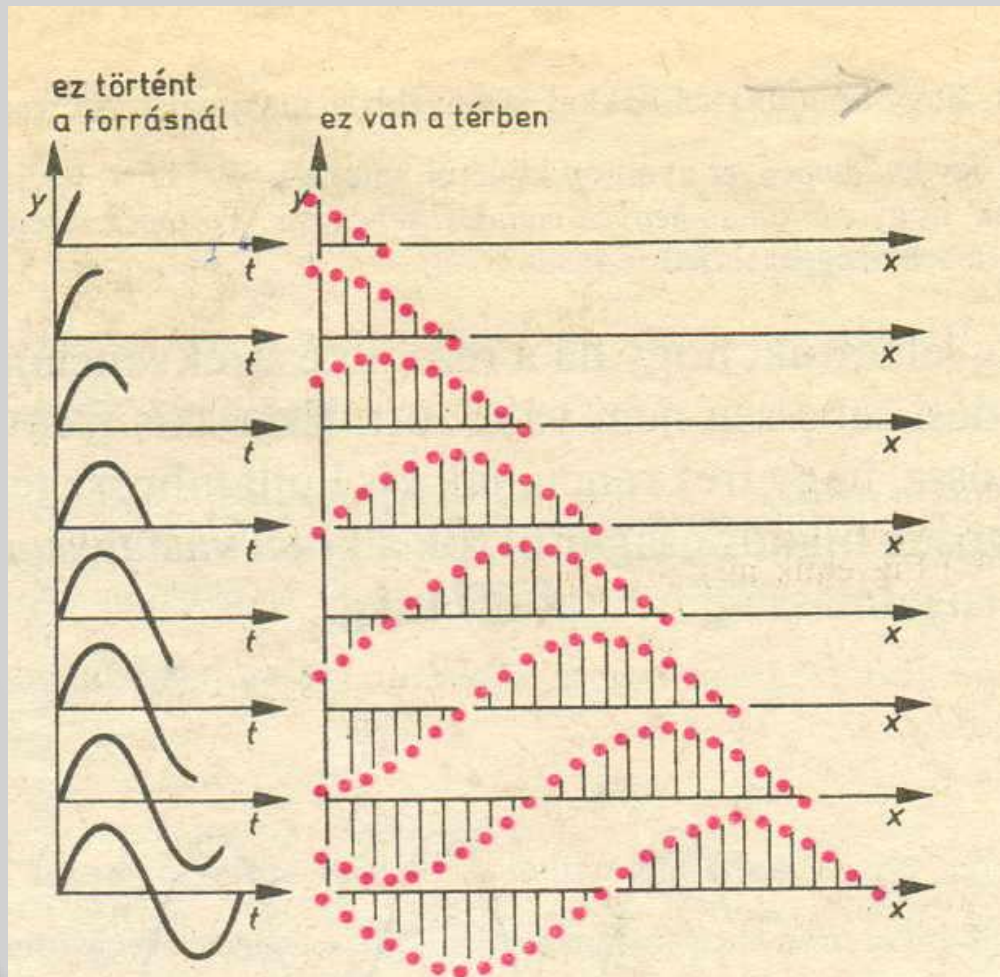
Hullámmozgást jellemző mennyiségek

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.

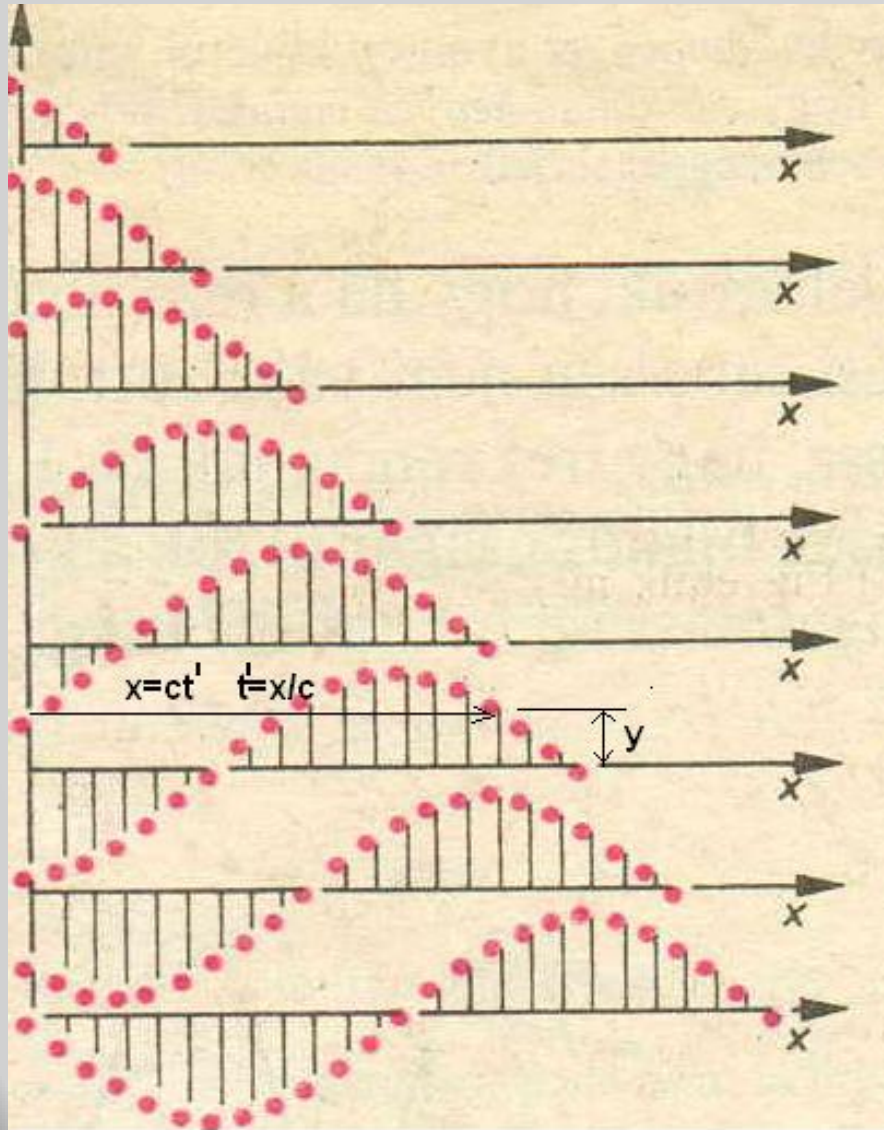
$$c=f \cdot \lambda$$

Hullámok terjedése



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

Hullámegyenlet



Az x helyen lévő részecske azt ismétli, amit az első részecske végzett x/c idővel korábban.

A szinuszhullámok az
 $y(x,t)=A \sin [\omega(t-x /c)]$
összefüggéssel írhatók le.

A bonyolult periodikus
hullámokat a Fourier-
analízist felhasználva,
szinuszhullámok
összegeként adhatjuk meg.



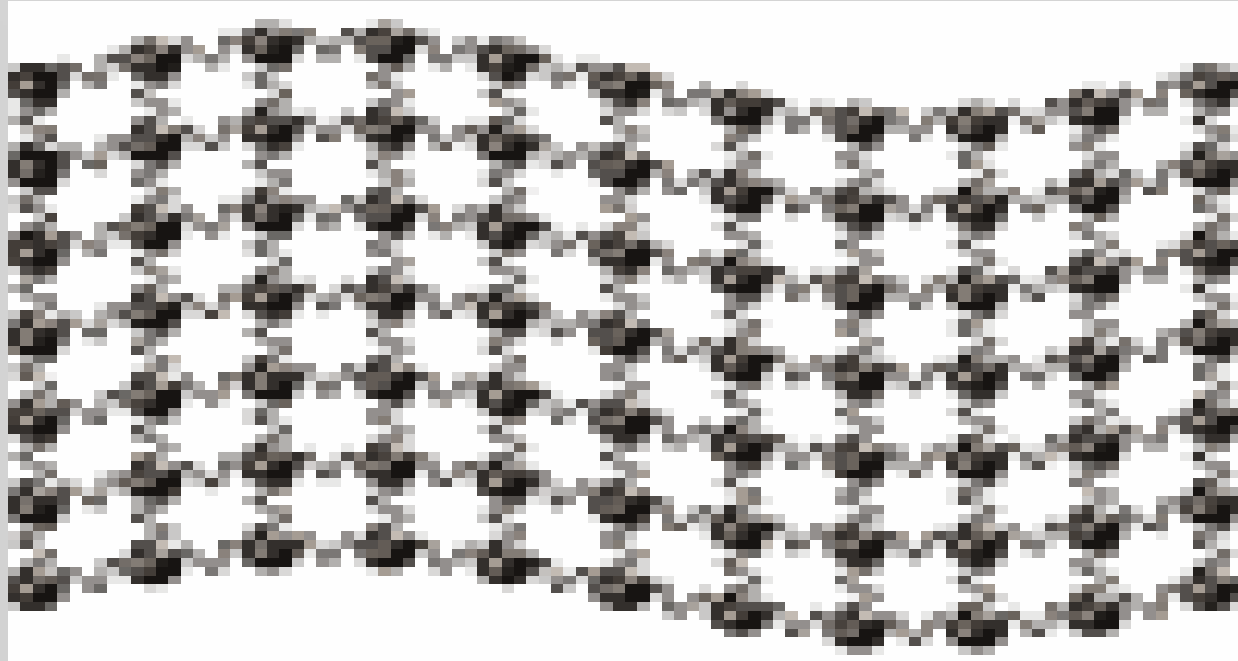
Hullámegyenlet



$$y(x,t) = A \sin [\omega(t - x/c)]$$



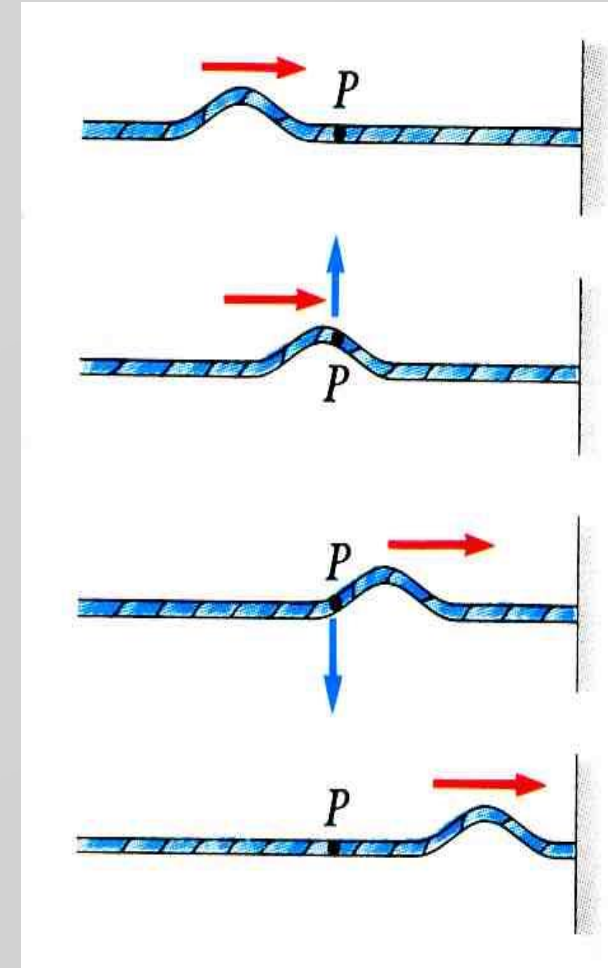
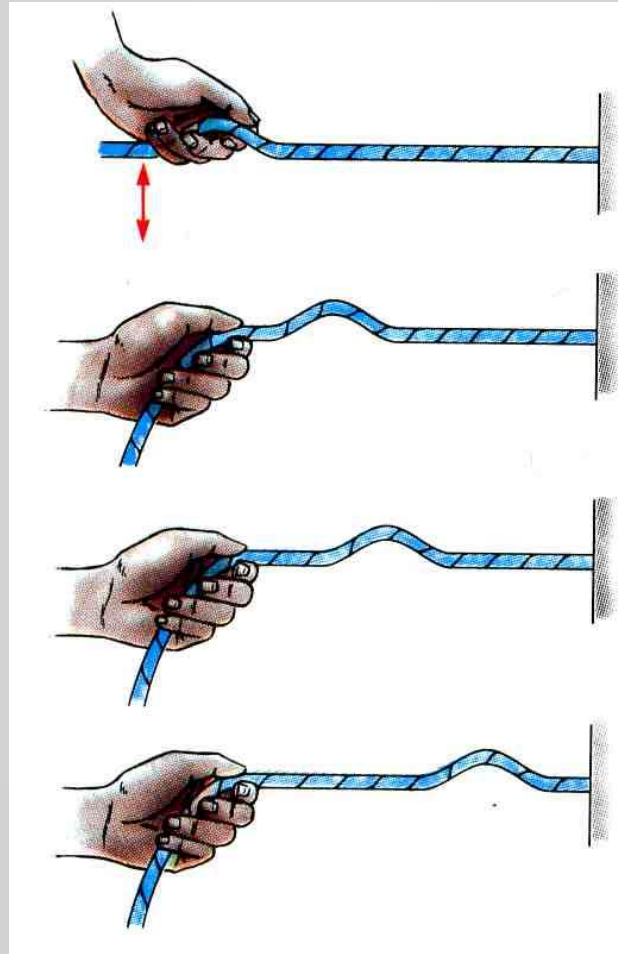
Transzverzális hullámok



