

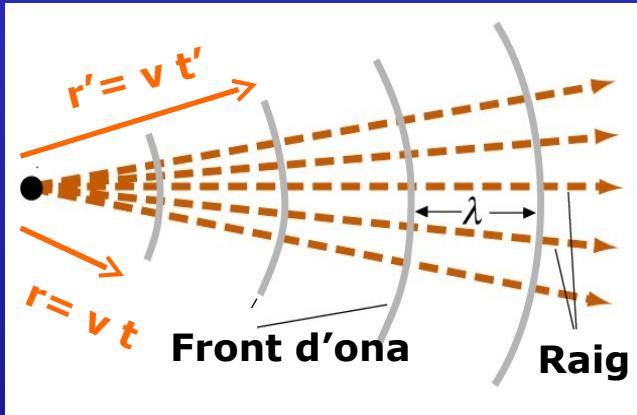
**Ones  
sonores**

# Ones planes i esfèriques



# Propagació d'ones en 3D

## Emissor puntual d'ones

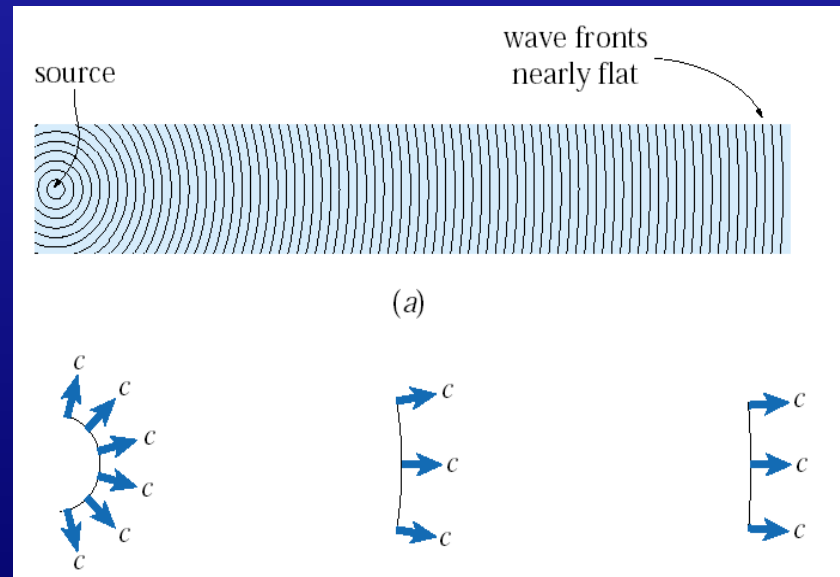
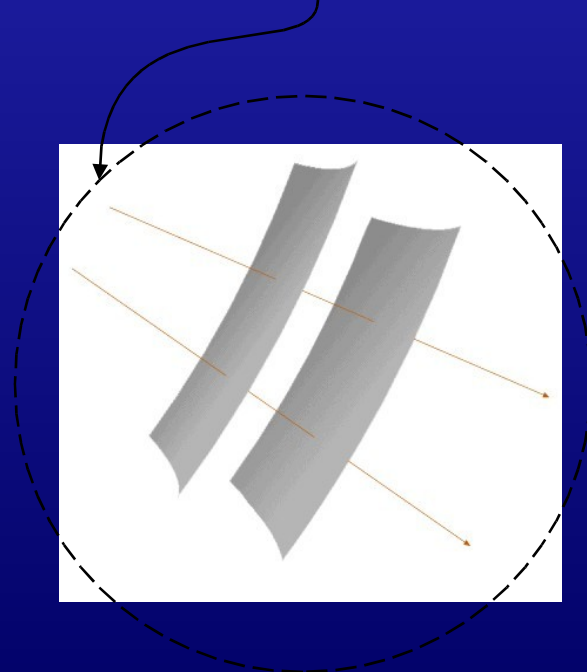


## Superfície d'ona (2D) Front d'ona (3D)

Conjunt de punts sobre una superfície esfèrica (3D) o circular (2D) de radi  $r = vt$  centrada en la font que es troben en el mateix estat d'oscil·lació.

