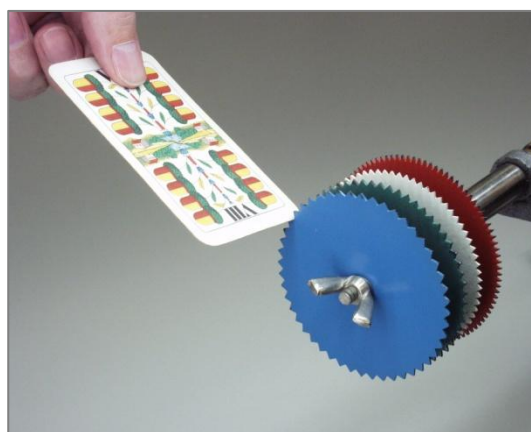


◀	<i>Tartalom</i>	<i>Fogalmak</i>	<i>Törvények</i>	<i>Képletek</i>	<i>Lexikon</i>	▶
---	-----------------	-----------------	------------------	-----------------	----------------	---

Hangtan, infrahang, ultrahang

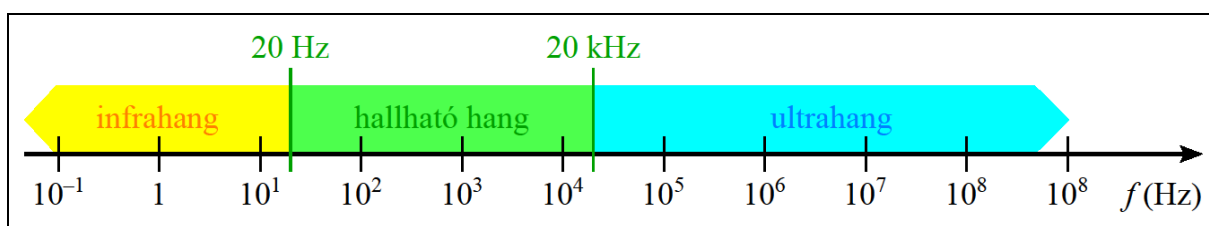
A megpendített húr, a megütött hangvilla vagy a harang hangja a levegőben longitudinális hanghullámokat hoz létre. Ezek a hullámok a fülünkbe jutva *hangérzetet* keltenek. Uszodában, sőt egy fürdőkádban is kipróbálhatjuk, hogy a hangokat a víz alá merülve is halljuk, tehát a hang nem csupán levegőben, hanem más közegben is terjed. Eszerint, *ha egy rezgés valamilyen közeg közvetítésével fülünkbe jut, hangot hallunk.*

Ha egy egyenletesen forgó fogaskerékhez kartonlapot érintünk, akkor a lap rezgésbe jön és hangot kelt. Ha a kerék fordulatszámát növeljük, akkor a gyorsabb forgás miatt a lap gyakrabban ütközik a kerék fogainak, ezért megnő a rezgések frekvenciája. Az így keletkező *nagyobb frekvenciájú hanghullámokat magasabb hangként érzékeljük.* A fordulatszám

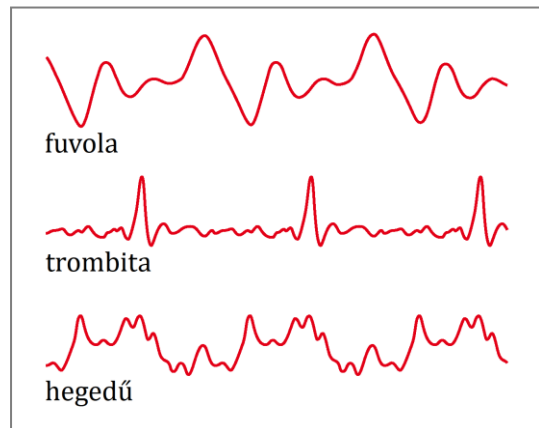


és a fogak számának ismeretében a frekvencia meghatározható, így közvetlen mérésekkel is megvizsgálható, hogy a különböző frekvenciájú hanghullámok milyen hangot (hangérzetet) keltenek.