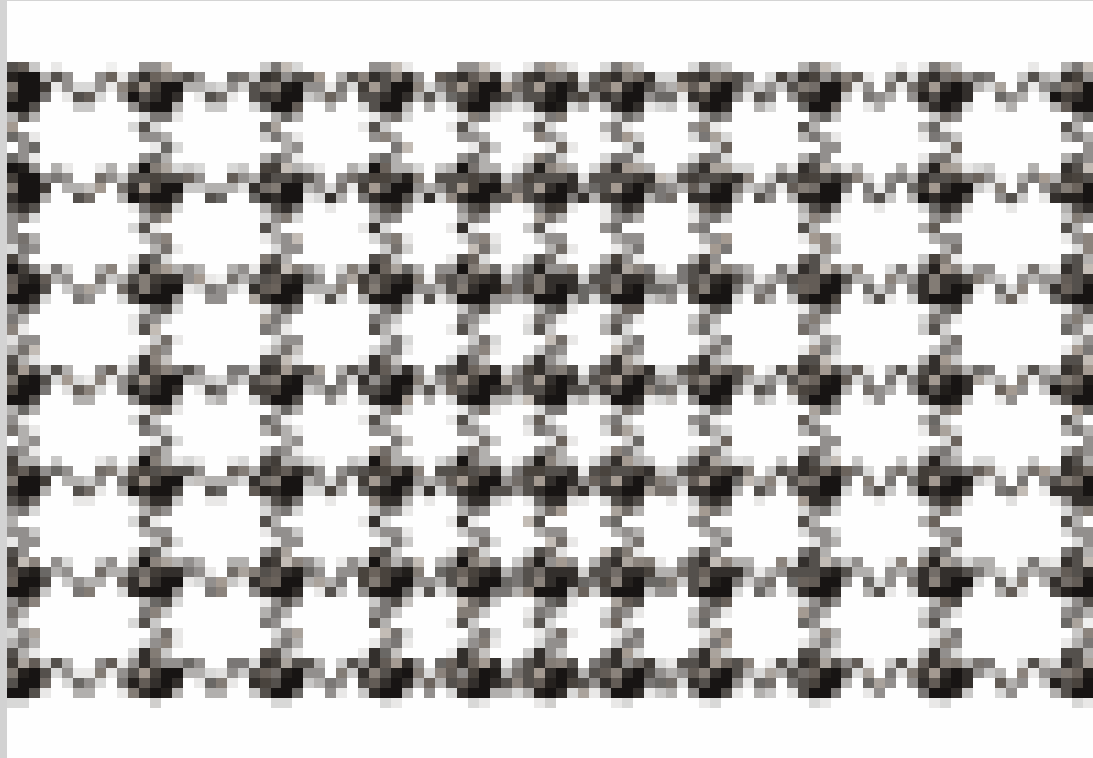
Transzverzális hullámok

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.

A terjedési irány és a részecskék mozgása párhuzamos.

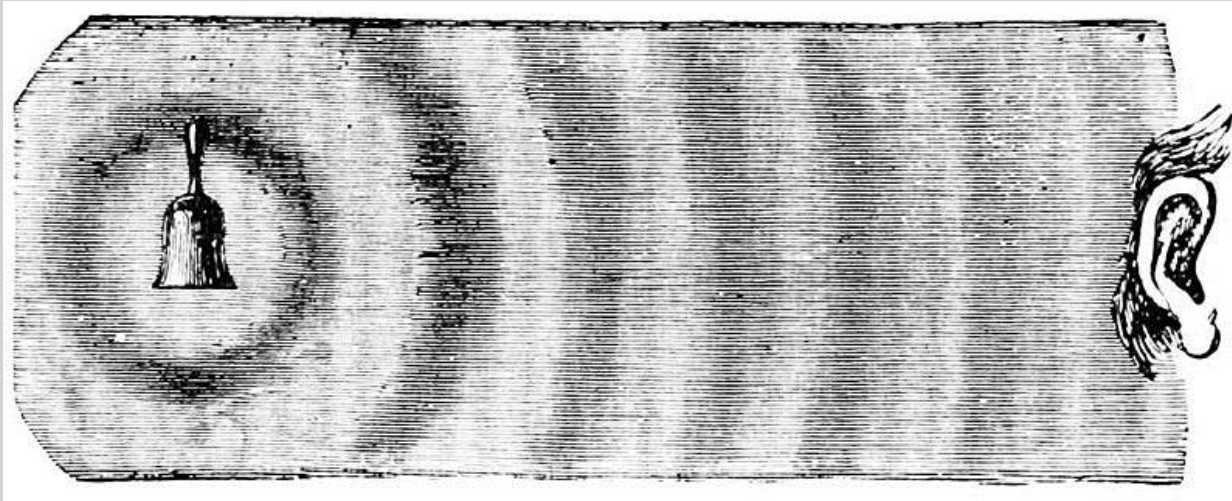


A hanghullámok spektruma

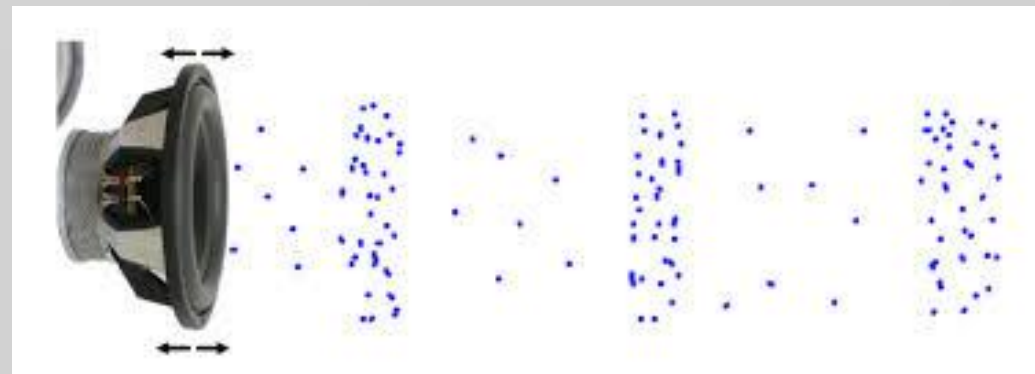
A legismertebb longitudinális
hullámok



Hanghullámok

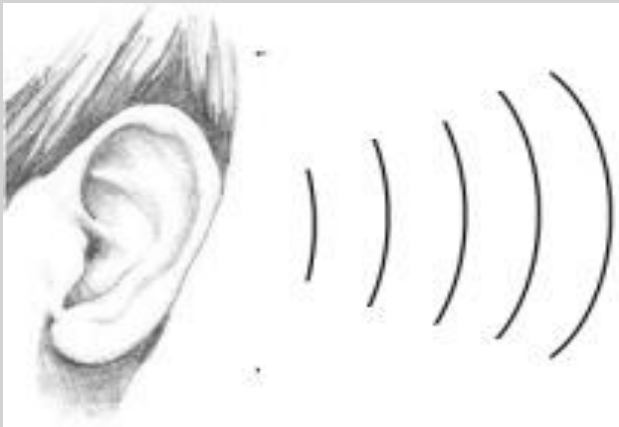


A hanghullámok longitudinális hullámok. A levegő sűrűsödésével és ritkulásával terjednek.





Nem minden hangot hallunk



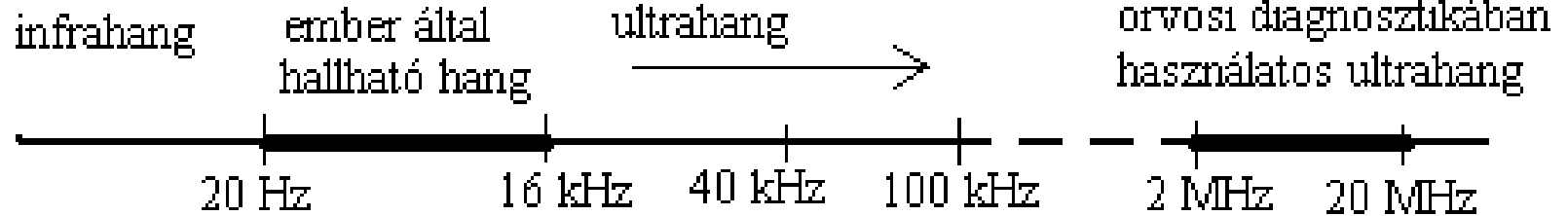
Denevérek

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**.



Halláskontroll

macska
hallásának
határa

denevér
hallásának
határa



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



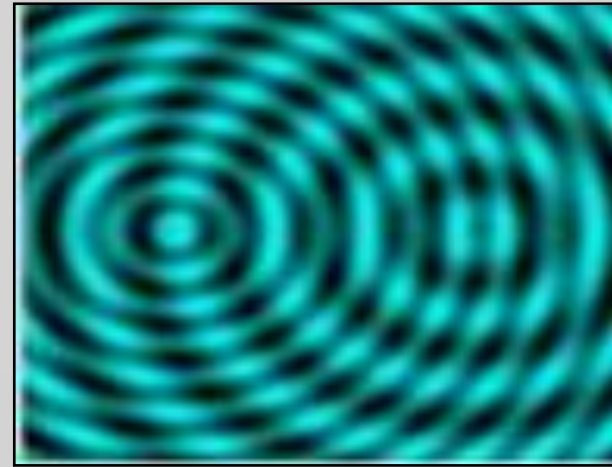
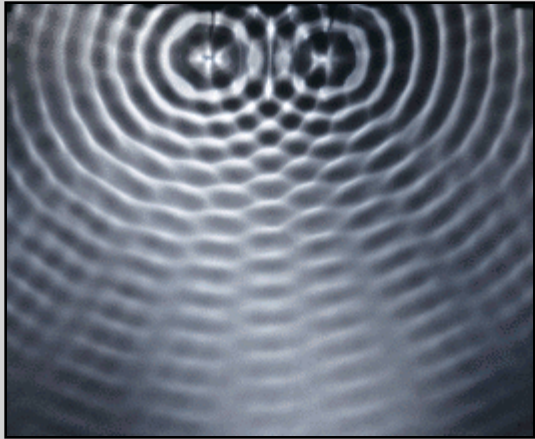


Hullámok találkozása, interferencia

Hullámok interferenciája



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



A tartósan megmaradó mintázatú hullámszuperpozíciót (összegződést) interferenciának nevezzük.

Interferencia során létrejöhethet:

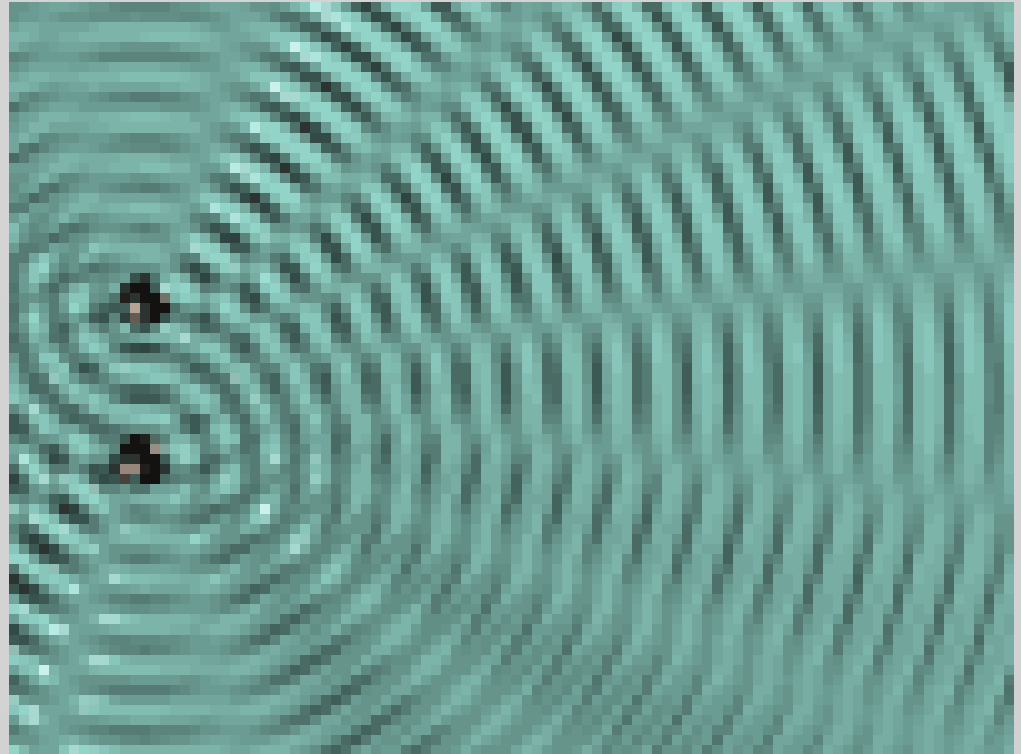
- **Erősítés**
- **Gyengítés**
- **Kioltás**

Interferencia, akár transzverzális, akár longitudinális hullámok esetében létrejöhethet.



