

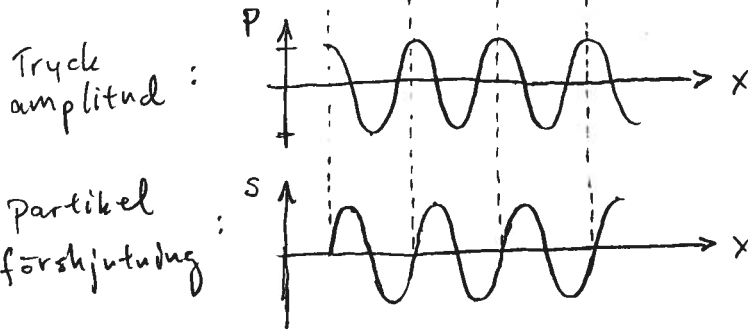
Övning 2 SKIII

Ljudvågor

Repetition

Longitudinella  
vågor

$s(x,t) = A \cos(kx - \omega t)$  ← vågfunktionen



90° =  $\frac{\pi}{2}$  rad  
ur fas!

$P(x,t) = -B \frac{ds(x,t)}{dx}$

Kompressionsmodul [enhet Pa = N/m<sup>2</sup>]

jmf. Hooke's lag :  $F = -kx$

k : fjäder konstant [N/m<sup>2</sup>]

Våghastighet

$v = \sqrt{\frac{\text{Återverkande kraft}}{\text{Tröghet}}}$

ex.

vätsha/gas :  $v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$

gas :  $v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$

fast kropp :  $v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$       $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$   
3 dim     1 dim

( $\rho$  = mass volymdensitet)

Intensitet

$I = \frac{\text{Effekt}}{\text{Area}} = \frac{P}{4\pi r^2} \text{ [W/m}^2\text{]}$

Förhållande tryck - intensitet

$I = \frac{P_{\text{max}}^2}{2\rho v}$

Relativ Intensitet

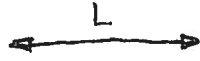
$I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$  motsv. 0 dB vid 1 kHz (hörselgräns)

$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0} \text{ [dB]}$

forts.

# Stående ljudvågor - Resonans

Kavitet:



helöppen:



$$\lambda_n = \frac{2L}{1+n}$$

halvöppen:



$$\lambda_n = \frac{4L}{1+2n}$$

sluten:



$$\lambda_n = \frac{2L}{1+n}$$

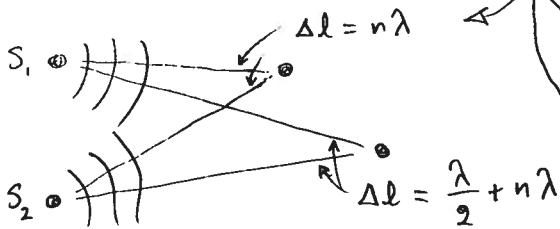
n=0

n=1

Normalmoder

## Interferens

Kan vara **konstruktiv** eller **destruktiv** beroende på väg eller tidskillnad mellan källor och mottagare.



ifas:  $\Delta\varphi = n \cdot 2\pi$



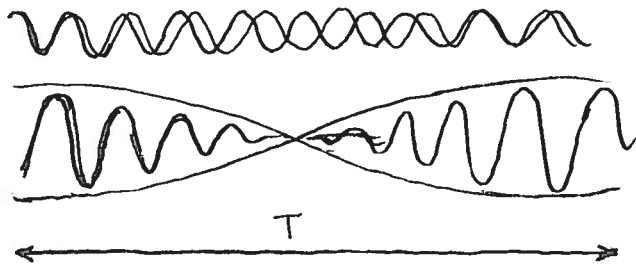
ur fas:  $\Delta\varphi = \pi + n \cdot 2\pi$



## Svängning (Beats)

Olika frekvenser!

$$f_{\text{svängning}} = \frac{1}{T} = f_1 - f_2$$



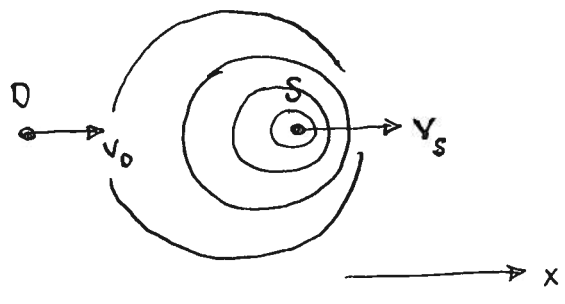
$$\begin{aligned}
 s(t) &= s_1 + s_2 = s_m \cos \omega_1 t + s_m \cos \omega_2 t = \\
 &= 2s_m \cos\left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t\right) \cos\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t\right) \\
 &= [2s_m \cos(\omega' t)] \cos(\omega t)
 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \omega_{\text{svängning}} = 2\omega' = \omega_1 - \omega_2 \quad \# \text{ QED.}$$

forts.