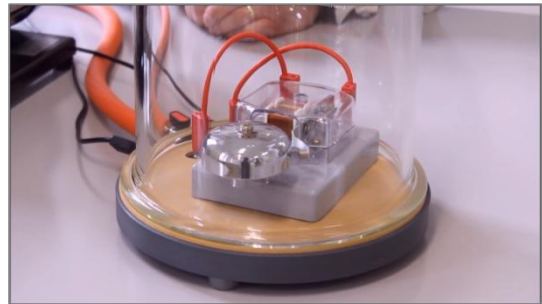
Hasonló kísérletek végezhetőek úgy is, hogy egy hanggenerátor jelét egy hangszóróra kapcsoljuk. A hangszóró által keltett hanghullámok frekvenciáját változtatva megfigyelhető, hogy *az emberi fül csak azokat a hanghullámokat érzékeli, amelyek frekvenciája 20 Hz és 20 000 Hz között van.* Ezeket a hangokat *hallható hangoknak* nevezzük. A 20 Hz-nél kisebb frekvenciájú hanghullámot *infrahangnak*, a 20 000 Hz-nél nagyobb frekvenciájút pedig *ultrahangnak* nevezzük.



Tapasztalatból tudjuk, hogy a fuvola hangja jól megkülönböztethető a trombita vagy hegedű ugyanolyan magasságú (frekvenciájú) hangjától. Barátaink, ismerőseink hangját is könnyen megkülönböztetjük egymástól. A hangforrások többségének rezgése ugyanis nem harmonikus rezgés, ez jól látszik a kitérés-idő grafikonokon is. A különféle hangforrások hangját harmonikus rezgésekre bontva megállapítható, hogy az alaphang frekvenciája a hang magasságát határozza meg, míg a felharmonikusok a hangforrásra jellemző hangszínt befolyásolják. A zenében a hangszer hangolásának alapja többnyire a normál „a” hang, amelynek frekvenciája 440 Hz.



Fontos szerepe van annak a közegnek, amelyben a hanghullámok kialakulnak, terjednek. Ha például egy légszivattyú burája alá egy villanycsengőt teszünk, majd a levegőt kiszivattyúzzuk, akkor nem halljuk a csengő hangját. Közvetítő közeg nélkül ugyanis a



hangforrás rezgései nem juthatnak el a megfigyelőhöz. Ha a levegőt fokozatosan visszaengedjük a bura alá, a csengő hangja egyre jobban hallható lesz. A jelenségről készült YouTube videó itt található: <https://www.youtube.com/watch?v=FlpQrOzJ2L4>.

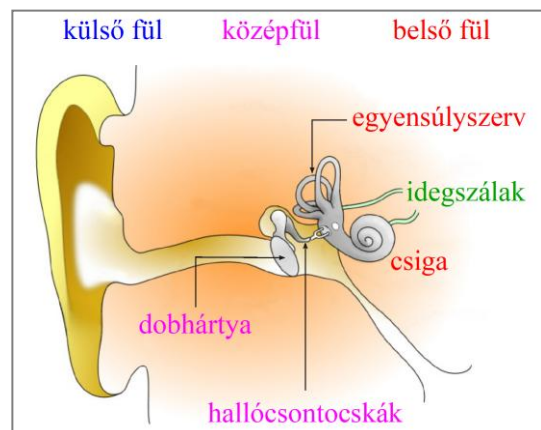
A hangot közvetítő közeg természetesen nemcsak levegő lehet. Víz alatt is hallunk hangokat, és a szomszéd lakásból a szilárd falon is áthallatszik a hang. A mérések szerint azonban a különféle közegekben a hang terjedési sebessége különböző nagyságú. A hangsebesség (különösen a gázoknál) függ a közeg hőmérsékletétől és a nyomástól is. A normálállapotú levegőben például 331,8 m/s nagyságú, de 20 °C hőmérsékleten már 343,8 m/s.

Az ultrahangok frekvenciája 20 kHz-től kb. 500 MHz-ig terjed. Mivel hullámhosszuk rövid, ezért már kisméretű tükrökkel vagy megfelelő anyagból készült lencsékkel is jól irányítható, párhuzamos nyalábok hozhatók létre. Ilyen ultrahangnyalábokat kibocsátva, és megmérve a visszaverődésig eltelt időt, távolságmérések végezhetők.