Interferencia szemléltetése 1.

Két pontszerű hullámforrásról érkező köralakú hullámok interferenciája.

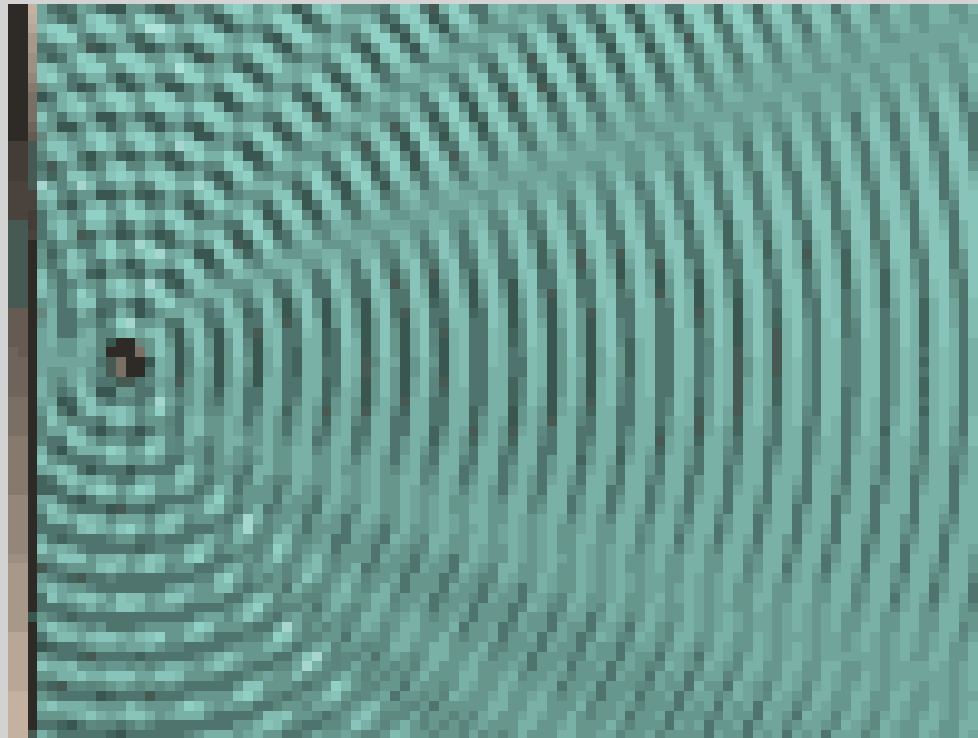


A tér egyes pontjaiban találkozó hullámok fáziskülönbsége állandó, koherensek. (Pl.: amikor két egymáshoz rögzített tűvel rezgetjük a víz felületét.)

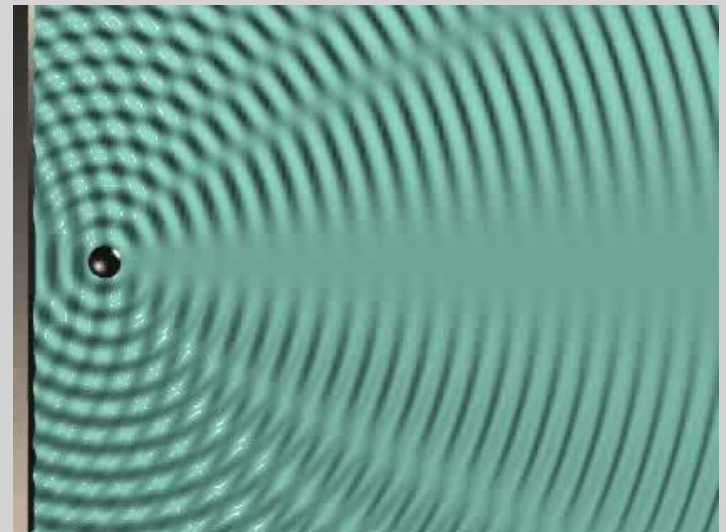


Interferencia szemléltetése 2.

Köralakú hullámok interferenciája a falról visszaverődő hullámokkal, azonos fázisban.



Hullámok interferenciája (animáció)





Interferencia (erősítés)

Ha két koherens (a frekvenciák megegyeznek és a fáziskésés időben állandó) hullám találkozik, akkor az eredő kitérések a két hullám által okozott kitérések összegzésével számíthatók ki.

Fontos esetek:

- a frekvenciák és a fázisok egyenlők: maximális erősítés
- a frekvenciák egyenlők, a fázisok eltérése π többszöröse: maximális gyengítés, esetleg kioltás

A fázisok akkor lesznek egyenlők, ha az azonos kezdőfázisú hullámok a találkozásig

- egyenlő hosszúságú utakat tettek meg
- eltérő hosszúságú utakat tettek meg, de az útkülönbség a hullámhossz többszöröse ill. a félhullámhossz páros számú többszöröse.

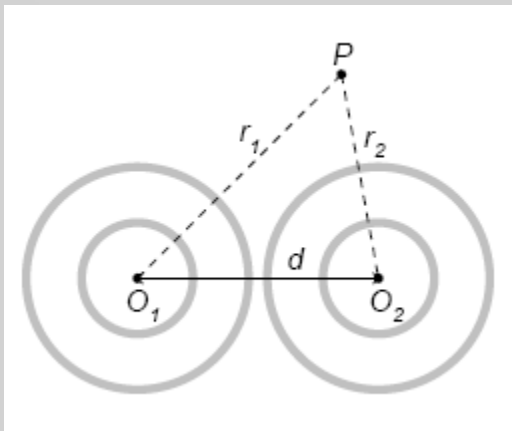
$$\Delta s = k\lambda = 2k \frac{\lambda}{2}$$



Interferencia (gyengítés, kioltás)

A fázisok akkor lesznek ellentétesek, ha az azonos kezdőfázisú hullámok a találkozásig eltérő hosszúságú utakat tettek meg, és az útkülönbség a fél hullámhossz páratlan számú többszöröse:

$$\Delta s = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$$

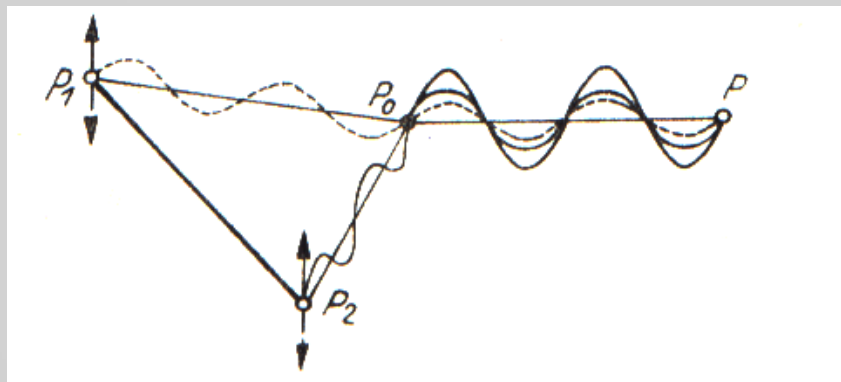


Ebben az esetben a hullámok gyengítik egymást.
Ha az amplitúdók egyenlők, akkor következik be a kioltás.

Interferencia vonal menti hullámok esetén 1.

1) Az azonos fázisban találkozó koherens hullámok erősítik egymást.

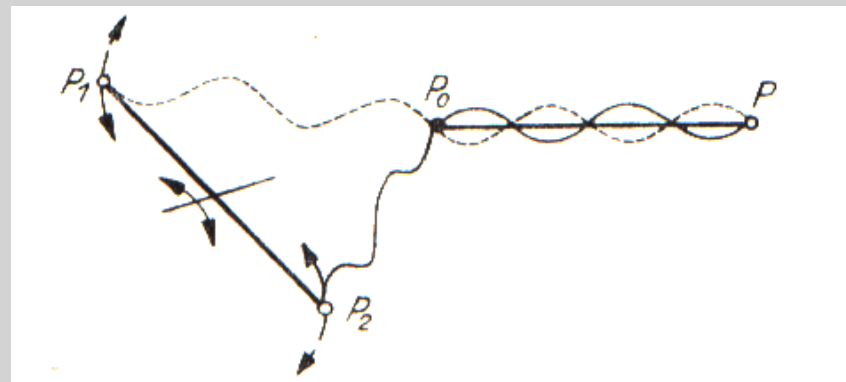
Az eredő amplitúdó: $A = A_1 + A_2$



2) Az ellentétes fázisban találkozó koherens hullámok gyengítik egymást, ha amplitúdójuk megegyezik, akkor kioltják egymást.

Az eredő amplitúdó:

$A = |A_1 - A_2|$ vagy $A = 0$



3) Tetszőleges fázisviszonyok esetén az amplitúdó valamilyen közbülső értéket vesz fel:

$0 < A < A_1 + A_2$

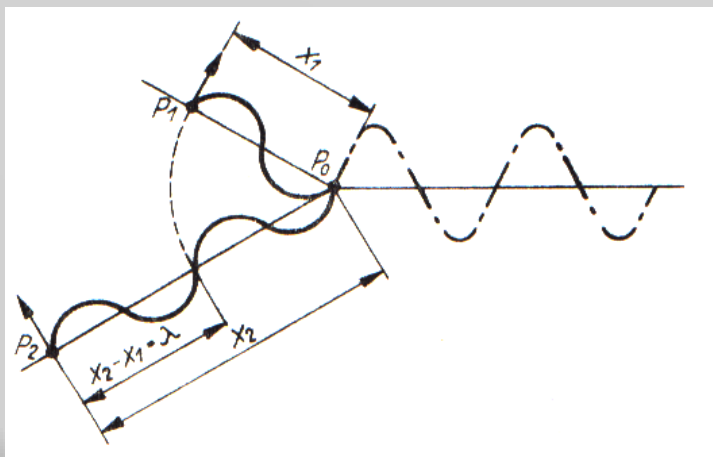
Interferencia vonal menti hullámok esetén 2.

Az interferencia függ a két hullám által megtett út hosszától is. Vizsgáljuk az azonos fázisban induló, de különböző úthosszal

1) Ha a két hullám úthosszkülönbsége a hullámhossz felének **páros számú többszöröse**:

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

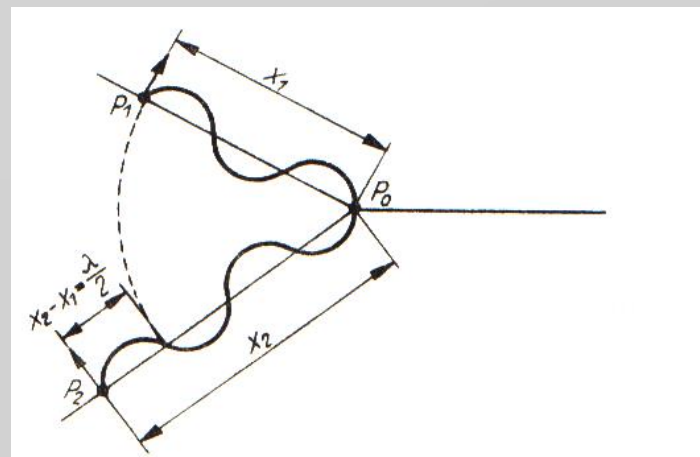
⇒ a két hullám maximálisan erősíti egymást



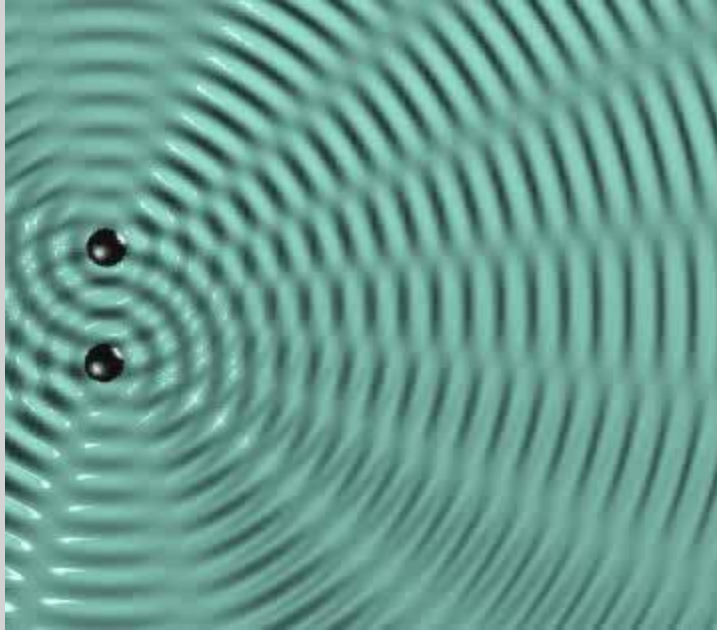
2) Ha a két hullám úthosszkülönbsége a hullámhossz felének **páratlan számú többszöröse**:

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

⇒ 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***)