## Raig

Direcció perpendicular al front d'ona a cada punt.



Lluny de la font, els fronts d'ona es fan plans

# Naturalesa del so

## ONA SONORA

- Ona longitudinal de compressió i rarefacció del medi (gas, líquid, sòlid).
- És conseqüència d'una variació local de densitat, que provoca una variació de pressió.

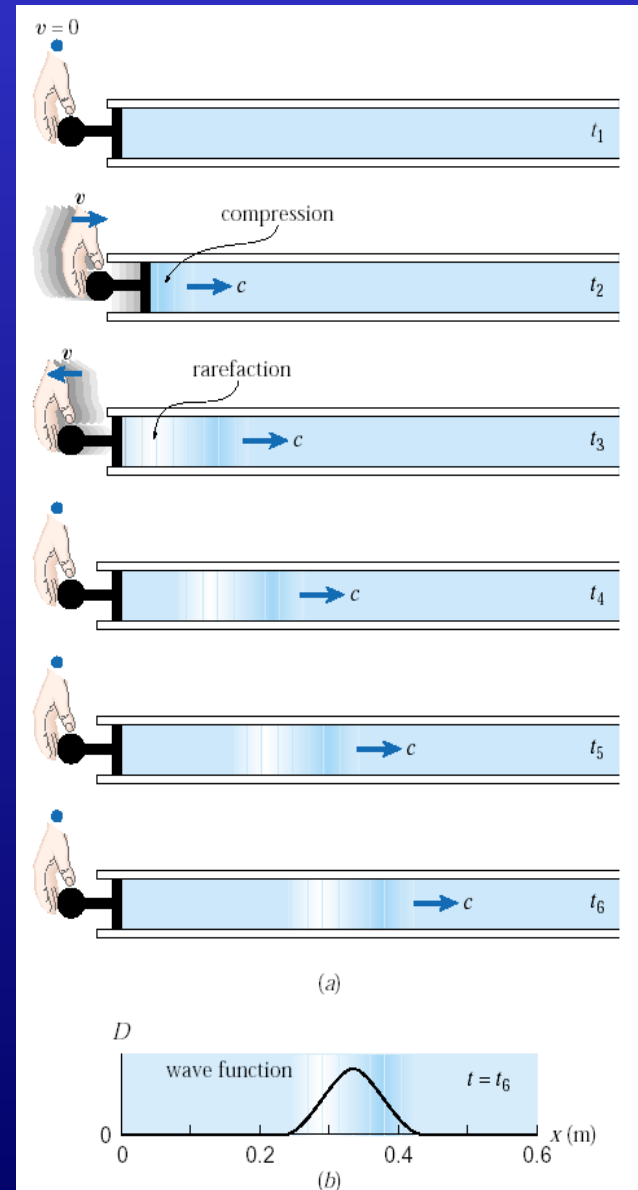
Font que vibra a alta freqüència

Desplaçament de molècules respecte equilibri

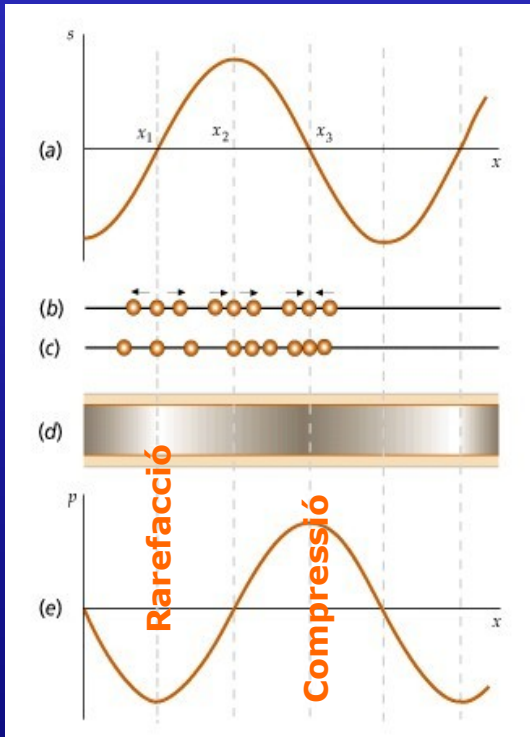
Variacions en la densitat

Variacions de pressió

SO



# Funció d'ona sonora



## Ona de desplaçament

$$s(x,t) = s_0 \sin [kx \pm \omega t + \varphi]$$

Equilibri  
Ona

## Ona de pressió

$$P(x,t) = P_0 \sin [kx \pm \omega t + \varphi - \pi/2]$$

- Hi ha un desfasatge de  $\pi/2$  entre l'ona de desplaçament, i la de pressió.
- La màxima compressió ò rarefacció és on el desplaçament és nul.

# Velocitat de propagació del so

$$v_{\text{sòlid}} \equiv \sqrt{\frac{Y}{\rho}} \quad v_{\text{líquid}} \equiv \sqrt{\frac{K}{\rho}} \quad v_{\text{gas}} \equiv \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}$$

$\rho$ , densitat del medi

$Y$ , mòdul de Young

$K$ , mòdul de compressibilitat

$P$ , pressió

$\gamma$ , constant adiabàtica

El so es propaga més ràpidament als sòlids que als líquids i gasos.