Tudjuk, hogy a rezgő testek gyorsulásának legnagyobb értéke: $a = \omega^2 \cdot A$. Mivel az ultrahangok frekvenciája nagyon magas, ezért még a kis amplitúdójú ultrahangok is nagy gyorsulást okoznak. A nagy gyorsulások következtében a közeg egyes részecskéire rendkívül nagy erők hatnak, amelynek különleges hatásai lehetnek. Ultrahangok hatására például a szennyezések leválnak a tisztítandó felületről, a hosszú molekulaláncok felszakadnak, és az egymással egyébként nem keveredő anyagok összekeverednek.

Kiegészítések

1. Az emberi hallószerv, a fül bonyolult szerv, amely egyúttal a testhelyzet és az egyensúly érzékelésében is szerepet játszik. Érzékenységét jellemzi, hogy már az $1,1 \cdot 10^{-8}$ mm amplitúdójú, 1000 Hz frekvenciájú hangot is érzékelné képes. A hangok észlelésekor a külső fülbe jutó hanghullámok a dobhártyára, majd a



hallócsontocskák közvetítésével, a hárttyával lezárt ovális ablakon át a belső fülben található csigába jutnak. Az itt található folyadék mozgása ingerli az idegvégződéseket, és a keletkezett ingerület a hallóidegen keresztül jut el az agyba. Láttuk, hogy az ember csak azokat a hangokat hallja, amelyek frekvenciája a 20 Hz és 20 kHz közötti tartományba esik. Ettől azonban életkortól és egyéni adottságoktól függően lényeges eltérések is lehetnek.

2. *Békésy György* (1899–1972) magyar fizikus a Posta Kísérleti Állomás munkatársaként kezdett akusztikai (hangtani) kutatásokkal foglalkozni: telefonkészülék hallgatójának fejlesztése, a Magyar Rádió stúdióinak akusztikus tervezése. Ezek során kezdett el a fül működésével foglalkozni. A hallás folyamatának vizsgálatában, ezen belül a csigán belüli folyamatok kutatásában jelentős eredményeket ért el. Békésy 1947-től az USA-ban dolgozott. Munkásságáért 1961-ben orvosi Nobel-díjat kapott.



3. Az állatok többsége szintén hall hangokat. Az egyes fajok különböző frekvenciatartományban hallanak. A kék bálnák például infrahangokat használva „beszélgetnek” egymással, ezek a hangok több száz kilométer (!) távolságban is hallhatók.

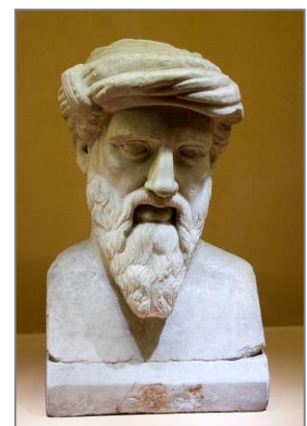


A kutyák vagy az egerek az ultrahangokat is hallják, a denevérek és a delfinek pedig az általuk kibocsátott, és a környezetükben levő testekről visszaverődött ultrahangok segítségével tájékozódnak, illetve így keresik táplálékukat.

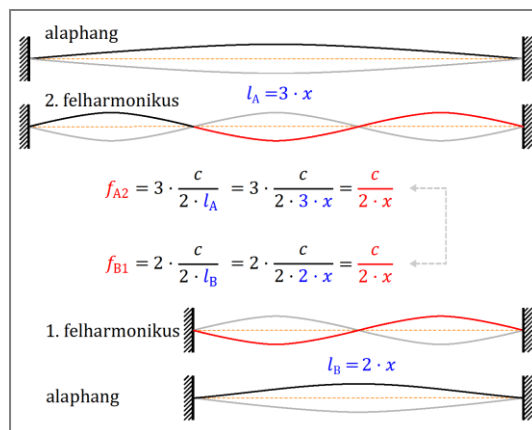
4. A zenében az „a” hang rezgésszámát többször is megváltoztatták. Az énekesek általában alacsonyabb „a” hangot szerettek volna, mert mélyebb hangon könnyebb énekelni. A hegedűsök viszont magasabb „a” hangot akartak elfogadtatni, mert hangszerük a magasabb hangokon szebben szól. Az „a” hang frekvenciája az idők során 415 Hz és 450 Hz között változott. A 440 Hz-es értéket 1939 óta nemzetközi megállapodás rögzíti. A zenészek által használt hangvillák többsége erre a hangra van hangolva. (Erre utal a képen látható hangvilla szárán olvasható felirat is.)



