

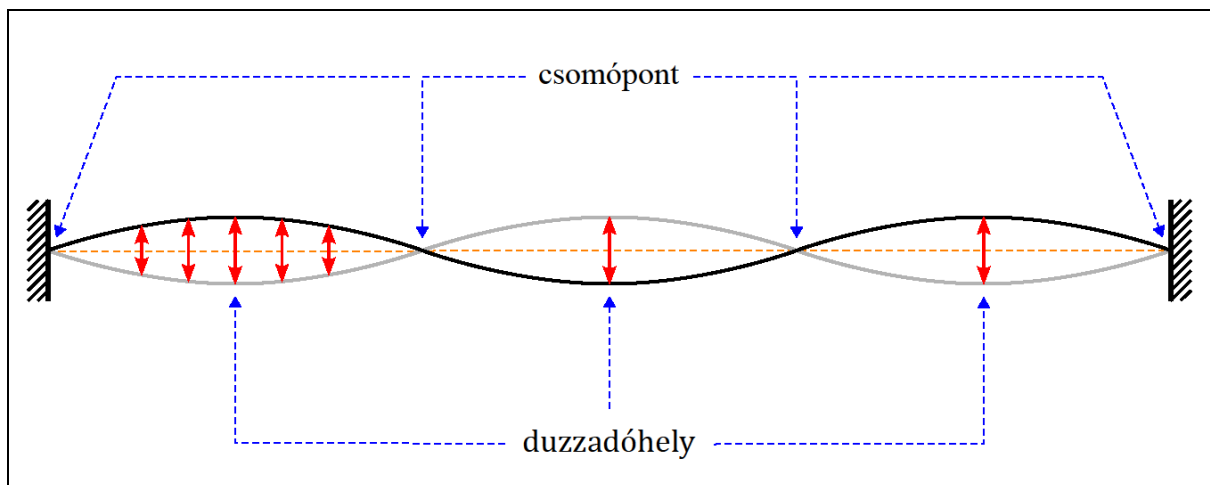
◀	Tartalom	Fogalmak	Törvények	Képletek	Lexikon	▶
---	----------	----------	-----------	----------	---------	---

Az állóhullámok

Ha egy gumikötél egyik végét rögzítjük, másik végén pedig transzverzális hullámokat keltünk, akkor a kötélen végighaladó, illetve a kötélen visszaverődött hullámok interferenciája figyelhető meg. Ennek eredményeképpen megfelelően választott frekvenciánál *állóhullám* jön létre.



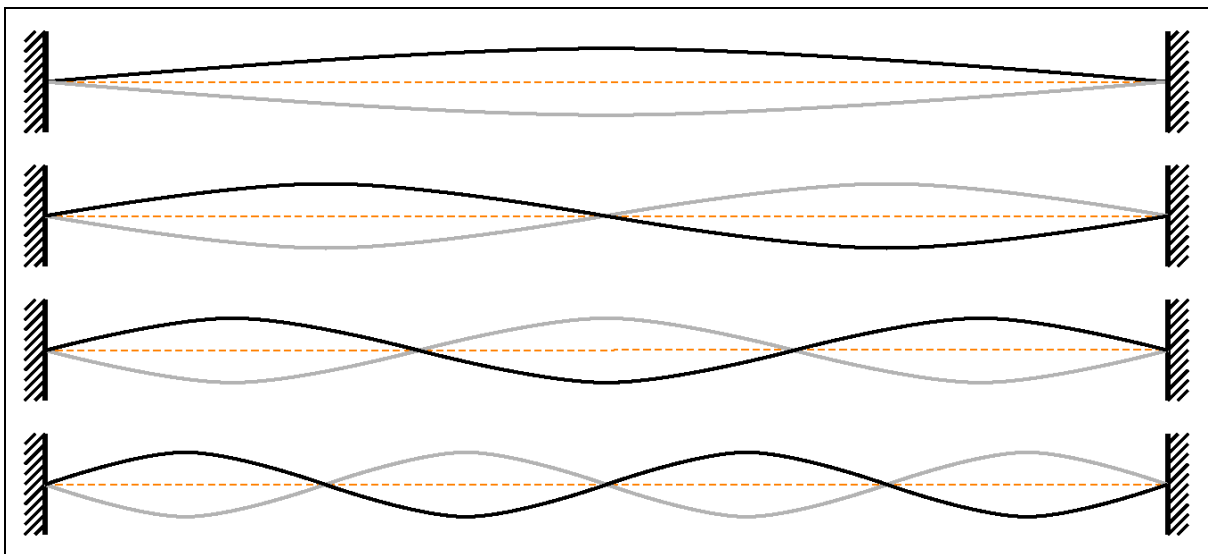
A gumikötélen kialakult állóhullámnál a kötélen egyes pontjai gyakorlatilag nem rezegnek, ezeket a pontokat *csomópontoknak* nevezzük. A kötélen összes többi pontja rezgőmozgást végez, de az egyes pontok amplitúdója különböző. Két szomszédos csomópont közötti szakaszon legnagyobb amplitúdóval a szakasz felezőpontjában levő gumikötéldarab rezeg. Az ilyen helyeket *duzzadóhelyeknek* nevezzük.