La velocitat de propagació depèn de la temperatura i de les propietats elàstiques del medi de propagació.

Els ultrasons permeten detectar objectes petits ( $d \sim \lambda$ ).

Medi (T=20 C)	Densitat (Kg/m <sup>3</sup> )	Velocitat (m/s)	K (N/m <sup>2</sup> )
Aire	1.2	344	1.43 10 <sup>5</sup>
Aigua	1000	1500	2 10 <sup>9</sup>
Ferro	7900	5120	2 10 <sup>11</sup>
Sang (T= 37 C)	1056	1570	2.6 10 <sup>9</sup>



Ecografia a la Júlia (15/03/05)

# Qualitats del so

## Energia i intensitat

L'energia d'una ona és proporcional al quadrat de l'amplitud i de la freqüència:

$$E = 2mn^2f^2A^2$$

La intensitat és la quantitat d'energia que es transmet durant un interval de temps. Si el medi no atenua l'energia de l'ona, la **intensitat** ha de variar amb la distància al focus:

**I = Potència / Àrea = P/4πR<sup>2</sup>** La unitat de mesura de la intensitat són W/m<sup>2</sup>

Es pot comprovar que  $\frac{I_1}{I_2} = \frac{A_1^2}{A_2^2} = \frac{R_2^2}{R_1^2}$

La gama d'intensitats sonores audibles pels éssers humans és molt àmplia, i això fa que la intensitat s'acostumi a expressar en escala logarítmica, segons l'escala decibèlica. A més, la **sensació sonora** o **nivell d'intensitat** no és proporcional a la I que la produeix, i és per això que la mesurem en aquesta escala, escollint com a referència la intensitat mínima detectada pels éssers humans (I<sub>0</sub>):