# Doppler effekt - frekvensskift p.g.a rörelse

$$f_D = f_s \frac{v \pm v_D}{v \pm v_s}$$



[v: ljudets hastighet]

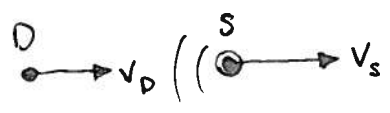
→ positiva tecken enligt

definition av riktningar i figuren.

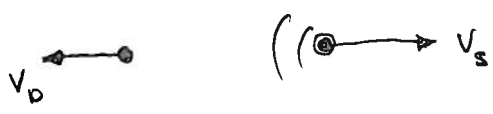
- Frekvens ökar då källa (S) och detektor (D) rör sig förhållandevis emot varandra
- Frekvens minskar då källa och detektor rör sig förhållandevis från varandra.

## Exempel

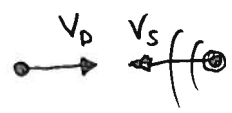
$$f_D = f_s \frac{v + |v_D|}{v + |v_s|}$$



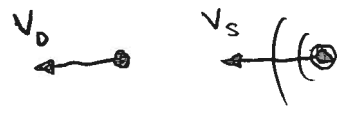
$$f_D = f_s \frac{v - |v_D|}{v + |v_s|} \leq f_s$$



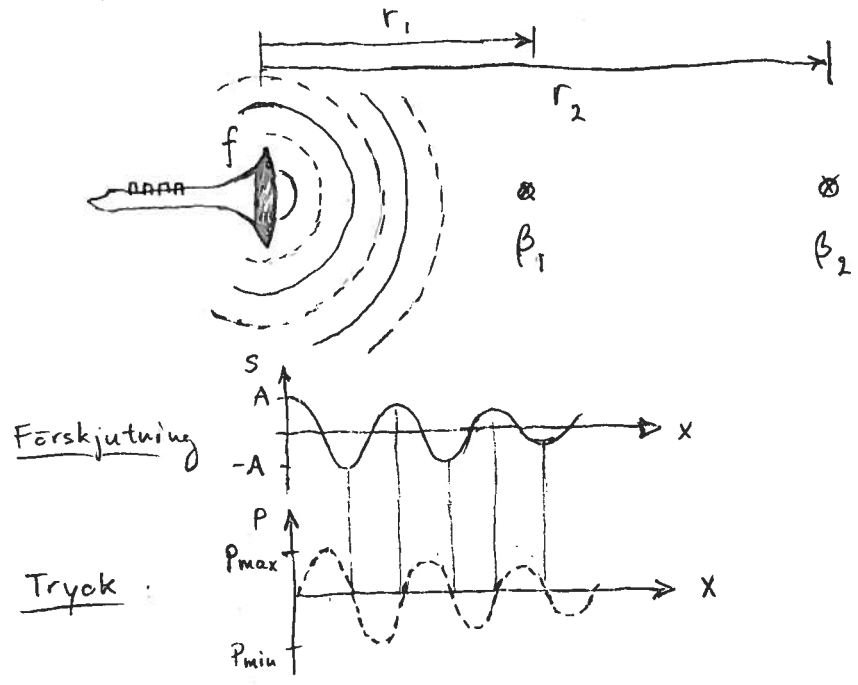
$$f_D = f_s \frac{v + |v_D|}{v - |v_s|} \geq f_s$$



$$f_D = f_s \frac{v - |v_D|}{v - |v_s|}$$



16.56) Ljudtryck och intensitet.



Känt :  $f = 587 \text{ Hz}$  ,  $r_1 = 5 \text{ m}$  ,  $\beta_1 = 52 \text{ dB}$  ,  $\beta_2 = 30 \text{ dB}$

- Sök :
- a) Tryckamplitud  $P_{max}$  vid  $r_1$  ?
  - b) Partikel förskjutning  $A$  vid  $r_1$  ?
  - c) Avstånd  $r_2$  ?