Egy hosszú, laza csavarrugó egyik végét rögzítve, a másik végét pedig rezgőmozgásba hozva longitudinális állóhullámokat is létrehozhatunk.

A vonal menti hullámoknál az állóhullámok kialakulását a hullám frekvenciáján kívül az határozza meg, hogy a közeg vége rögzített-e vagy szabad. Tudjuk, hogy a szabad végről a hullámok ugyanolyan fázisban verődnek vissza, így itt a beérkező és a visszaverődött hullámok az interferencia eredményeként erősítik egymást. Ezek szerint tehát *szabad végnél duzzadóhely alakul ki*. Rögzített végről a hullámok ellentétes fázisban verődnek vissza. A beérkező és a visszavert hullámok itt tehát kioltják egymást, azaz *rögzített végnél csomópont alakul ki*.

A gumikötélen létrehozott állóhullámoknál jól megfigyelhető, hogy a csomópontok egymástól mért távolsága megegyezik, és ugyanekkora a duzzadóhelyek távolsága is. Belátható, hogy ez a távolság ugyanakkora, mint a hullámhossz fele.

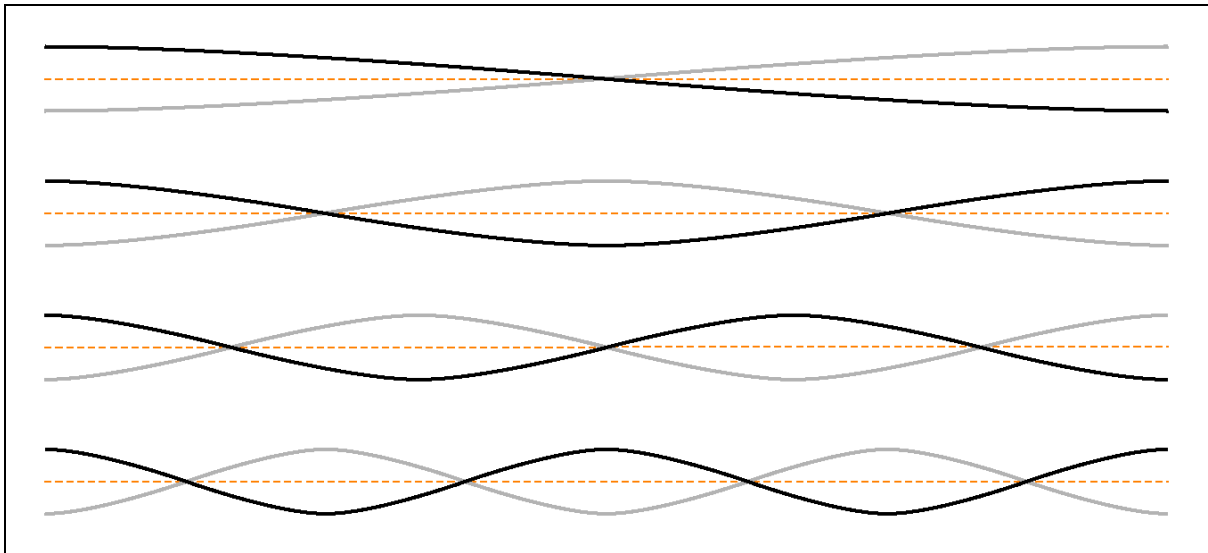


Ezt és az előző megállapításokat figyelembe véve egy l hosszúságú, mindkét végén rögzített pontsoron csak olyan λ hullámhosszúságú állóhullámok alakulhatnak ki, amelyekre teljesül a következő összefüggések egyike:

$$l = \frac{\lambda}{2}; \quad l = 2 \cdot \frac{\lambda}{2}; \quad l = 3 \cdot \frac{\lambda}{2}; \quad l = 4 \cdot \frac{\lambda}{2}; \quad \dots$$