5. A húrok rezgéseit és az így kialakuló hangokat elsőként *Püthagorasz* (i. e. 580–500) görög matematikus, fizikus, filozófus vizsgálta. Megállapította, hogy két azonos minőségű és azonosan kifeszített húr hangja akkor kelt kellemes összhatást, ha hosszúságuk aránya két kis természetes szám hányadosa. Későbbi vizsgálatok kimutatták, hogy ilyen összhang létrejöttékor a két hang jó néhány felharmonikusa megegyezik.



Például, ha a húrok hosszának aránya 3:2, akkor a két hang második, illetve első felharmonikusa ugyanakkora frekvenciájú. (A rajz alapján belátható, hogy a két hullámhossz ugyanakkora, illetve *Az állóhullámok* című fejezetben levezetett összefüggés segítségével igazolható, hogy a két frekvencia is egyenlő.)



Püthagorasz fedezte fel a derékszögű háromszög oldalai közti összefüggést leíró és róla elnevezett Pitagorasz-tételt is.

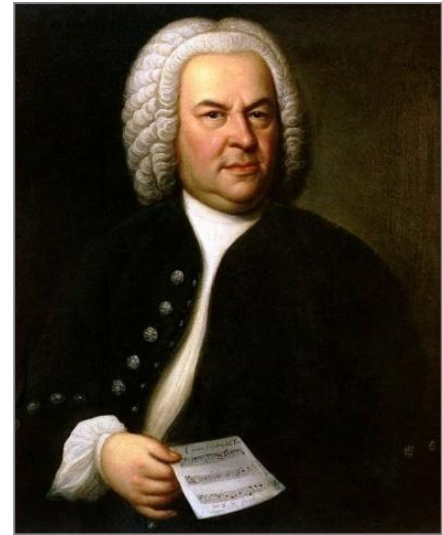
6. Két zenei hang frekvenciájának hányadosát hangköznek nevezik. A zenében a hangközöknek külön nevük is van, (a c alaphanghoz viszonyítva) lásd a táblázatban!

HANG	f (Hz)	HANGKÖZ	
		neve	értéke (1)
<i>c</i>	261,6	prim	1
<i>d</i>	293,7	szekund	1,12 ≈ 9/8
<i>e</i>	329,6	terc	1,26 ≈ 5/4
<i>f</i>	349,2	kvart	1,33 ≈ 4/3
<i>g</i>	392,0	kvint	1,50 = 3/2
<i>a</i>	440,0	szext	1,68 ≈ 5/3
<i>h</i>	493,9	szeptim	1,89 ≈ 15/8
<i>c</i> ₁	523,3	oktáv	2

Ezt a hangsort az öt félhanggal (cisz, disz, fisz, gisz és aisz) kiegészítve kapjuk a temperált hangsort. (A temperál latin eredetű szó, jelentése kiegyenlít, mérsékel.) A temperált hangsorban bármely két szomszédos hang hangköze $\sqrt[12]{2} \approx 1,0595$. Ezt a hangsort használják a fix hangolású hangszerek (például orgona, zongora, csembelló, harmonika stb.), ezek könnyen felismerhetők a jellegzetes billentyűzetről. (A képen egy zongora billentyűzete látható.)



A temperált hangsor ötletét Andreas *Werckmeister* (1645–1706) német orgonista vetette fel *Musikalische Temperatur* (Zenei temperálás) című, 1691-ben megjelent művében. Elterjedésében jelentős szerepet játszottak Johann Sebastian *Bach* (1685–1750) német zeneszerző művei. Bach külön zongoradarabokat írt *Das wohltemperierte Klavier* (A jól temperált zongora, 1722.) címmel. (Egy YouTube videó, melyben *Schiff András* magyar zongoraművész előadásában hallható a mű 24 darabja: <https://www.youtube.com/watch?v=Ugc5FZsycAw>.)



7. Az ultrahangok kibocsátása és visszaverődése közti időt megmérve a terjedési sebesség ismeretében meghatározható például a tavak, tengerek mélysége. Az önműködő ajtók egy részét is ultrahang vezérli. A vezérlőegység által kibocsátott ultrahang a személyekről visszaverődik, és ezt érzékelve a vezérlőegység kinyitja az ajtót. Ugyancsak ultrahangot használnak a gépkocsik tolatóradarjai is. (Az elnevezés pontatlan, mert a radar szó rádióhullámokkal működő eszközt jelent.) A képen egy autó tolatóradarjának érzékelőit piros nyilak jelzik.