Vi har förskjutning:  $s(x,t) = A \cos(kx - \omega t)$

Relation tryck - förskjutning :  $p(x,t) = -B \frac{ds(x,t)}{dx}$

$\Rightarrow$  tryck:  $p(x,t) = \underline{\underline{BkA \sin(kx - \omega t)}}$   
 $= P_{max}$  ?

$A = \frac{P_{max}}{Bk}$  (1)

Intensitet :  $I = \langle p \cdot v_s \rangle_{avg} =$

$$= \langle BkA \sin(kx - \omega t) \frac{ds}{dt} A \cos(kx - \omega t) \rangle_{avg}$$

$$= \langle BkA \cdot A \omega \sin^2(kx - \omega t) \rangle_{avg} = \frac{B \omega k A^2}{2} = \frac{\omega P_{max}^2}{2 B k}$$

$= \left\{ v = \frac{\omega}{k} , v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \right\} = \boxed{\frac{P_{max}^2}{2 \rho v} = I}$  (2)

Samband I och dB?

Definition:  $\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$  (3)

[där  $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$  motsv. 0 dB gräns @ 1 kHz]

a) (2) och (3)  $\Rightarrow$

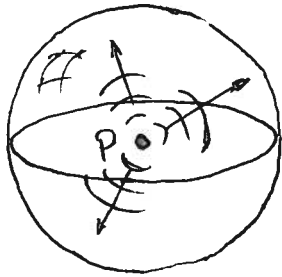
$$P_{\max} = \sqrt{2 \nu \rho I_0 \cdot 10^{\beta/10}} = 11,4 \text{ mPa} = \underline{\underline{11,4 \text{ mN/m}^2}}$$

$$[v = 344 \text{ m/s}, \rho_{\text{luft}} = 1,2 \text{ kg/m}^3]$$

b) (1)  $\rightarrow A = \frac{P_{\max}}{Bk} = \left\{ v = \frac{\omega}{k}, v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \right\} =$

$$= \frac{P_{\max}}{\omega \cdot \nu \rho} = \frac{1}{2\pi f} \cdot \sqrt{\frac{2 I_0 \cdot 10^{\beta/10}}{\nu \rho}} = 7,5 \cdot 10^{-9} \text{ m} = \underline{\underline{7,5 \text{ nm}}}$$

c)



$$\text{Intensitet} = \frac{\text{Effekt}}{\text{Area}} = \frac{P}{4\pi r^2}$$

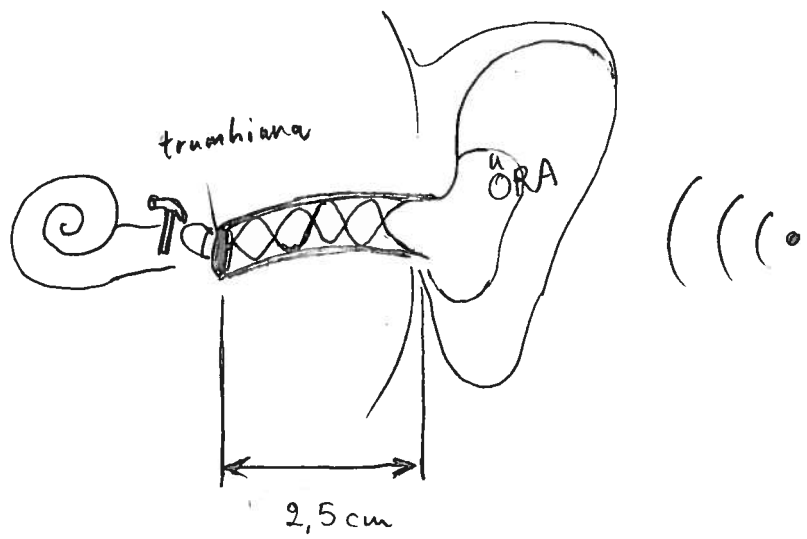
dvs.  $\frac{I_2}{I_1} = \frac{P}{4\pi r_2^2} \cdot \frac{4\pi r_1^2}{P} = \frac{r_1^2}{r_2^2}$

$$\Rightarrow r_2 = r_1 \sqrt{\frac{I_1}{I_2}} = r_1 \sqrt{\frac{I_0 \cdot 10^{\beta_1/10}}{I_0 \cdot 10^{\beta_2/10}}} =$$

$$= r_1 \cdot 10^{(\beta_1 - \beta_2)/20} = \underline{\underline{63 \text{ m}}}$$

# 16.66) Stående ljudvågor - halvöppen resonans.

Kont.