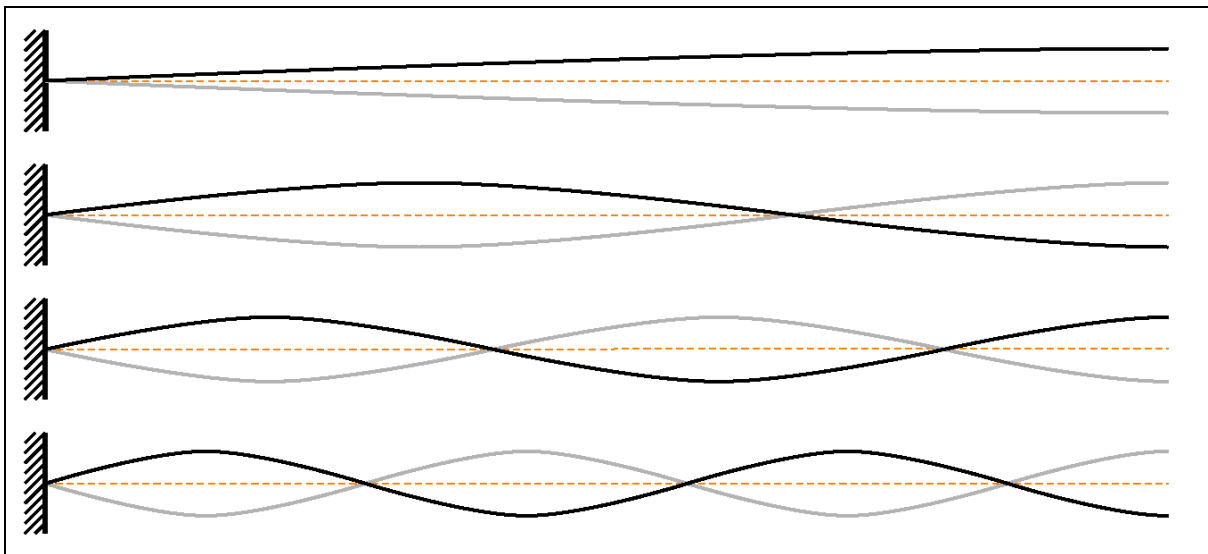
Általánosan, ha mindkét vég rögzített, akkor az n duzzadóhellyel rendelkező állóhullámok kialakulásának feltétele:

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



Hasonlóan látható be, hogy *ha mindkét vég szabad*, akkor az n csomóponttal rendelkező állóhullámok létrejöttének feltétele ugyancsak:

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



Ha az egyik vég rögzített, a másik pedig szabad, akkor az n csomóponttal, valamint n duzzadóhellyel rendelkező állóhullámoknál:

$$l = (2 \cdot n - 1) \cdot \frac{\lambda}{4}.$$

A fenti összefüggések mindkét oldalát a hullám c terjedési sebességével szorozva:

$$c \cdot l = n \cdot \frac{c \cdot \lambda}{2}, \quad \text{illetve} \quad c \cdot l = (2 \cdot n - 1) \cdot \frac{c \cdot \lambda}{4}.$$

Átrendezve:

$$\frac{c}{\lambda} = n \cdot \frac{c}{2 \cdot l}, \quad \text{illetve} \quad \frac{c}{\lambda} = (2 \cdot n - 1) \cdot \frac{c}{4 \cdot l}.$$

A bal oldalon álló hányados megegyezik a hullám frekvenciájával, ezért

$$f = n \cdot \frac{c}{2 \cdot l}, \quad \text{illetve} \quad f = (2 \cdot n - 1) \cdot \frac{c}{4 \cdot l}.$$

Eszerint: Ha az l hosszúságú pontsoron a hullámok terjedési sebessége c , akkor *csak olyan rezgésekkel kelthetők állóhullámok, amelyek frekvenciájára teljesül az alábbi feltétel:*