Az emberi testben a különféle szervek, vagy azokban kialakult elváltozások (daganatok, vesekő stb.) szintén visszaverik az ultrahangokat. A visszavert ultrahangok egy sok érzékelőből álló vevőegységbe jutnak. Az érzékelők által vett jelek számítógépes feldolgozásával kép hozható létre a vizsgált területről. Az ultrahangos vizsgálatokkal így a kóros elváltozások műtét nélkül felismerhetők, illetve a magzatok még a méhen belül megvizsgálhatók.

8. Tudjuk, hogy a gázok részecskéi csak ütközés közben hatnak egymásra, két ütközés között pedig egyenes vonalú egyenletes mozgást végeznek. Ezek alapján a hangsebesség egy adott gázban várhatóan egyenesen arányos a részecskék átlagos sebességével:

$$c \sim v.$$

Magasabb hőmérsékleten a részecskék sebessége nagyobb, mert:

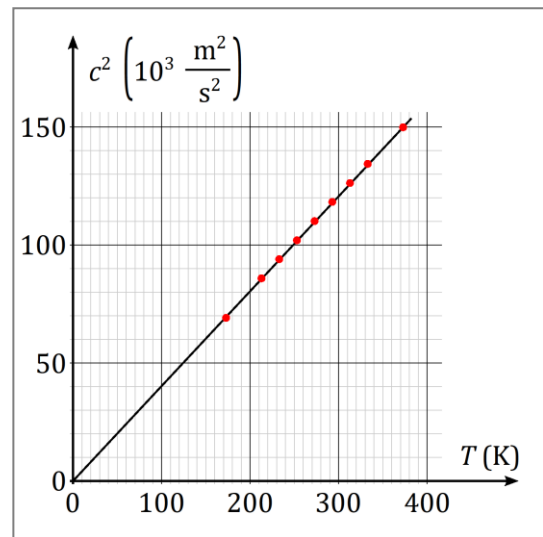
$$v^2 \sim T.$$

A két összefüggésből:

$$c^2 \sim T.$$

Az alábbi táblázat a levegőben mért hangsebességet és annak négyzetét tartalmazza néhány -100 °C és 100 °C közötti hőmérsékletértéknél. Az ezek alapján megrajzolt grafikon a hangsebesség négyzetét ábrázolja a hőmérséklet függvényeként. Mivel a pontok az origón áthaladó egyenesre illeszkednek, a fenti arányosság valóban teljesül.

$t\text{ (°C)}$	$T\text{ (K)}$	$c\text{ (}\frac{\text{m}}{\text{s}}\text{)}$	$c^2\text{ (}\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}\text{)}$
-100	173	263	69 169
-60	213	293	85 849
-40	233	307	94 249
-20	253	319	101 761
0	273	332	110 224
20	293	344	118 336
40	313	355	126 025
60	333	367	134 689
100	373	387	149 679



A $c^2 \sim T$ arányosságot igazolja az is, hogy a két mennyiség hányadosa gyakorlatilag állandó ($403\text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$).

9. Az ultrahangoknál fellépő hatalmas gyorsulásokról képet alkothatunk, ha kiszámítjuk például a $0,5\text{ MHz}$ -es, 10^{-6} mm amplitúdójú ultrahangrezgés maximális gyorsulását.

$$a = \omega^2 \cdot A = (2 \cdot \pi \cdot 5 \cdot 10^5\text{ Hz})^2 \cdot 10^{-9}\text{ m} \approx 9870\text{ } \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$



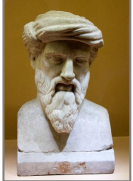
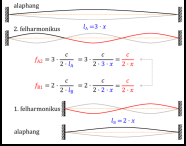




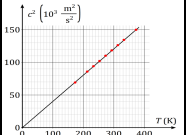
Ez az érték megközelítőleg 1000-szer nagyobb, mint a nehézségi gyorsulás.

10. Az alábbiakban néhány hangminta (hangfájl) található, melyek a különféle hangok összehasonlítását teszik lehetővé. (A hivatkozásra kattintva a böngésző *lejátssa* a hangmintát, a forrás utáni hivatkozás pedig az adott hangfájl leírását tartalmazó *Wikimedia Commons* oldalra vezet.)