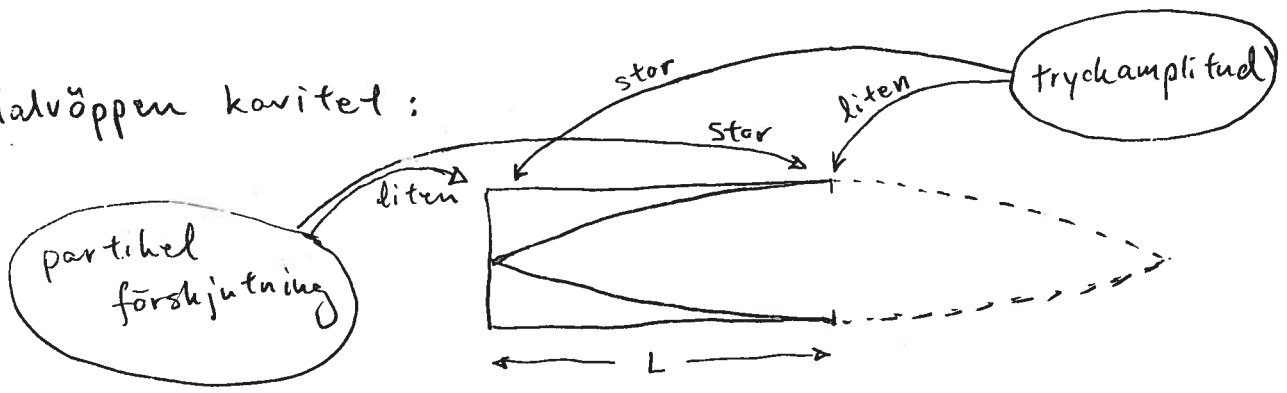


- Sökt :
- a) Varför känslig för ~3500 Hz ?
  - b) ~7000 Hz , ~10500 Hz ?

a) Halvöppen kavitet :

om ihåg:

$$\Delta p = -B \frac{dy}{dx}$$



$$f_n = \frac{v}{\lambda_n} = \left\{ \frac{\lambda_n}{2} = \frac{2L}{1+2n} \right\} = \frac{v}{4L} (1+2n)$$

Grundton  $n=0$

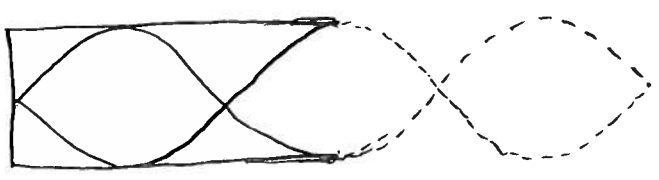
$$f_0 = \frac{v}{4L} = \underline{\underline{3440 \text{ Hz}}} \approx 3500 \text{ Hz} \quad \text{Resonans!}$$

b)

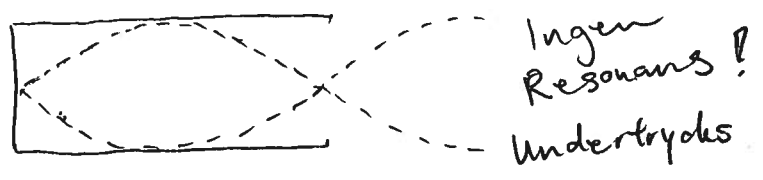
första överton  $n=1$

$$f_1 = \frac{v}{4L} \cdot 3$$

$$= 10320 \text{ Hz} \approx 10500 \text{ Hz} \quad \text{Resonans!}$$

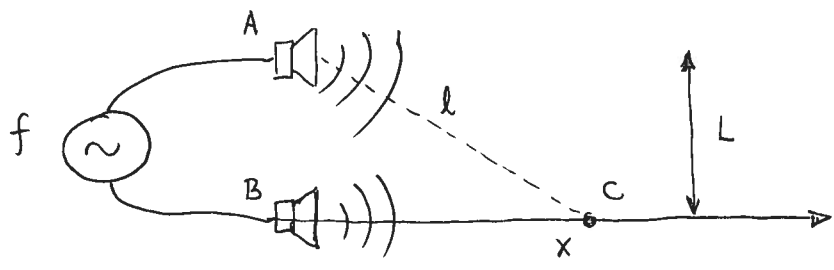


$$7000 \text{ Hz} \Rightarrow \lambda \approx 5 \text{ cm}$$



16.70)