a) *Két rögzített vagy két szabad vég esetén:*

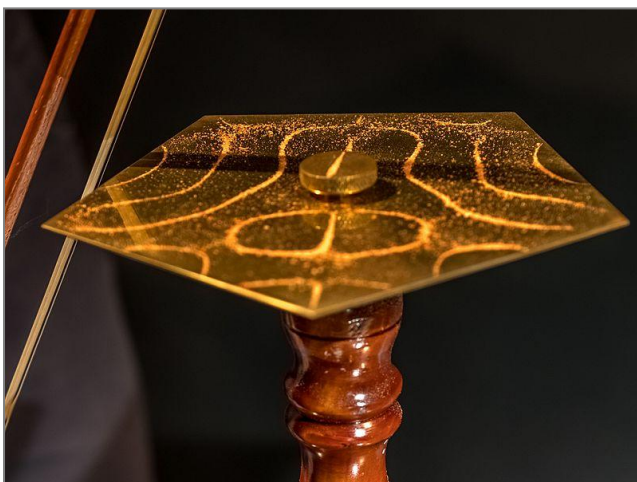
$$f = n \cdot \frac{c}{2 \cdot l}, \quad \text{ahol } n \in \mathbb{N}^+.$$

b) *Egy rögzített és egy szabad vég esetén:*

$$f = (2 \cdot n - 1) \cdot \frac{c}{4 \cdot l}, \quad \text{ahol } n \in \mathbb{N}^+.$$

Állóhullámok felületi és térbeli hullámoknál is kialakulhatnak. A térbeli állóhullámok szemléltetése körülményes, de a felületi állóhullámok vízhullámokon vagy rugalmas lemezeken egyszerűen tanulmányozhatók. A felületi hullámoknál csomópontok helyett csomóvonalak, a térbeli hullámoknál pedig csomófelületek alakulnak ki.

A lemezeken létrehozott állóhullámok csomóvonalai egyszerűen kimutathatók, ha a lemezre finom homokot szórunk. A rezgések hatására ugyanis a homok a nyugvó csomóvonalakon gyűlik össze. A homok által kialakított rajzolatokat *Chladni-féle ábráknak* nevezzük.



Kiegészítések

1. A húros hangszerek húrjain állóhullámok alakulnak ki. Mivel a húr mindkét vége rögzített, így az állóhullámok frekvenciája:

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

nagyságú lehet. A keletkezett hang alapfrekvenciája az $n = 1$ helyettesítéssel:

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



Ezek szerint a húr által keltett hang frekvenciája egyenesen arányos a hullámnak a húrban mérhető terjedési sebességével, és fordítottan arányos a húr hosszával. Mivel a terjedési sebesség egy adott húr esetében a húrt feszítő erőtől is függ, a húros hangszerek hangjának a frekvenciája kétféleképpen módosítható: a húr feszítettségének, illetve a hosszának a megváltoztatásával. A hegedűs a koncert előtt a húrok feszítettségének változtatásával hangol, játék közben viszont a húr hosszát módosítja azzal, hogy a húr egy részét ujjaival lefogja.

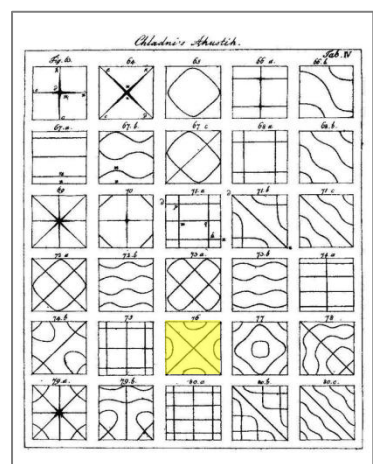
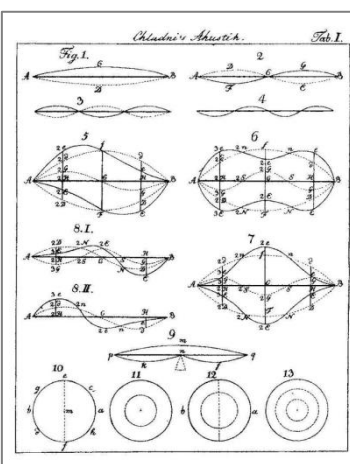
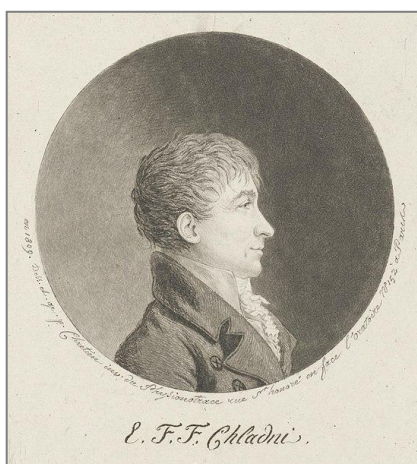
2. A sípokban a bezárt levegőben jönnek létre longitudinális állóhullámok. Mivel a terjedési sebesség a levegőben gyakorlatilag állandó, a síp által keltett hang frekvenciájának megváltoztatása csak a síp (hatásos) hosszának a változtatásával lehetséges. A furulyánál ez a lyukak befogásával történik. Más fúvós hangszereknél (pl. kürt, trombita) a csőbe szelepek működtetésével lehet be- vagy kiiktatni szakaszokat, és így lehet a cső hosszát módosítani. A harsonánál viszont egy U alakú csőszakasz ki-be tologatásával változtatható a légoszlop hossza.