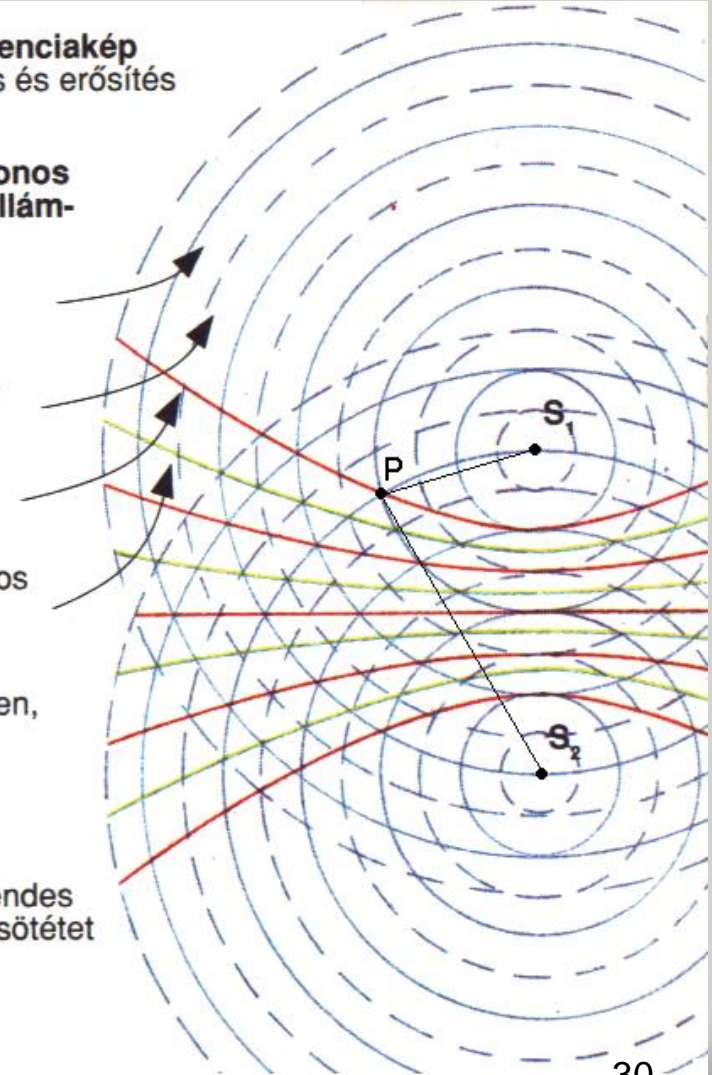
Hullámvölgy* (vagy **ritkulás***)

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.



Interferencia felületi és térbeli hullámok esetén 2.

Itt szintén az úthosszkülönbségből adódó fázisviszonyok határozzák meg az erősítések/gyengítések helyét. ($|PS_1| = x_1$, $|PS_2| = x_2$)

1) Ha $\Delta x = x_2 - x_1 = 2k \frac{\lambda}{2}$

⇒ erősítik egymást.

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

⇒ gyengítik/kioltják egymást.

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

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

Hullámhegy* (vagy **sűrűsödés***)

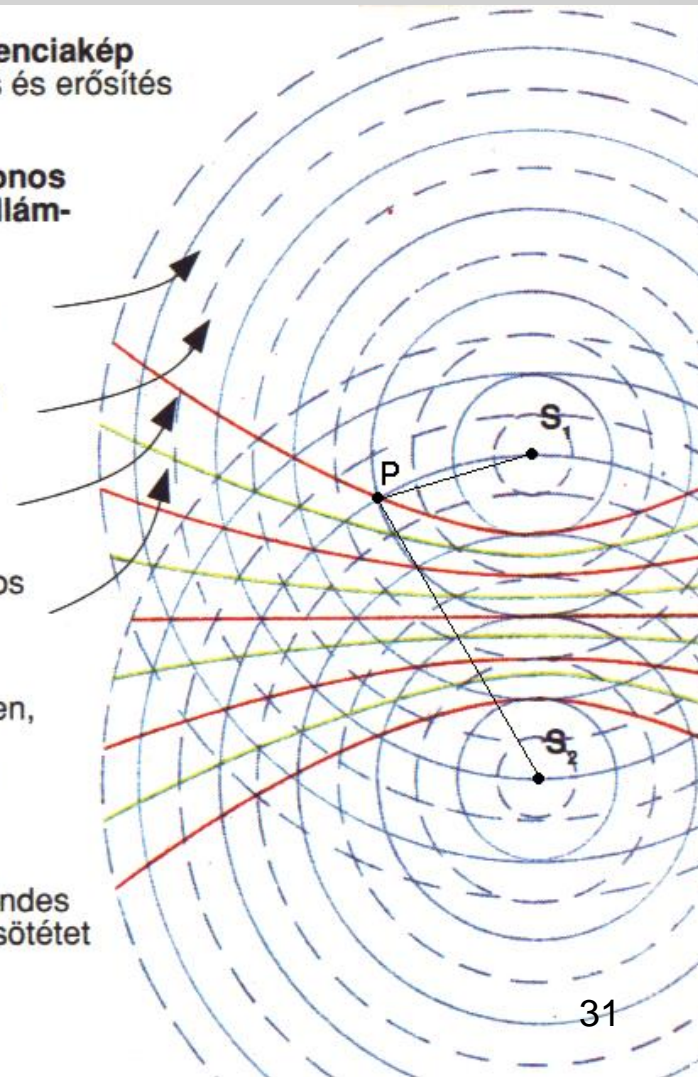
Hullámvölgy* (vagy **ritkulás***)

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.



Interferencia felületi és térbeli hullámok esetén 3.

- **Rezgési csomópontok:** azok a pontok, ahol az interferencia révén folyamatos kioltást kapunk. (pl. hullámhegy találkozik hullámvölgygel) /a csomóvonal csomópontok összessége/
- **Duzzadóhelyek:** Azok a pontok, ahol az interferencia révén erősítést kapunk. (pl. két hullámhegy/hullámvölgy találkozása)

Kimerevített interferenciakép (nincs minden kioltás és erősítés ábrázolva).

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

Hullámhegy* (vagy sűrűsödés*)

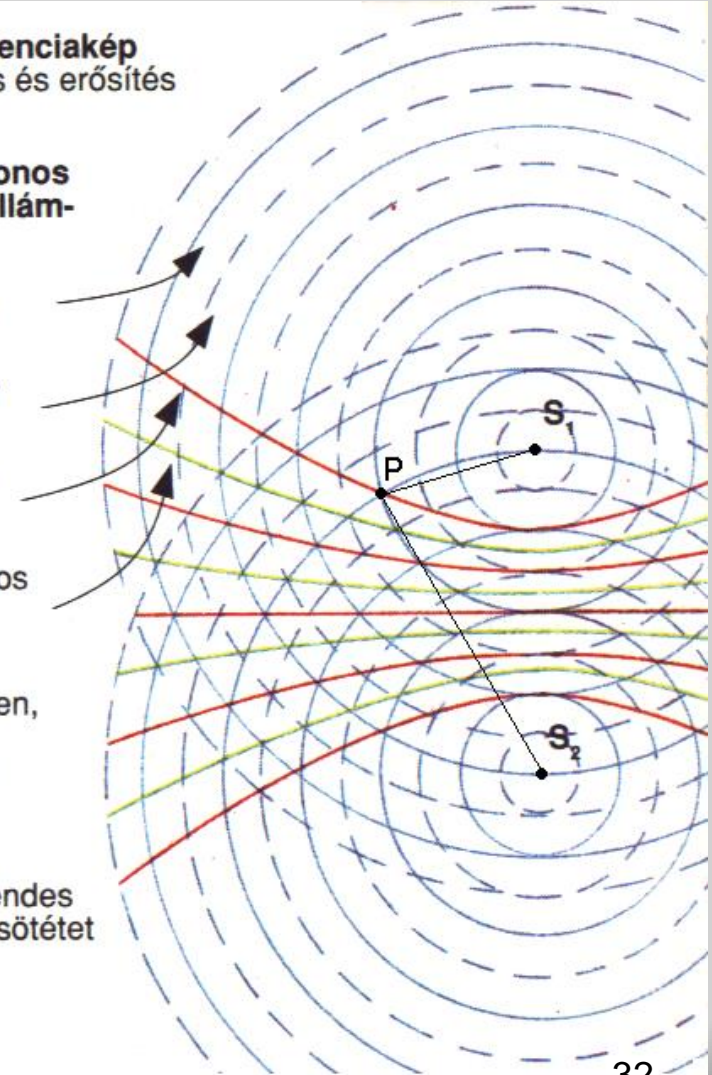
Hullámvölgy* (vagy ritkulás*)

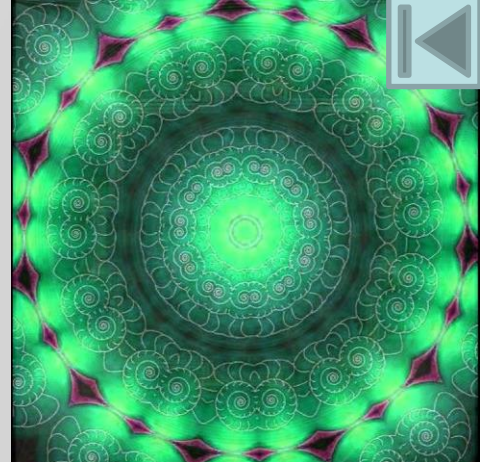
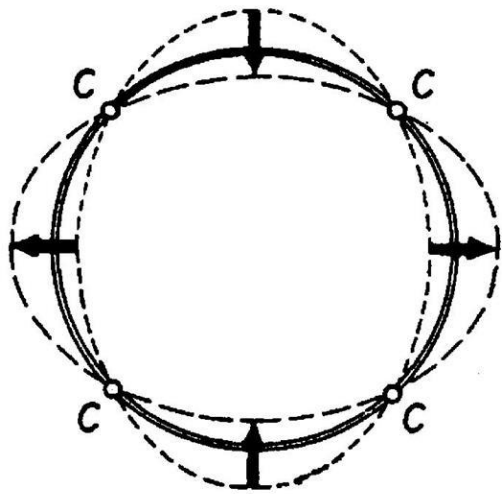
Interferencia révén erősítés

Csomóvonal. Azonos amplitúdók esetén nincs rezgés.

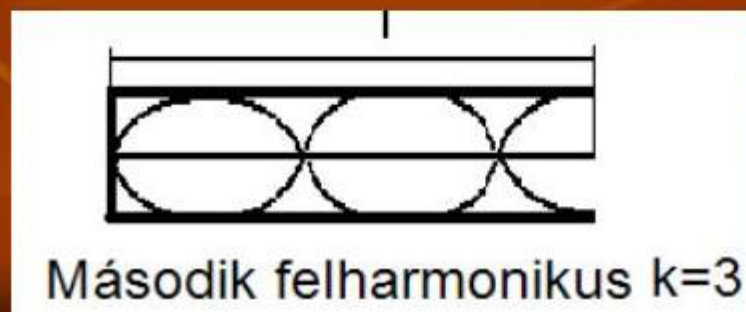
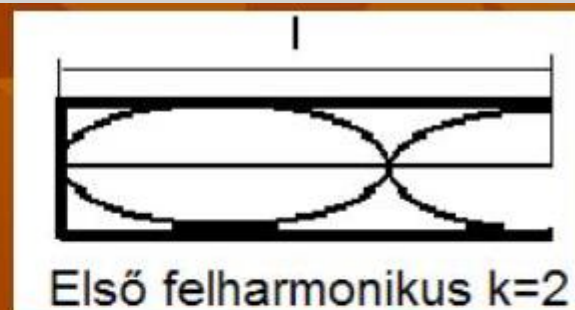
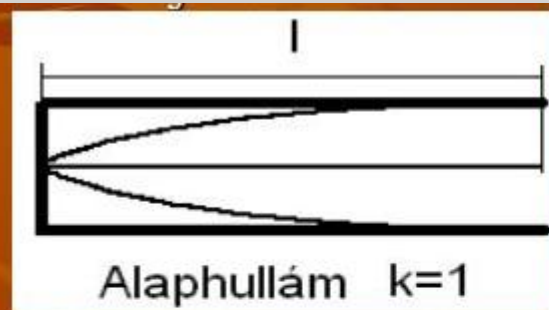
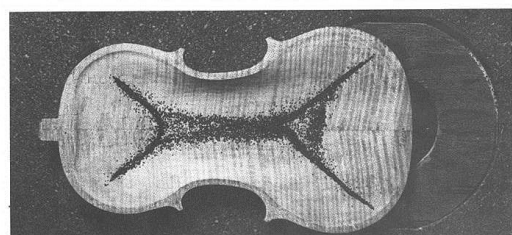
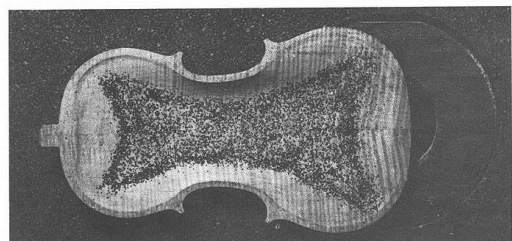
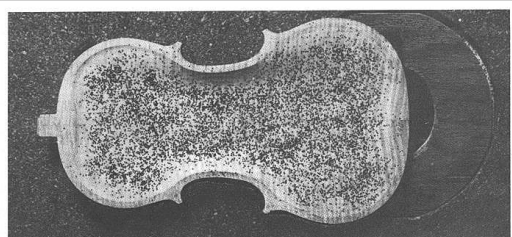
A hullámoktól függően, az erősítési helyek hullámzó vizet, erős hangot vagy fényt jelentenek.