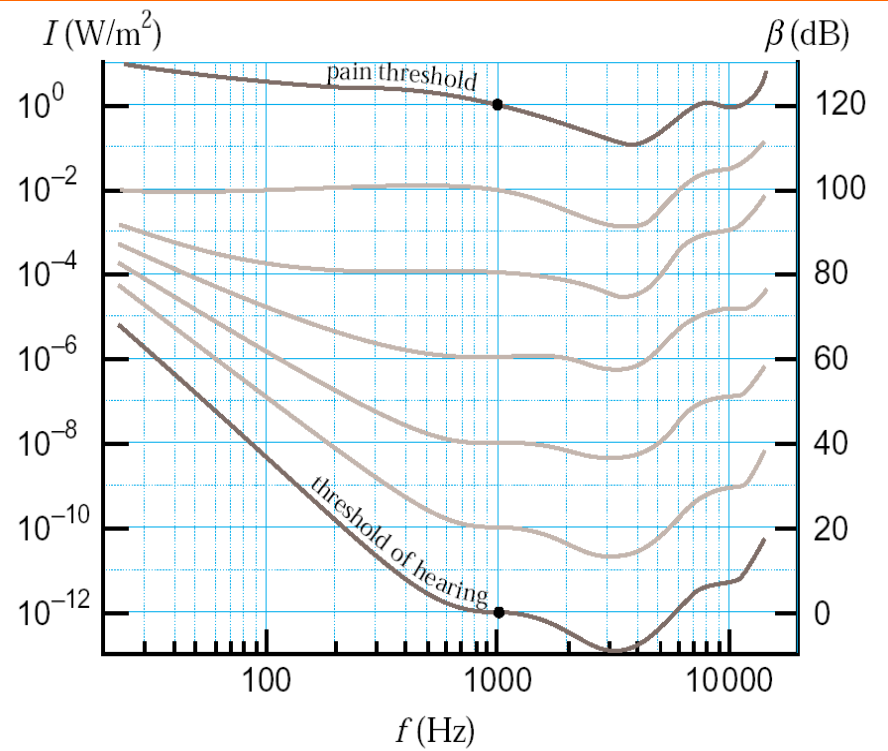
**β = 10 log(I/I<sub>0</sub>)** La unitat de mesura del nivell d'intensitat són els decibels (dB)

I<sub>0</sub> = 10<sup>-12</sup> W/m<sup>2</sup> = 0 dB ⇒ Llímit d'audició.

I<sub>dolor</sub> = 1 W/m<sup>2</sup> = 120 dB ⇒ Llímit de dolor.

Source	distance (m)	$\beta$ (dB)	
Jet engine	50	140	pain
Pneumatic hammer	10	110	
Shout	1.5	100	very loud
Car horn	10	90	
Hair dryer	0.2	80	
Automobile		70	loud
Conversation	1	60	moderate
Office background		50	
Library background		40	
Suburban bedroom		30	quiet
Whisper	1	20	
Normal breathing	5	10	barely audible

Cada corba representa sons a diferents freqüències que, en ser percebuts, produeixen el mateix nivell de sonoritat per un oient promig.

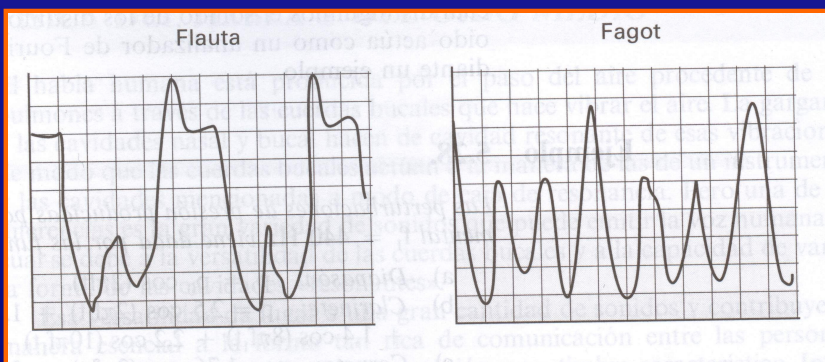




## To i timbre

El **to** és la qualitat del so mitjançant el percebem com a més agut o més greu. Ens permet distingir els sons aguts dels greus, i depèn de la freqüència fonamental del so. Es mesura en les mateixes unitats que la freqüència, en Hertz, de manera que els **sons aguts** corresponen a freqüències altes (longituds d'ona petites) i els **greus** a freqüències baixes (longituds d'ona grans).

Ara bé, es pot comprovar que dos sons de la mateixa intensitat i del mateix to poden distingir-se. La característica que els distingeix és el **timbre**. Aquesta qualitat del so permet, juntament amb altres, identificar diverses fonts sonores, i és deguda bàsicament, a que cada instrument produeix variacions de pressió de manera molt diferent. Així, la mateixa nota musical donada per un violí, una flauta i un diapasó es distingeix mitjançant el timbre.



Forma de l'ona emesa per dos instruments en emetre la nota Sol (440 Hz)