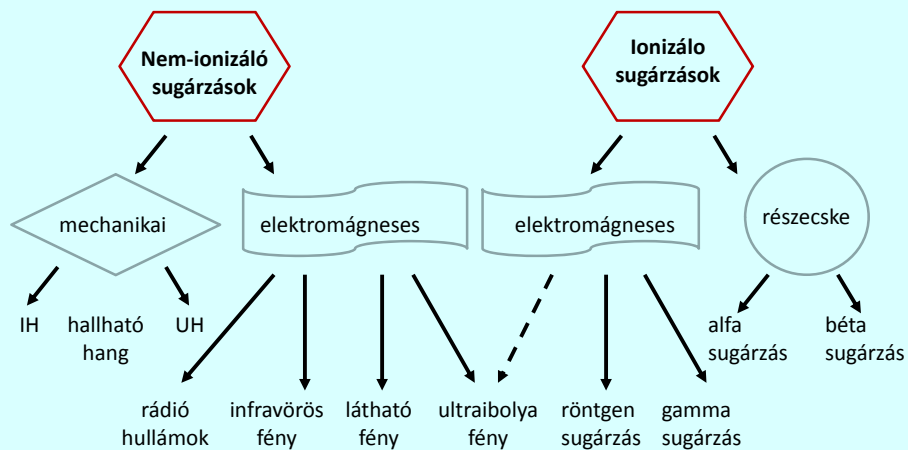


Sugárzások



Hang

és

ultrahang

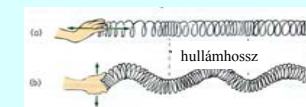


A hang/ultrahang mint hullám

A hang *mechanikai hullám*

Terjedéséhez közegre van szükség – vákuumban nem terjed

Longitudinális vs. transzverzális hullám



longitudinális hullám
(gázokban és folyadékok belsejében csak ilyen)

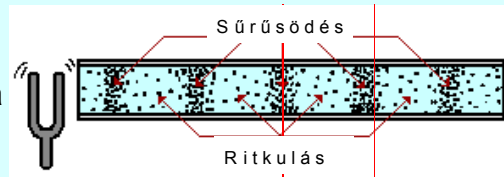


transzverzális hullám is kialakulhat
szilárd testekben, folyadékok felszínén

A hullám leírása

Mechanikai hullám (model)