A kioltási helyek csendes vizet, csöndöt vagy sötétet jelentenek.





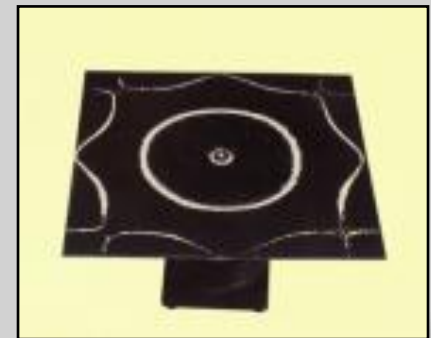
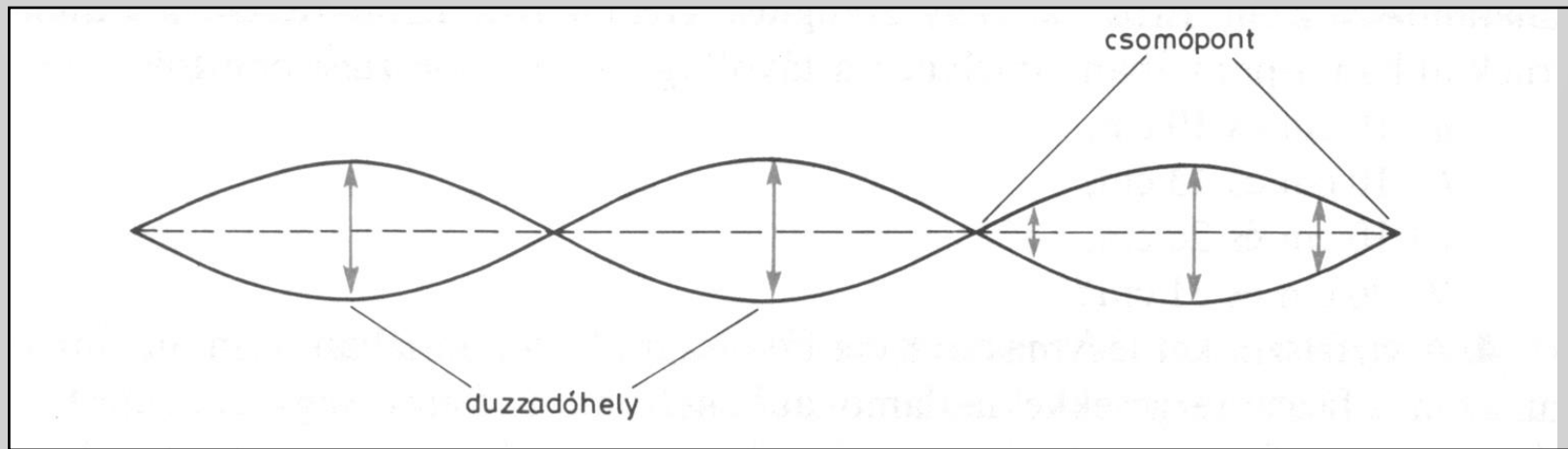
Állóhullámok



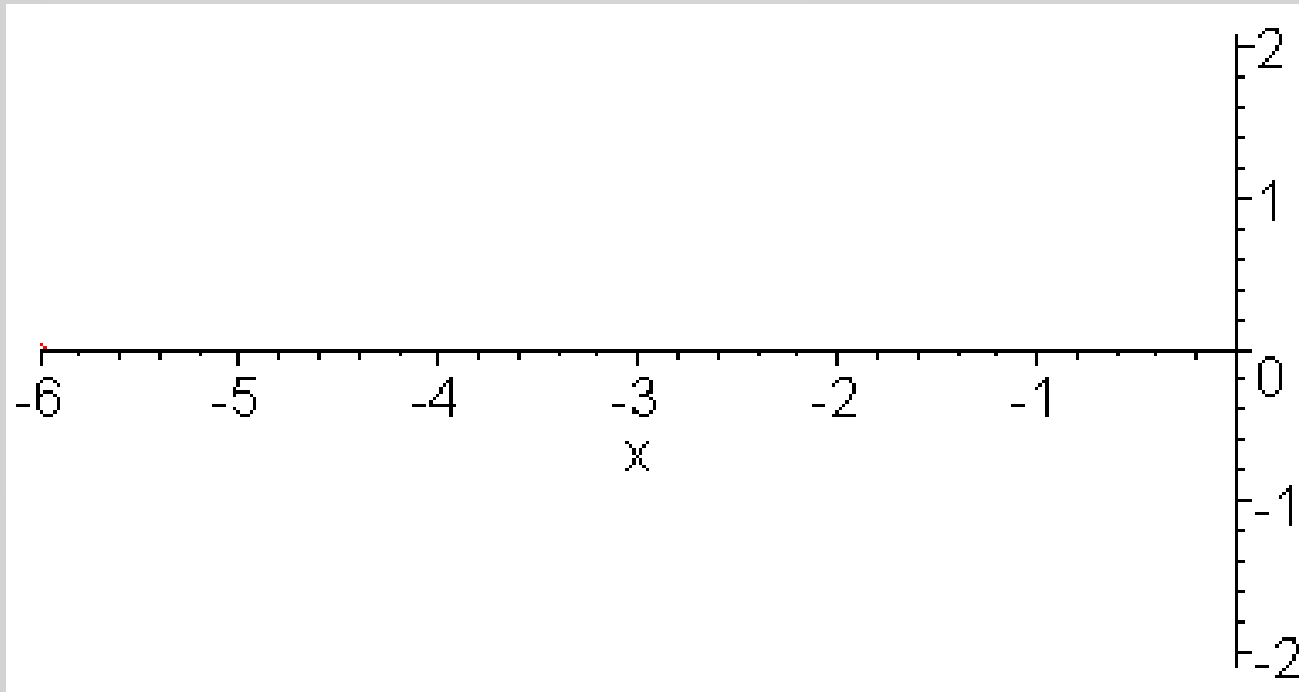


Állóhullámok keletkezése

Azonos frekvenciájú és amplitúdójú, ellentétes irányú síkhullámok találkozásakor jönnek létre.



Állóhullámok keletkezése (animáció)

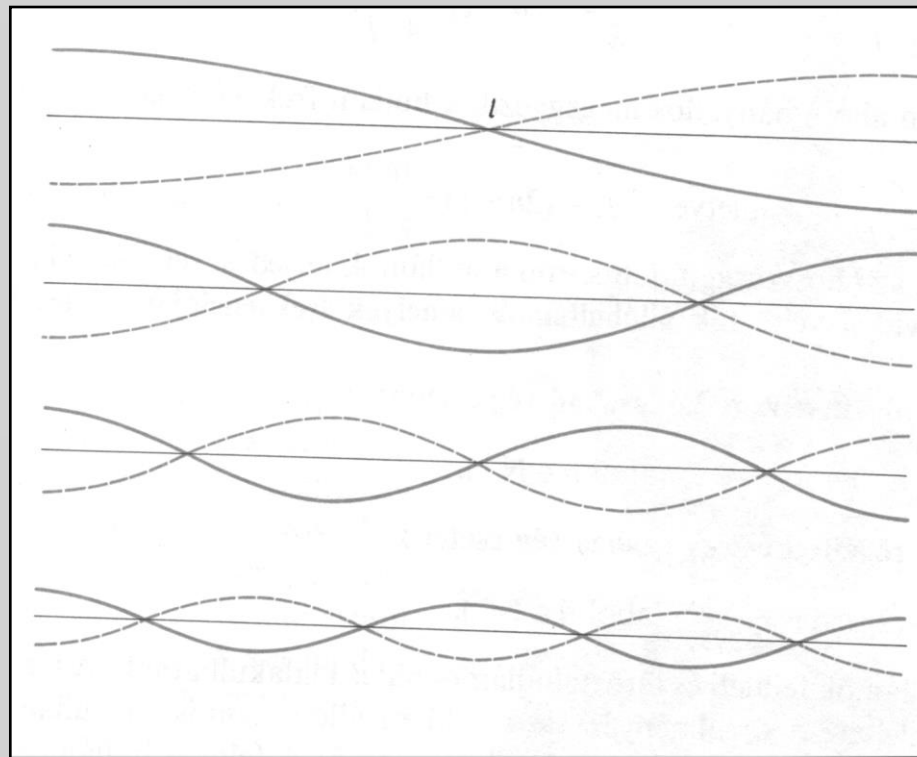
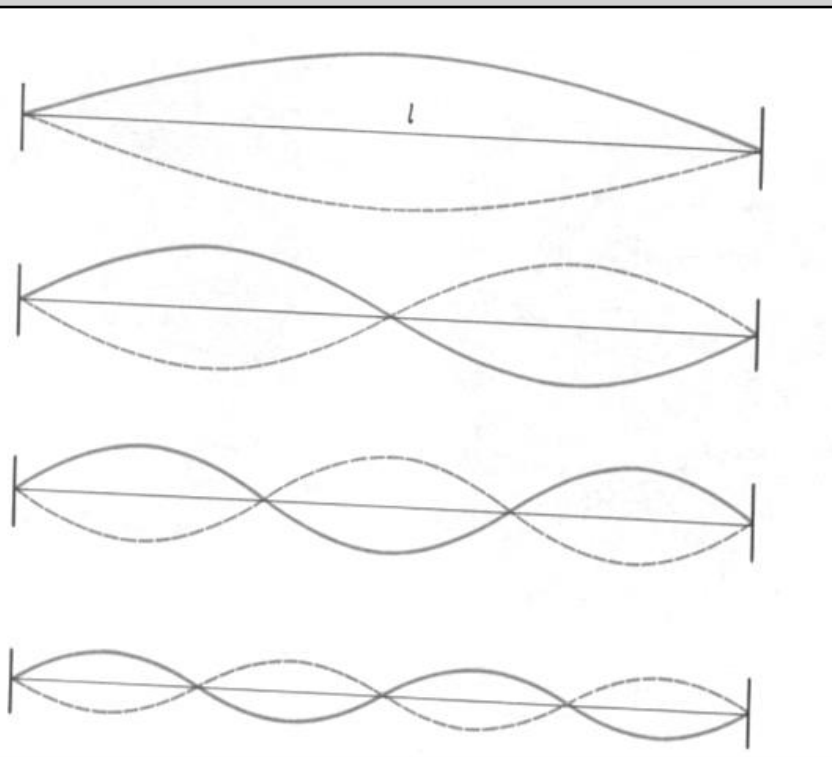


- Az **állóhullámok** az egymással szemben terjedő *hullámok* interferenciájaképpen jönnek létre (pl. a gitár húrján, amelynek hullámai visszaverődnek a két húrvégről).
- Az animáció az állóhullámok kialakulását mutatja be.
- Az állóhullámokban a valamely két ponton mért elmozdulások aránya változatlan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

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:

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

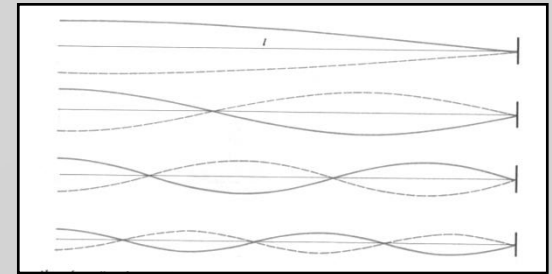




Egyik végén rögzített mások végén szabad közegben keletkező állóhullámok

- Ha az egyik vég rögzített, a másik szabad, akkor az „n” csomóponttal vagy duzzadóhellyel rendelkező állóhullám esetén:

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



Csak olyan rezgések esetén kelthető állóhullám, amely esetén:

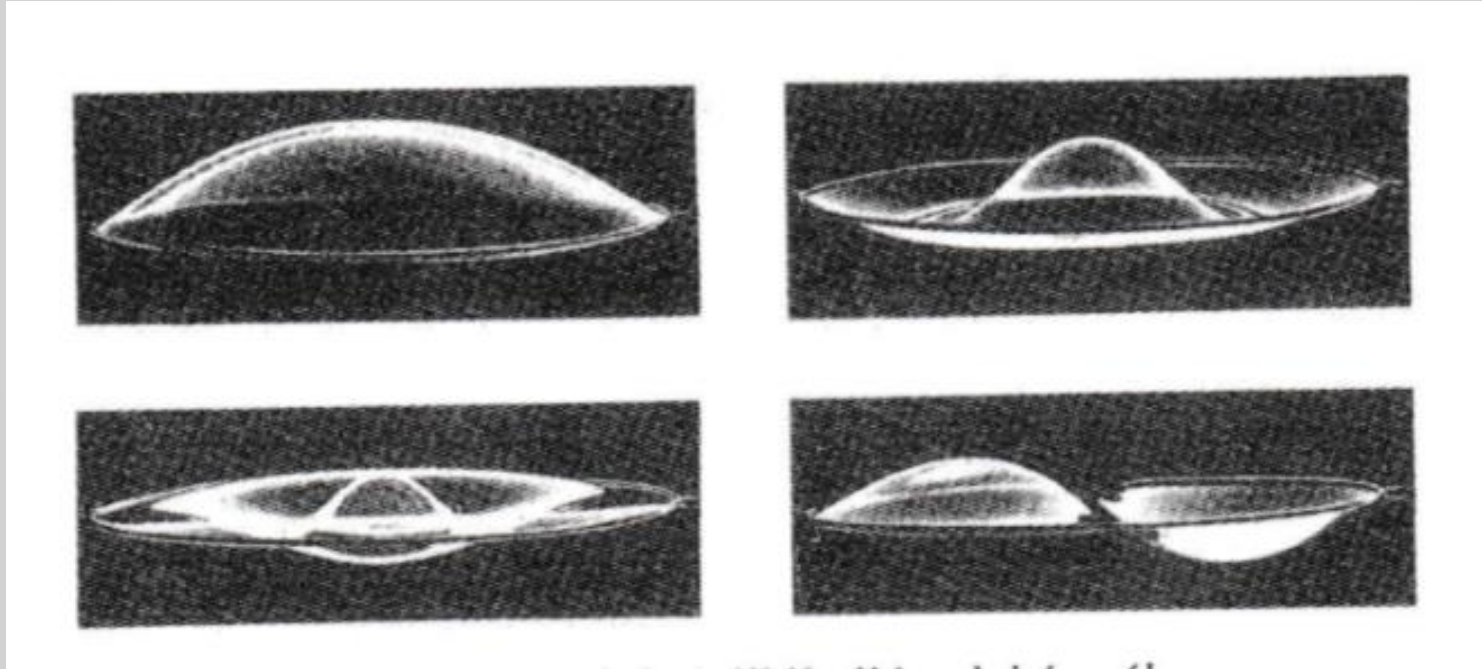
- Két rögzített vagy két szabad vég esetén

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

- Egy rögzített és egy szabad vég esetén

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

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

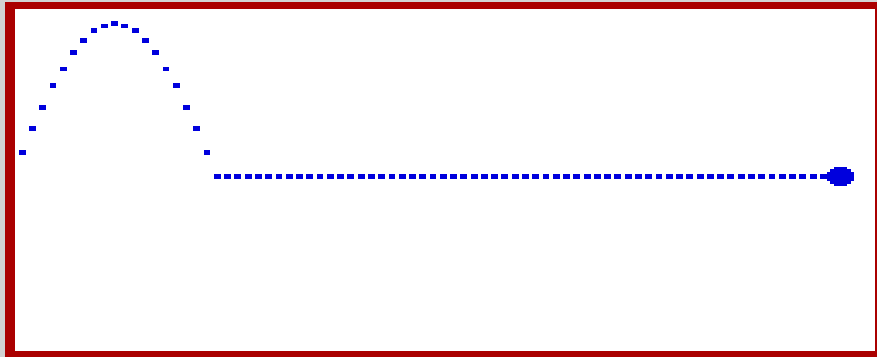


Hullámok visszaverődése



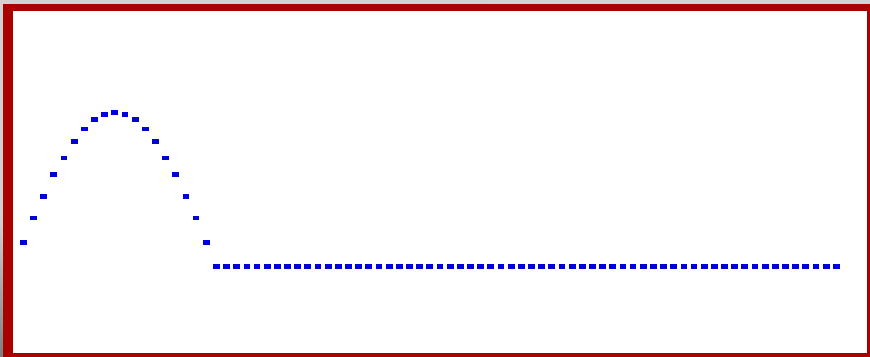
Hullámok visszaverődése

Vonal hullámok visszaverődése rugalmas pontsoron
rögzített végről

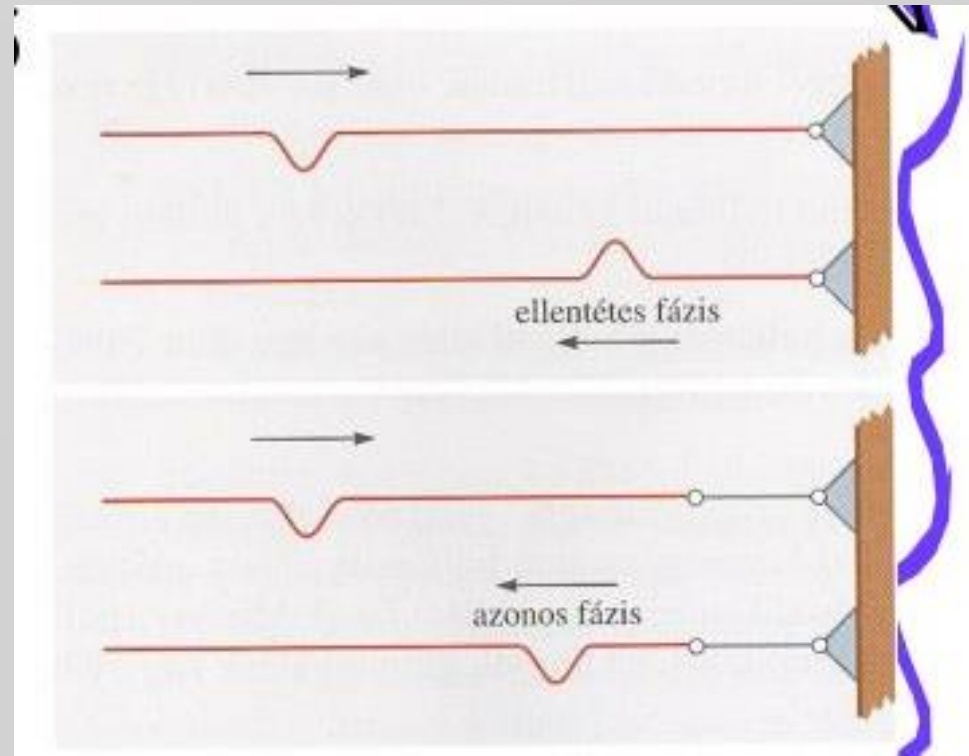


Ellentétes fázisban verődnek vissza.

szabad végről



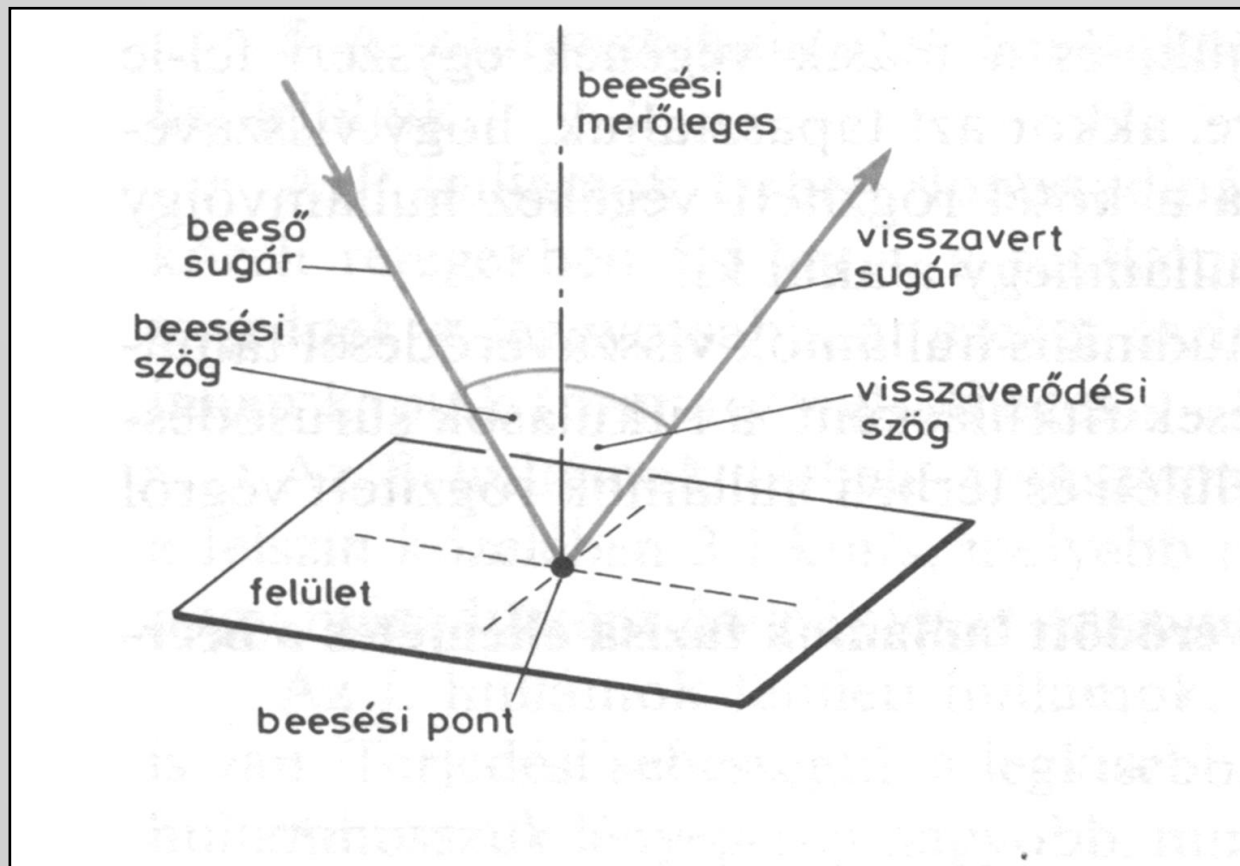
Azonos fázisban verődnek vissza.



Hullámok visszaverődése

Visszaverődés törvényei:

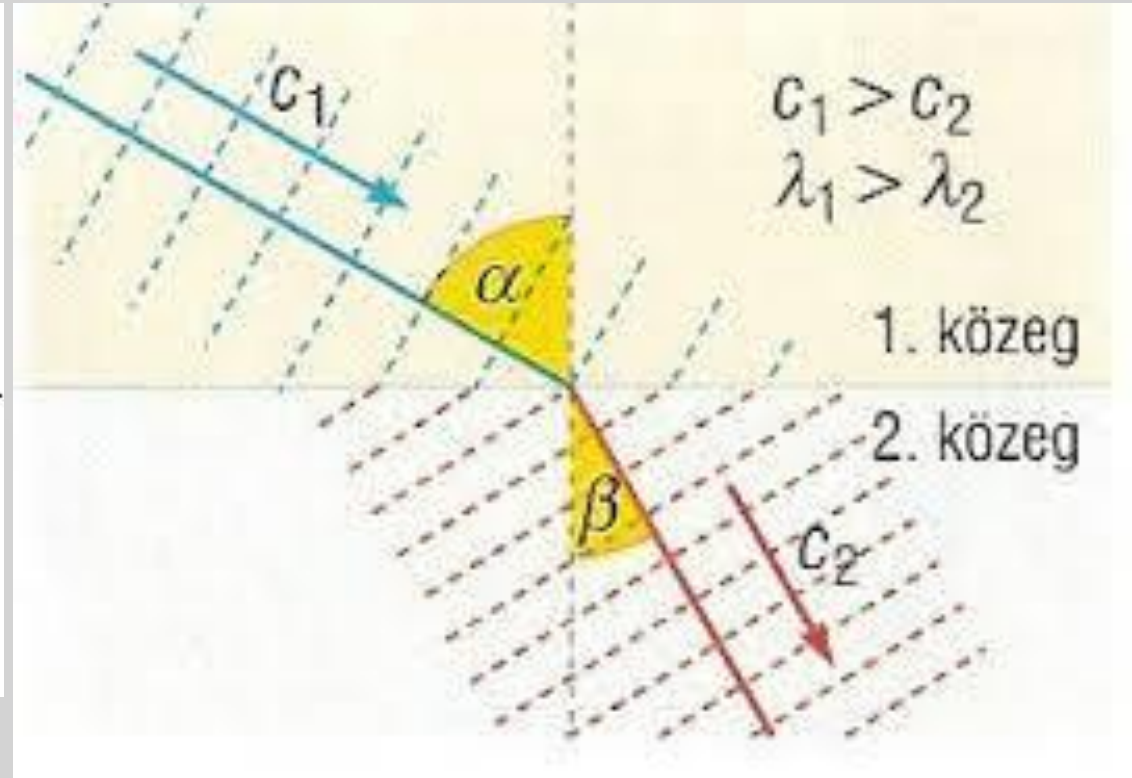
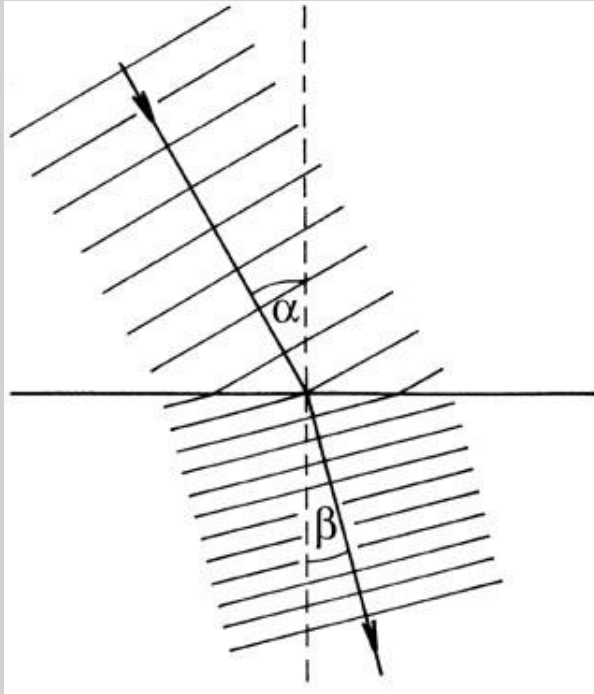
1. Térbeli hullámok esetén a beeső sugár, a beesési merőleges és a visszavert sugár egy síkban van.
2. A beesési szög és a visszaverődési szög egyenlő nagyságú.





