

Hangintenzitás, hangnyomás

Rezgés → mozgás → energia



A hanghullámoknak van energiája (E) [J]

Energia=munkavégző képesség

Az időegység alatt elvégzett munka=teljesítmény (P)

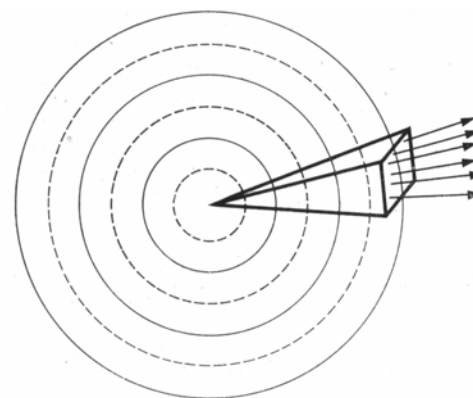
$$P = \frac{E}{t} \left(= \frac{\Delta E}{\Delta t} \right) \quad [\text{W}]$$

- Példák:**
- emberi hang: 10^{-5} W
 - fafűvósok: $5 \times 10^{-3} \text{ W}$
 - teljes zenekar: 50 W

A detektor (fül, mikrofon, stb.) kicsiny felületű.

A felületegységen áthaladó teljesítmény=intenzitás (I)

[W/m²]



Gömbhullámoknál:

$$I = \frac{P}{4\pi r^2}$$



Az intenzitás a távolság négyzetével csökken!

Hang=nyomásingadozás,
azaz az állandó légnyomás igen kicsiny
periodikus váltakozása.

Hangnyomás (p) [N/m²]=Pa (Pascal)

A hangintenzitás és hangnyomás összefügg:

$$I = \frac{p^2}{\rho c}$$

ρ : a közeg sűrűsége
 c : a közegbeli hangsebesség

Akusztikai keménység= ρc

Jelentése:

egy állandó P hangteljesítményű hangforrástól
bizonyos távolságban észlelhető I hangintenzitás
nagyobb akusztikai keménységű közegben
négyzetesen nagyobb nyomásváltozást létesít.

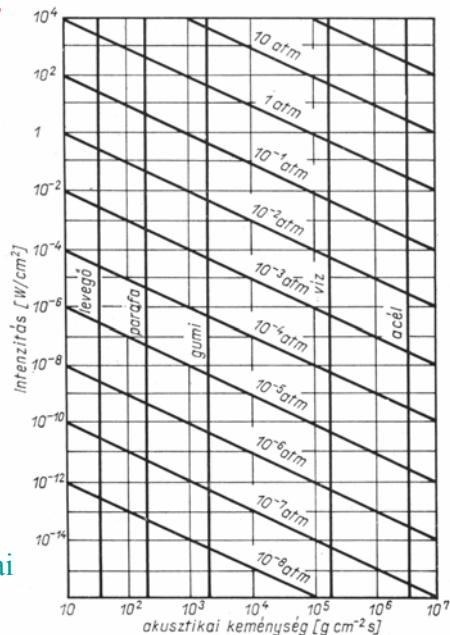


Nagyobb nyomásingadozások



Erősebb hangot érez a detektor (fül, mikrofon).

Normál levegőre: 428.6 Ns/m³
(20 C°, 0% pára, 1 atm)



Hangintenzitás-hangnyomás
összefüggése különböző akusztikai
keménységekre.

Az emberi fül érzékenysége:

Minimális nyomásingadozás (hallásküszöb): 10⁻⁹ atm
Maximális nyomásingadozás (fájdalomküszöb): 10⁻³ atm



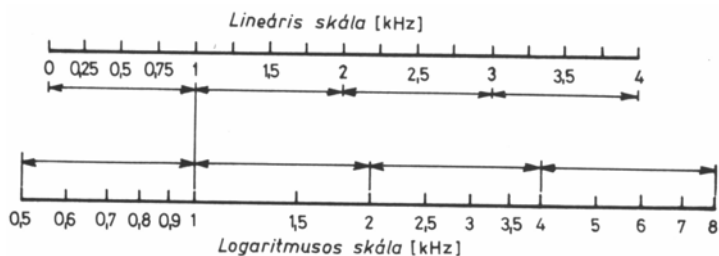
Hat nagyságrend - 1 milliószoros - tartomány!