hangvilla

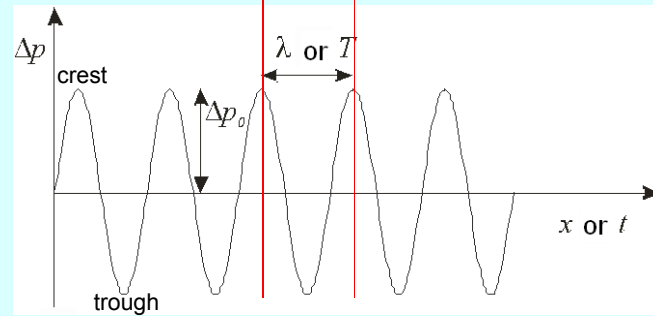


rugó



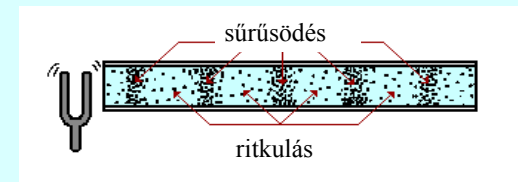
Térbeli és időbeli periodicitás

kitérés



A nyomás periódikus változása

A közeg részecskéinek sűrűsödése és ritkulása a terjedési irány mentén



hidrosztatikainyomás

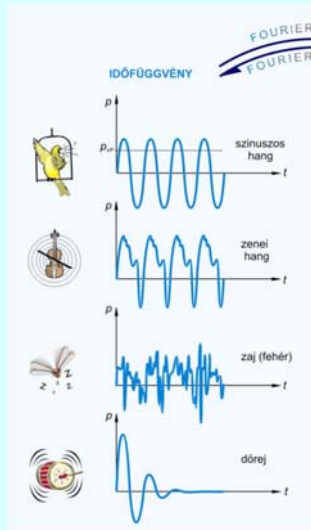
nyomásváltozás,
hangnyomás

$$p_{\text{teljes}} = p_{\text{hidrosztat}} + \Delta p$$

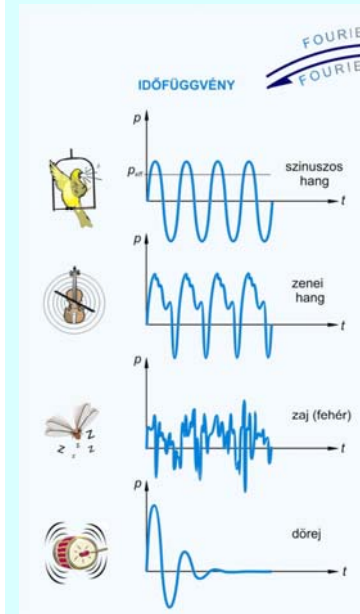
$$\Delta p(t, x) = \Delta p_{\text{max}} \sin \left[2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \right]$$

amplitúdó fázis

A nyomás periódikus változása



Tkv. IV.23. ábra.



Tkv. IV.23. ábra.

alaphang
frekvenciája

hangmagasság

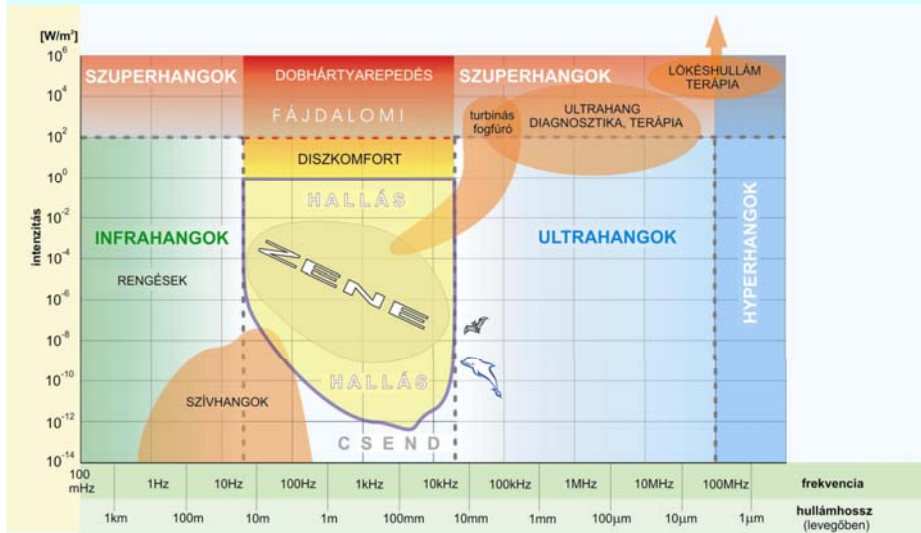
felhangok aránya
(spektrum)

hangszín

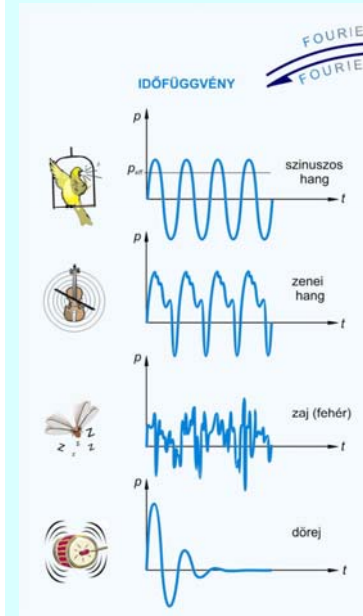
nyomás / intenzitás*

hangosság

Mechanikai hullámok tartományai frekvencia és intenzitás alapján



Tkv. IV.24. ábra.



Tkv. IV.23. ábra.

alaphang
frekvenciája

hangmagasság

felhangok aránya
(spektrum)

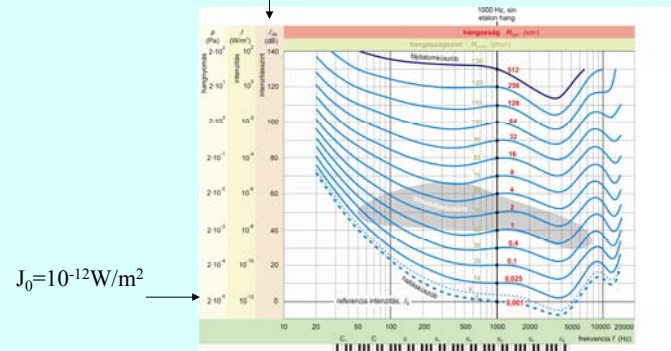
hangszín

nyomás / intenzitás*

hangosság

$$* J_{dB} = 10 \lg \frac{J}{J_0} \quad J_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

$$J_{dB} = 10 \lg \frac{J}{J_0}$$



A hang/ultrahang terjedése

A hang *terjedési sebessége* – a rugalmas közeg szerepe

$$c = f\lambda$$



$$\kappa = -\frac{1}{V} \left(\frac{\Delta V}{\Delta p} \right) \text{ [Pa}^{-1}\text{]}$$