Hullámok törése

Hullámtörés



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

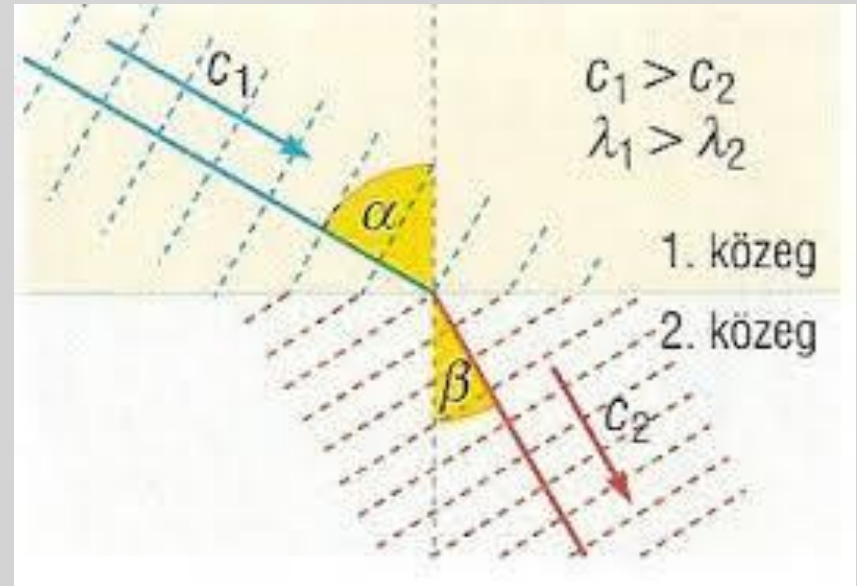
Ez a jelenség a hullámtörés.

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

Hullámtörés törvényei

Hullámtörés törvényei:

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.



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

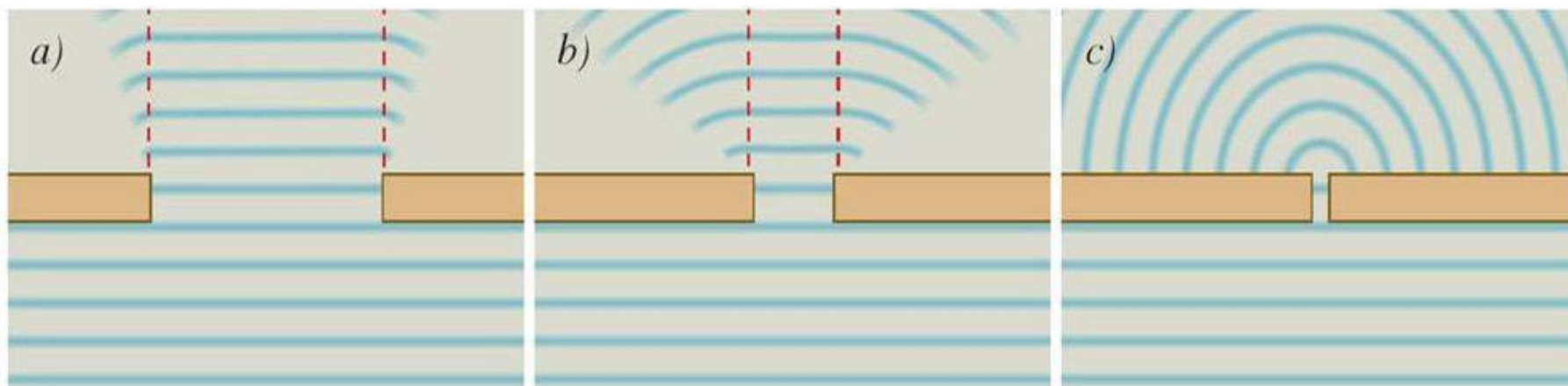
c_1 és c_2 a hullám sebessége az egyes közegekben, $n_{2,1}$ a 2-es közegnek 1-es közegre vonatkozó **törésmutatója**.



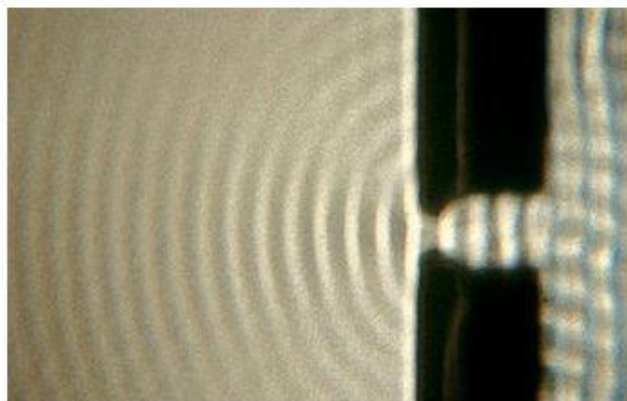
Hullámok elhajlása

Hullámok elhajlása

Keskeny résen áthaladó hullám nemcsak a rés mögött, hanem a rés melletti fal mögött is kialakulva halad tovább. Ez az **elhajlás** jelensége.



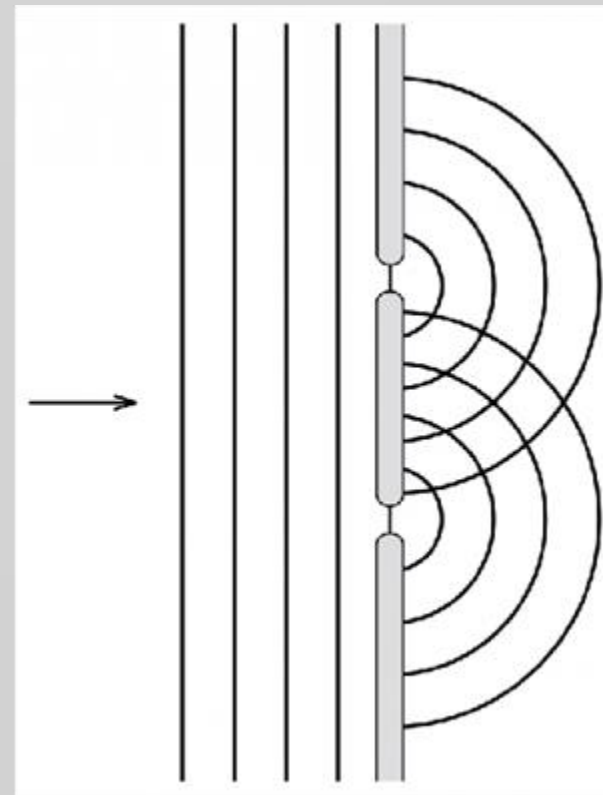
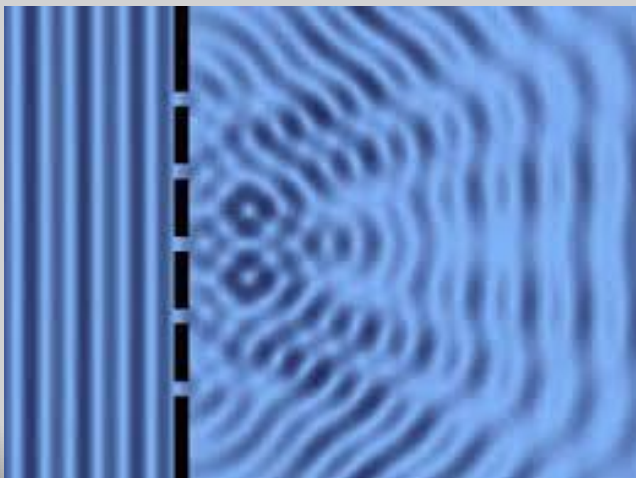
Minél kisebb a „kapu”, annál jobban behatol a hullám az árnyéktérbe





Elhajlás szemléltetése

Ha a hullám olyan résen halad át, amelynek szélessége összemérhető a hullámhosszával, akkor behatol az árnyéktérbe is, elhajlik!



Hullámtani jelenségek magyarázata.

A Huygens-Fresnel elv

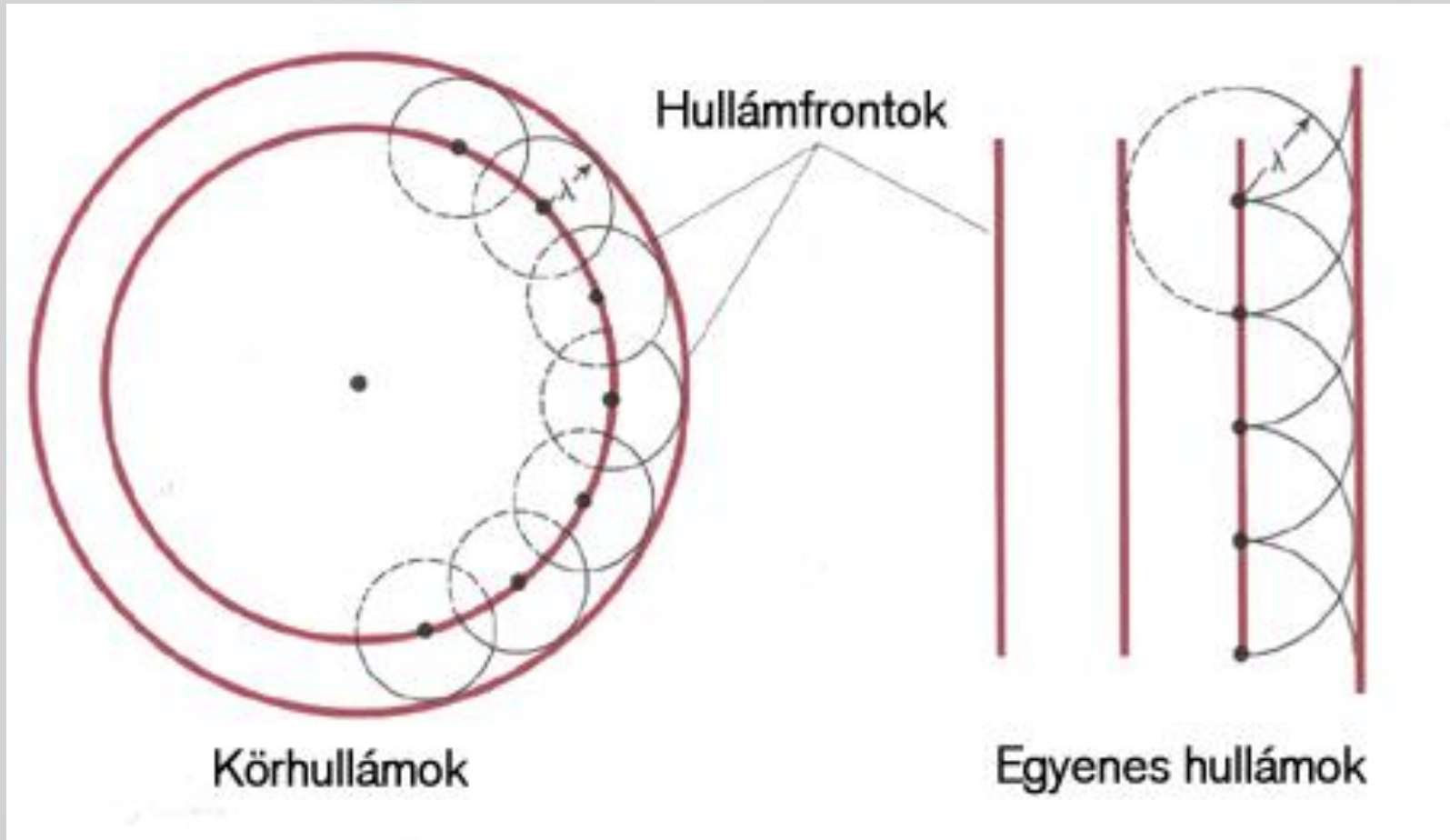
- A visszaverődés, a törés és az elhajlás jelenségére először Huygens holland fizikus kísérelt meg magyarázatot adni 1678-ban. Az ő elképzelését módosította Fresnel francia tudós 1819-ben.