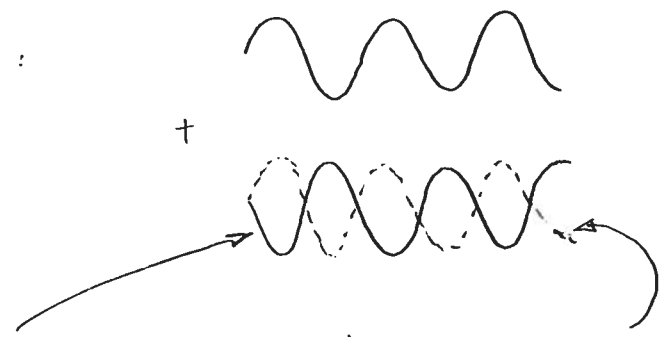
# Interferens



Känt  $f = 784 \text{ Hz} \Rightarrow \lambda = \frac{v}{f} = 0,439 \text{ m}$  ,  $L = 2 \text{ m}$

- Sök
- a) Destruktiv interferens  $\times ?$
  - b) Konstruktiv  $-u-$   $\times ?$
  - c) minimum  $f$  utan några destruktiv interferens mellan B och C  $! ?$

Interferens:



a) Destruktiv

b) Konstruktiv

$$\Delta l = l - x = \frac{\lambda}{2} + n\lambda$$

$$n = 0, 1, 2, \dots$$

$$\Delta l = l - x = n\lambda$$

$$n = 0, 1, 2, \dots$$

$$\Delta l = \sqrt{L^2 + x^2} - x \Rightarrow x = \frac{L^2 - \Delta l^2}{2\Delta l}$$

$$x(n=0) = 9,00 \text{ m}$$

$$x(n=1) = 2,71 \text{ m}$$

$$x(n=2) = 1,27 \text{ m}$$

p.s.s.

$$x(n=0) = \infty$$

$$x(n=1) = 4,34 \text{ m}$$

$$x(n=2) = 1,84 \text{ m}$$

p.s.s

forts.

c) Destruktiv interf.

$$x = \frac{L^2 - \left(\frac{\lambda}{2} + n\lambda\right)^2}{2\left(\frac{\lambda}{2} + n\lambda\right)}$$

$f$  minskar  $\rightarrow \lambda$  ökar  $\rightarrow x$  minskar!

Gränsfall:  $x$  negativ för  $n=0$ !

$$x(n=0) < 0 \Rightarrow L^2 - \left(\frac{\lambda}{2}\right)^2 < 0$$

$$\Rightarrow \lambda > 2L$$

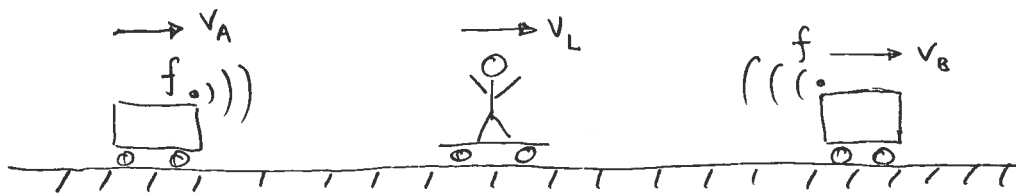
$$f = \frac{v}{\lambda} < \frac{v}{2L} = \underline{\underline{86 \text{ Hz}}}$$



16.43)

## Dopplereffekten

(19)



Känt :  $v_A = 0$  ,  $v_B = 35.0 \text{ m/s}$  ,  $v_L = 15.0 \text{ m/s}$  ,  $f = 392 \text{ Hz}$

Sökt : a)  $f_{LA}$  ? b)  $f_{LB}$  ? c) Svärningsfrekvens ?

Generellt för Dopplereffekt gäller :

$$f_L = \frac{v \pm v_D}{v \pm v_S} f_s$$

$$a) \quad f_{LA} = \frac{v_{\text{luft}} - v_L}{v_{\text{luft}} - v_A} f = \left\{ v_{\text{luft}} = 344 \text{ m/s} \right\} = 375 \text{ Hz}$$

$$b) \quad f_{LB} = \frac{v_{\text{luft}} + v_L}{v_{\text{luft}} + v_B} f = 371 \text{ Hz}$$

c) svärning = beat

$$f_{\text{svärning}} = |f_{LA} - f_{LB}| = 4 \text{ Hz}$$