- 50 Hz frekvenciájú szinuszrezgés
[Sine Wave 50Hz 30s.ogg](#) (forrás → [Wikimedia Commons](#))
- 220 Hz frekvenciájú szinuszrezgés
[220 Hz sine wave.ogg](#) (forrás → [Wikimedia Commons](#))
- 440 Hz frekvenciájú szinuszrezgés
[440 Hz.ogg](#) (forrás → [Wikimedia Commons](#))
- 880 Hz frekvenciájú szinuszrezgés
[880 Sine wave.ogg](#) (forrás → [Wikimedia Commons](#))
- 1000 Hz frekvenciájú szinuszrezgés
[1000Hz.ogg](#) (forrás → [Wikimedia Commons](#))
- 8000 Hz frekvenciájú szinuszrezgés
[8000 Hz sinus.ogg](#) (forrás → [Wikimedia Commons](#))
- 17 000 Hz frekvenciájú szinuszrezgés
[17 KHz.ogg](#) (forrás → [Wikimedia Commons](#))
- 440 Hz frekvenciájú fűrészfogrezgés
[Sawtooth-440Hz.ogg](#) (forrás → [Wikimedia Commons](#))
- 440 Hz frekvenciájú négyszögrezgés
[Square-440Hz.ogg](#) (forrás → [Wikimedia Commons](#))
- 440 Hz frekvenciájú hangvilla
[Tuning-fork-440Hz.ogg](#) (forrás → [Wikimedia Commons](#))
- 440 Hz frekvenciájú hegedű
[Violin-440Hz.ogg](#) (forrás → [Wikimedia Commons](#))
- 440 Hz frekvenciájú sakuhacsi (japán bambuszfuvola)
[Shakuhachi-flute-440Hz.ogg](#) (forrás → [Wikimedia Commons](#))

Képek jegyzéke

	<p>Hangkeltés fogaskerékkel és kartonlappal</p> <p>© http://fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf0269.jpg</p>
	<p>Infrahang, hallható hang, ultrahang frekvenciája</p> <p>© http://fizikakonyv.hu/rajzok/0375.svg</p>
	<p>Hangszerek hangjának kitérés–idő grafikonjai</p> <p>© http://fizikakonyv.hu/rajzok/0376.svg</p>
	<p>Villanycsengő hangja vákuumban (képkocka a videóból)</p> <p>© http://fizikakonyv.hu/fotok/0028.jpg</p> <p>Videó:</p> <p>© https://www.youtube.com/watch?v=FlpQrOzJ2L4</p>
	<p>Az emberi fül felépítése</p> <p>© http://fizikakonyv.hu/rajzok/0377.svg</p>
	<p>Békésy György arcképe</p> <p>W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Georg_von_B%C3%A9k%C3%A9sy_nobel.jpg</p>
	<p>Kék bálna</p> <p>W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Anim1755_-_Flickr_-_NOAA_Photo_Library.jpg</p>
	<p>Denevér</p> <p>W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Myotis-emarginatus.jpg</p>

	<p>Delfin</p> <p>W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tursiops_truncatus_01-cropped.jpg</p>
	<p>Hangvilla 440 Hz felirattal</p> <p>W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diapason_Wittner_%C3%A0_branches_carr%C3%A9es_%C3%A0_440_Hz.jpg</p>
	<p>Pitagorasz mellszobra</p> <p>W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pythagoras_in_the_Roman_Forum,_Colosseum.jpg</p>
	<p>Rajz a hullámhosszak/frekvenciák azonosságának igazolásához</p> <p>© http://fizikakonyv.hu/rajzok/0378.svg</p>
	<p>Zongora billentyűzete</p> <p>W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PianoKeyboard2.jpg</p>
	<p>Bach arcképe. Elias Gottlob Haussmann (1695–1774) festménye, 1748.</p> <p>W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Johann_Sebastian_Bach.jpg</p>
	<p>Tolatóradar érzékelői</p> <p>W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mercedes-Benz_X118_IMG_2627.jpg</p>
	<p>Magzat ultrahangos képe</p> <p>W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Thinker_little_elf.jpg</p>
	<p>Grafikon hang terjedési sebességének hőmérsékletfüggéséhez</p> <p>© http://fizikakonyv.hu/rajzok/0379.svg</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	
---	--------------------------	--------------------------	---------------------------	--------------------------	-------------------------	---