A két tudós közös elmélete, a **Huygens-Fresnel-elv**, a következő:

- 1. Minden olyan pont, ahová a hullám elért, **elemi hullámok** kiindulópontjának tekinthető.
- 2. Egy későbbi időpontban észlelt hullámjelenséget **ezen elemi hullámok interferenciája határozza** meg.



A Huygens-Fresnel-elv segítségével minden eddig tárgyalt jelenség pontosan értelmezhető



Egy hullám fázisfelületének minden pontja elemi (vagy másodlagos) hullámforrás, és az ezekből kiinduló elemi hullámoknak a szuperpozíciója adja a tér valamely P pontjában észlelhető hullámkitérést.

Christiaan Huygens



- Holland matematikus, fizikus és csillagász.
- Született: 1629. április 14., Hága, Hollandia
- Meghalt: 1695. július 8., Hága, Hollandia
- Iskolai végzettség: Leiden University

Augustin-Jean Fresnel



- A Francia Akadémia tagja. Egyike azon 72 tudósnak, akiknek neve szerepel az Eiffel-torony oldalán.
- Született: 1788. május 10.
- Meghalt: 1827. július 14., Ville-d'Avray, Franciaország
- Iskolai végzettség: École Polytechnique



Polarizáció

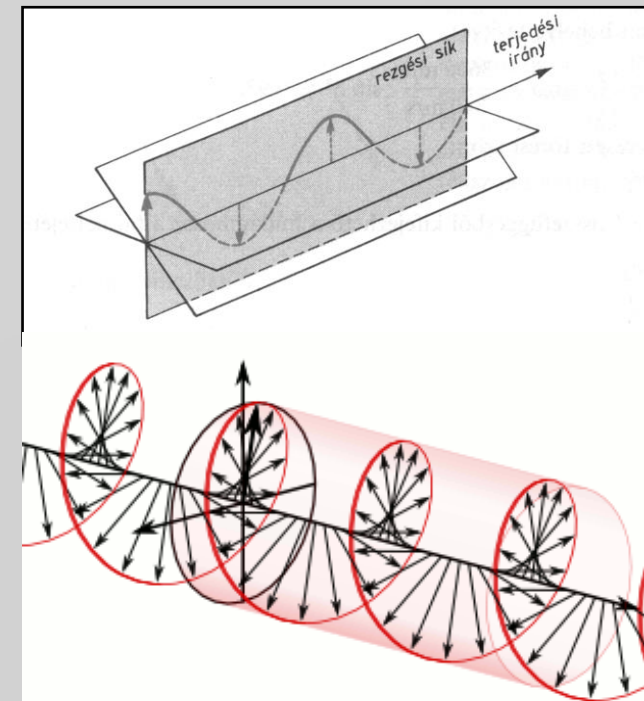
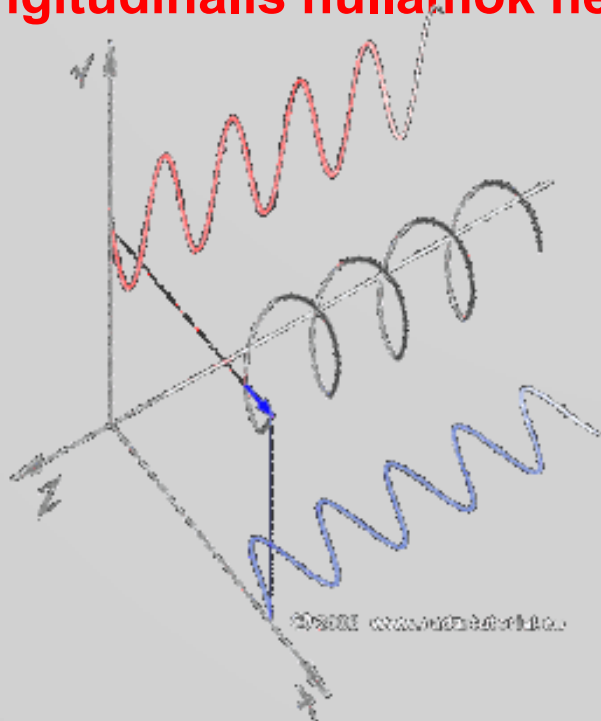


Polarizáció

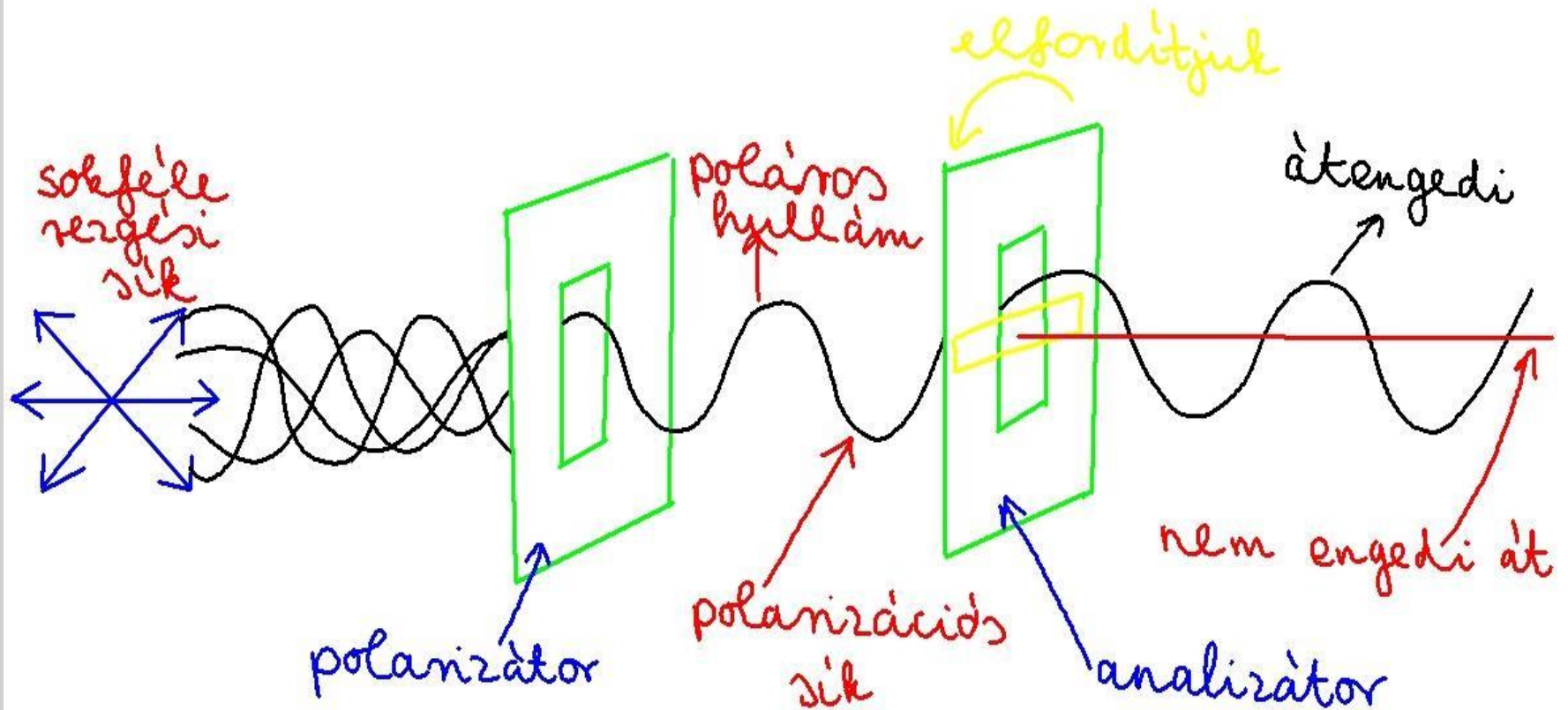
Lineáris polarizáció az a jelenség, amely során a sokféle rezgési síkkal rendelkező hullámból lineárisan poláros hullám jön létre.

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!

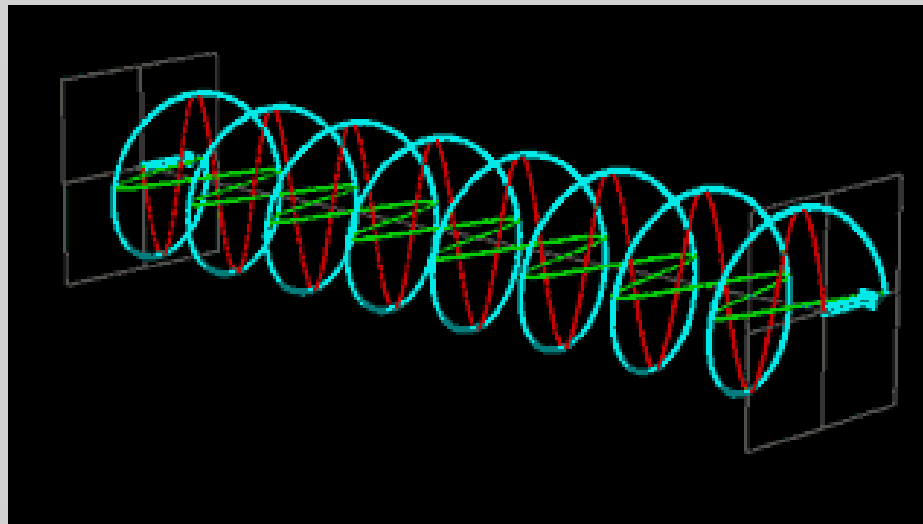
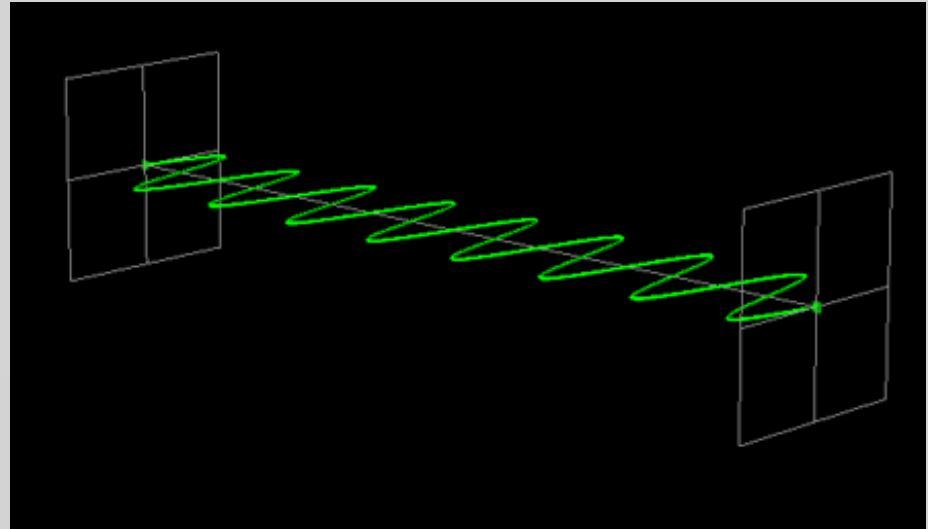
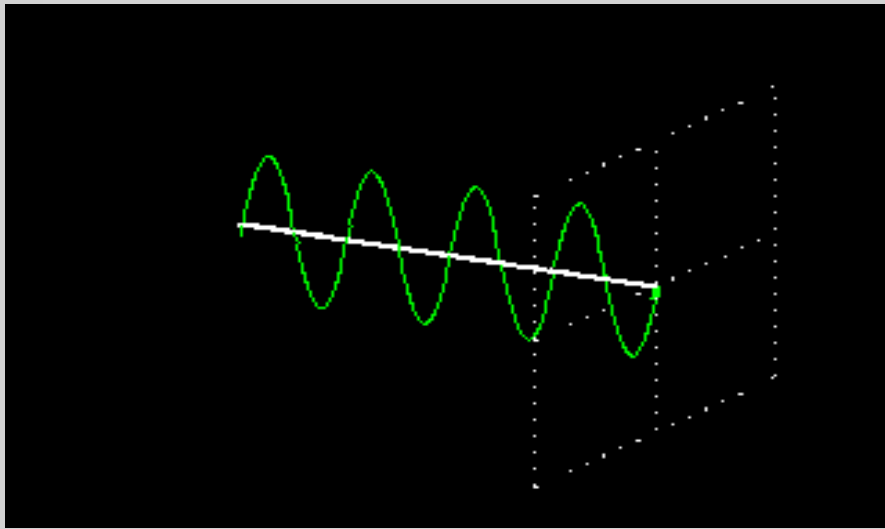


Polarizáció





Polarizált hullámok (animációk)





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?

Eredmények:

- $c=340$ m/s
- $T= 0,01$ 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?

Eredmények:

$$c = 1,5 \text{ km/s} = 1500 \text{ m/s}$$

$$\lambda = 15 \text{ m}$$



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.

Eredmények:

- $T_1 = 2,26 \cdot 10^{-3} \text{ s}$
- $T_2 = 5,31 \cdot 10^{-4} \text{ s}$



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?

Eredmény:

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



5. feladat

- 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