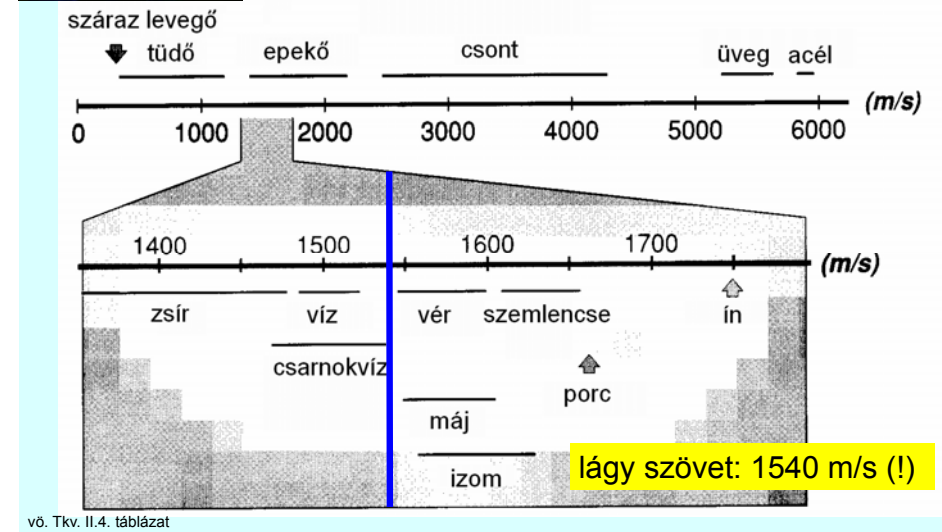
$$c = \sqrt{\frac{1}{\rho \kappa}}$$

κ a közeg kompresszibilitása
 ρ a közeg sűrűsége

Szilárd anyagokban nagyobb a terjedési sebesség, mint gázokban, mert

$$\rho \uparrow \quad \kappa \downarrow$$

A hang/UH sebessége különféle közegekben



A hang/ultrahang terjedése

$$c = \frac{1}{\sqrt{\rho \kappa}}$$



$$\kappa = \frac{-\Delta V/V}{\Delta p}$$

$$Z = \frac{\rho}{v} = \frac{\rho_{\max}}{v_{\max}}$$

Akusztikus **impedancia**
(definíció)

$$(Z_{\text{elektronikus}} = \frac{U}{I})$$

$$Z = c\rho = \sqrt{\frac{\rho}{\kappa}}$$

Akusztikus **impedancia**

$$[\text{kg} / \text{m}^2 \text{s}]$$

Az akusztikus impedancia

mennyire áll ellen a részecske annak, hogy részecskéit rezgésbe hozzuk.

$$Z = \frac{\rho}{v} = \frac{\rho_{\max}}{v_{\max}}$$

$$Z = \rho c = \sqrt{\frac{\rho}{\kappa}}$$

akusztikus impedancia/
akusztikus ellenállás/
akusztikus keménység

Mértékegység:

$$[\text{kg} / \text{m}^2 \text{s}]$$

anyag	ρ [kg/m ³]	κ [1/GPa]	c [m/s]	Z [kg/(m ² ·s)]
levegő	1,3	7650	331	0,00043·10 ⁶
víz, 20°C	998	0,45	1492	1,49·10 ⁶
aluminium	2700	0,009	6400	17,28·10 ⁶
kvarc	2650	0,011	5736	15,2·10 ⁶

Példa:

Egy 3 MHz-es, 50 mW/cm² intenzitású hullám terjed vérben. Mekkora a nyomás, a rezgő részecskék maximális kitérése és sebessége ebben a hullámban?

$$Z_{\text{vér}} = 1,66 \times 10^6 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$$

Megoldás:

Intenzitás: $J = \frac{p_{\text{max}}^2}{2Z}$

$$p = \sqrt{2JZ} = 40.74 \text{ kPa}$$

Részecske sebessége:

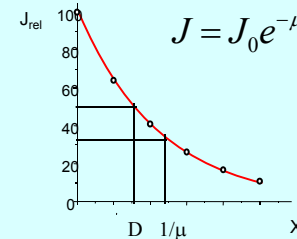
$$v = \frac{p}{Z} = \frac{40,74 \cdot 10^3}{1,66 \cdot 10^6} = 0,0245 \text{ m/s} = 24,5 \text{ mm/s}$$

Kitérés:

$$A = \frac{v}{\omega} = \frac{24,5}{2 \cdot \pi \cdot 3 \cdot 10^6} = 1,3 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 1,3 \text{ nm}$$

A hang/ultrahang terjedése

Intenzitásgyengülés terjedés közben $J = \frac{1}{Z} \Delta p_{\text{eff}}^2$



csillapítás (dB)

$$\alpha = 10 \lg \frac{J_0}{J}$$

$$\alpha = 10 \cdot \mu \cdot x \cdot \lg e$$

μ a diagnosztikai frekvencia tartományban arányos a frekvenciával

$f = 1 \text{ MHz-re}$

$D_{\text{levegő}} \sim 1 \text{ cm}$

$D_{\text{víz}} \sim 1 \text{ m}$

fajlagos csillapítás

$$\frac{\alpha}{f \cdot x}$$

μ a diagnosztikai frekvencia tartományban arányos a frekvenciával

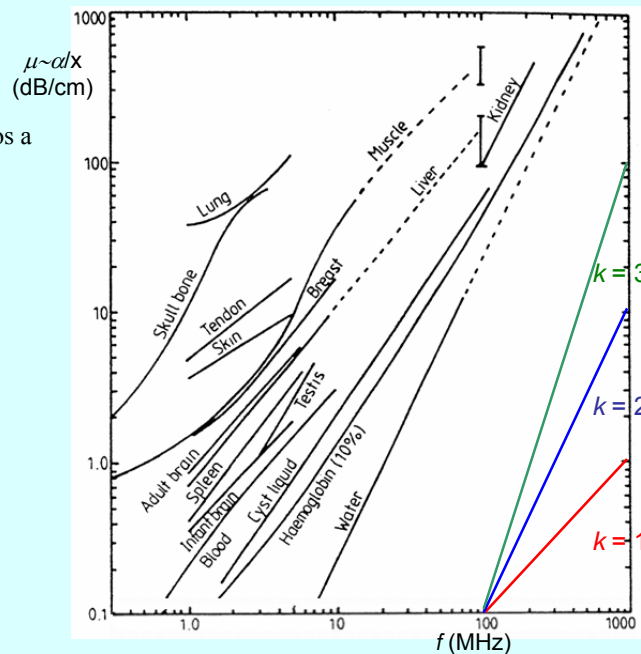
$$\mu \sim f^k, \quad k \sim 1(?)$$

$$\log \mu \sim k \log f$$

ha egyenest kapunk, akkor jó a hatványfüggvény közelítés

fajlagos csillapítás lágy szövetre:

$$\frac{\alpha}{f \cdot x} \sim 1 \frac{\text{dB}}{\text{cm MHz}}$$

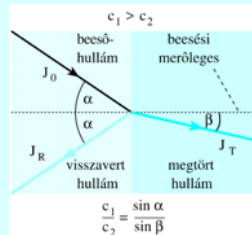


$$\frac{\alpha}{f \cdot x} \sim 1 \frac{\text{dB}}{\text{cm MHz}}$$

szövet	fajlagos csillapítás
Máj	0,6 – 0,9
Vese	0,8 – 1,0
Zsír	1,0 – 2,0
Vér	0,17 – 0,24
csont	16 – 23

A hang/ultrahang terjedése

Törés



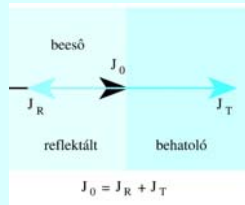
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2}$$

Snellius-Descartes

Visszaverődés

$$R = \frac{J_R}{J_0}$$

$$R = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2$$



$$^* c = \sqrt{\frac{1}{\rho \kappa}}$$

A hét kérdése

Hogyan befolyásolja az UH frekvenciája a szövetekben való elnyelődését?

Kapcsolódó fejezetek:

Damjanovich, Fidy, Szöllősi: Orvosi Biofizika

II. 2.4.

VIII. 4.2.