Lineáris skála helyett logaritmikus skála: decibel skála

A logaritmus skála:

$$\begin{aligned} \lg 10 &= 1 \\ \lg 100 &= 2 \\ \lg 1000 &= 3 \end{aligned}$$



Két mennyiség hányadosának logaritmus a szintkülönbségként
a **nagyságrendi** különbséget adja.

$$\lg \frac{P_1}{P_2} = \lg P_1 - \lg P_2$$

Decibel skála:

$$10 \cdot \lg \frac{P}{P_0} = 10 \cdot \lg P - 10 \cdot \lg P_0$$

[dB]: decibel

A decibel skála:

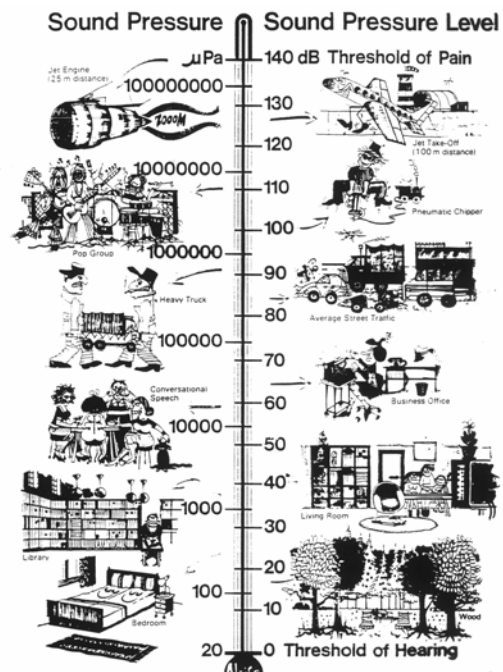
viszonyító (amíg nincs egy megállapodott alapérték)
alkalmas teljesítmény, intenzitás és nyomás jellemzésére.

Alapteljesítmény: $P_0 = 10^{-12}$ W

Alapintenzitás: $I_0 = 10^{-12}$ W/m²

így tehát

Alapnyomásváltozás: $p_0 = 20 \times 10^{-6}$ Pa



A hullámterjedés alapjelenségei

- Szabad térben egyenes vonalú
(az amplitúdó változhat: henger- és gömbhullámok)
- Visszaverődés
- Törés
- Elhajlás
- Elnyelés (gyengítés)

Különleges terjedési jelenségek

Doppler effektus
Szuperszonikus terjedés

Hangsebesség mérése

Levegőben:

Ágyúlövés- és felvillanás

1636-ban: 448 m/s

1738-ban: 337.18 m/s

Kundt-cső

Mai érték: $331.45 \text{ m/s} + 0.6 \text{ m/s} \times T[\text{C}^\circ]$

Általában igaz: $c \sim (\rho)^{-1/2}$ (már Newton megsejtette)
azaz a közeg sűrűségével csökken (a hőmérséklettel nő),

... a rezgések és a hullámok közti kapcsolatról
tanultaknak (csatolás) megfelelően.

Fontos!

c független a frekvenciától (hangmagaságtól)!

Hangsebesség mérés vízben (1826)

Hangadó: 65 kg harang a vízben

Hangvevő: hangtölcsérrel a vízben - ember

Eredmény: 1435 m/s



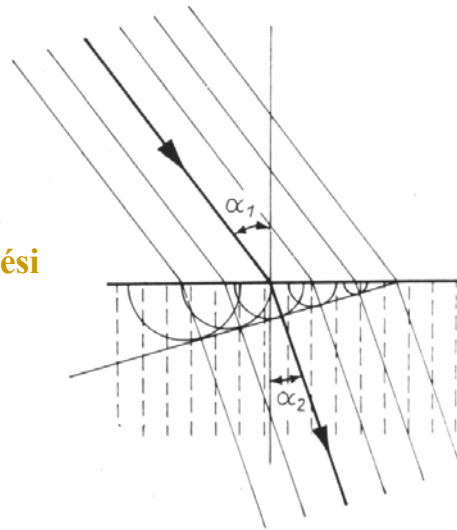
Pontos érték: 1437 m/s
gázmentesített vízben: 1451 m/s

... egy másik része megtörik és a közegbe hatol, ...

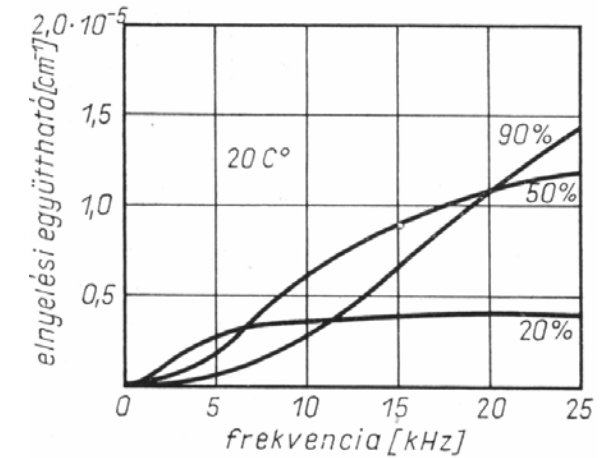
Törés

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{c_1}{c_2}$$

... azaz a közegbeli terjedési sebességek hányadosa.