3. A dobokra feszített bőrön, a cintányéron, illetve a harangokon (erősen meggörbített lemezeken) szintén állóhullámok alakulnak ki. A doboknál a közeg határvonala (vége) rögzítve van a dob testéhez, a cintányérnál és a harangoknál a „lemez” közepén rögzített, a határvonala (vége) pedig szabad.



4. Az előző három pontban szereplő hangszerek (dob, vonósok, trombita, harsona) megfigyelhetők ezen a videón: https://www.youtube.com/watch?v=4IMEw2jM8_w.
5. Ernst Chladni (1756–1827) német fizikus 1787-ben készítette el az első porábrákat, amelyekkel a lemezek állóhullámai szemléltethetők. Chladni vizsgálta a pálcák, a hangvilla és a harangok rezgéseit, és ő fedezte fel a torziós rezgéseket is. Korának hangtani ismereteit 1802-ben kiadott *Akuszтика* című művében foglalta össze. Ebben minegy 269 ábra található, ezek nagy része Chladni-féle porábra. (Ez a könyv szabadon elérhető a https://www.deutschestextarchiv.de/chladni_akustik_1802 hivatkozáson. Az ábrák a könyv végén található.)



A jobb oldali képen megjelölt (76 számú) változat kísérleti bemutatásáról készült videó a https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Prato_de_Chladni_30.webm címen érhető el.

Képek jegyzéke

	Állóhullám gumiszálon © http://fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf0247.jpg
	Az állóhullám csomópontjai és duzzadóhelyei © http://fizikakonyv.hu/rajzok/0361.svg
	Állóhullámok két rögzített vég esetén © http://fizikakonyv.hu/rajzok/0362.svg
	Állóhullámok két szabad vég esetén © http://fizikakonyv.hu/rajzok/0363.svg
	Állóhullámok egy rögzített és egy szabad vég esetén © http://fizikakonyv.hu/rajzok/0364.svg
	Chladni-féle ábra egy ötszög alakú lemezen W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chladni_plate_02.jpg
	Chladni-féle ábra egy négyzet alakú lemezen W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chladni_pattern_4.jpg
	Állóhullám hegedűhúron (középen csomópont) © http://fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf0255.jpg

	<p>Harsona (behúzott tolócsővel)</p> <p>W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:WikiLoveMusikHamburg2017_Posaune-Pos1-1K4A1464B.jpg</p>
	<p>Harsona (kitolt tolócsővel)</p> <p>W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:WikiLoveMusikHamburg2017_Posaune-Pos6-1K4A1480B.jpg</p>
	<p>Üstdobok</p> <p>W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Munich_-_Timpani_player_in_an_orchestra_rehearsal_-_5655.jpg</p>
	<p>A Zsigmond-harang (Waweli székesegyház, Krakkó, készült 1520.)</p> <p>W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Krak%C3%B3,_Dzwon_Zygmunta_-_fotopolska.eu_(227571).jpg</p> <p><i>Videó:</i> https://www.youtube.com/watch?v=0tyoLcgEZFU</p>
	<p>Ernst Chladni arcképe (Készítette Gilles-Louis Chrétien, Párizs, 1809.)</p> <p>W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chladni_portrait_by_Chretien_1809.jpg</p>
	<p>Állóhullámok rajzai Chladni Akusztika című könyvében</p> <p>W https://www.deutschestextarchiv.de/chladni_akustik_1802/348</p>
	<p>Chladni-féle ábrák rajzai Chladni Akusztika című könyvében</p> <p>W https://www.deutschestextarchiv.de/chladni_akustik_1802/351</p>

Jelmagyarázat:

© **Jogvéde**tt anyag, felhasználása csak a szerző (és az egyéb jogtulajdonosok) írásos engedélyével.

W A *Wikimedia Commons*-ból származó kép, felhasználása az eredeti kép leírásának megfelelően.

	Tartalom	Fogalmak	Törvények	Képletek	Lexikon	
---	--------------------------	--------------------------	---------------------------	--------------------------	-------------------------	---