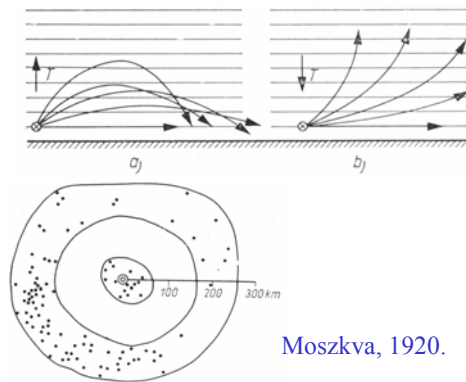
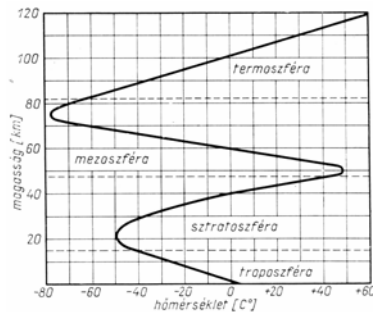
... ahol részben el is nyelődhet (gyengül).



A gyengítés mértéke függ a hangmagasságtól!!!

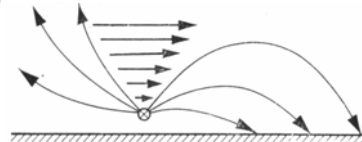
Különleges terjedési jelenségek

Hangterjedés levegőben változó hőmérséklet mellett



Moszkva, 1920.

Hangterjedés levegőben széljárás mellett



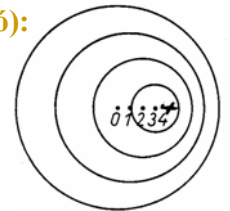
Doppler effektus (1842)

Hullámforrás mozog, megfigyelő nyugszik

Észlelt hullámhossz (közeledő/távolodó):

$$\lambda' = \lambda \mp v_f \cdot T$$

Észlelt frekvencia:
$$v' = \frac{v}{1 \mp \frac{v_f}{c}}$$



Hullámforrás nyugszik, megfigyelő mozog

Az időegységre eső észlelt hullámok száma nő/csökken.

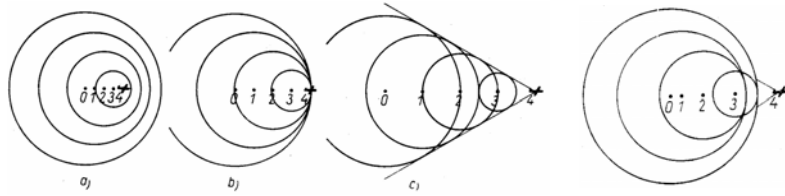
$$v' = v \pm \frac{v_m}{c}$$

A két objektum közeledik / távolodik:

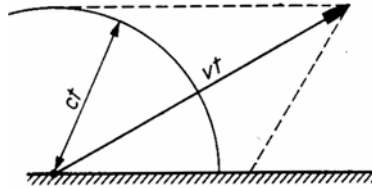
A sebességeknek a *másik* felé mutató komponense számít!

$$v' = \frac{1 \pm \frac{v_m}{c}}{1 \mp \frac{v_f}{c}}$$

Szuperszónikus terjedés



Mach-féle kúpszög:
 $\sin\alpha = c_0/c$



Hangrobbanás

Rezonancia-szerű (amplitúdók összegződnek)

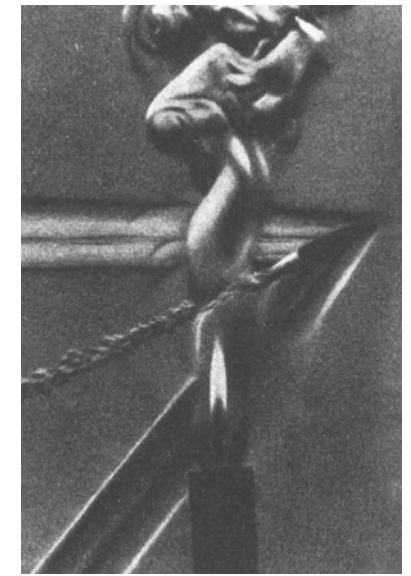
Csillapítás: közeg

A kúpszög nagysága függ a frekvenciától.

Általában keskeny sávban előre mutat.

Szuperszónikus sebesség

Mach-féle kúpszög:
 $\sin\alpha = c_0/c$



Kondenzáció közel-
szuperszónikus sebességnél