

Kap 16 Lyd

Q16.4 Med hvilken faktor vil intensiteten øke hvis trykkamplituden i en lydbølge doubles?
Med hvilken faktor må trykkamplituden i en lydbølge økes for at intensiteten skal øke med en faktor 16.
Forklar.

16.3 En lydbølge i luft har forskyvningsamplitude 0.0100 mm.
Bestem trykkamplituden for følgende frekvenser:

- a) 150 Hz b) 1500 Hz c) 15.000 Hz

Sammenlign resultatene med smertegrensen på 30 Pa.

16.5 En lydbølge i luft ved 20°C har frekvens 150 Hz og en forflytningsamplitude på $5.00 \cdot 10^{-3}$ mm.
Bestem for denne lydbølgen:

- a) Trykk-amplituden (i Pa).
b) Intensiteten (i W/m^2).
c) Lydintensitetsnivået (i decibel).

G

16.8 a) Hva er lydintensiteten i decibel av en lydbølge med intensitet $5.00 \times 10^{-7} \text{ W/m}^2$
relativt til referanseintensiteten på $1.00 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2$?

b) Hva er lydintensiteten til en lydbølge i luft ved 20 °C når trykkamplituden er 0.150 Pa?

16.8 Intensiteten forårsaket av flere uavhengige lydkilder er summen av de individuelle intensitetene.

- a) Hvor mange flere decibel er lydintensiteten når alle 4 babyene skriker
enn når bare den ene skriker?
b) Hvor mange flere babyer enn de opprinnelig 4 må skrike for å øke lydintensiteten med like mange
decibel som i a) ?

16.10 En varslingssirene for tornado på toppen av en høy stolpe sender ut lydbølger uniformt i alle retninger.
I en avstand på 15.0 m er intensiteten av lyden 0.250 W/m^2 .
Se bort fra eventuelle effekter som skyldes refleksjoner fra bakken.

- a) I hvilken avstand fra sirenen er intensiteten 0.0100 W/m^2 ?
b) Bestem den totale akustiske effekten fra sirenen.

16.12 To identiske pianostrenger har grunnfrekvensen 440.0 Hz når de har samme strekk. Den ene strengen stemmes på nytt ved å endre strekket hvilket medfører at vi får en svevningsfrekvens på 1.5 Hz når begge strengene samtidig settes i svingninger.

- Hva er mulig grunnfrekvens på den strengen som ble stemt på nytt?
- Med hvor stor brøkdel ble strekket i den ene pianostrengen endret når strekket ble i) økt, ii) senket?

G

16.13 En trompetspiller stemmer sitt instrument X ved simultant å spille en A-note sammen med en annen korrekt instilt trompet Y.

Y-trompeten spiller en tone som er nøyaktig 440 Hz.

En svevningsfrekvens på 2.6 Hz høres.

Hvilke frekvenser kan trompeten X være instilt på?

G

16.16 På planeten Salusa Secundus flyr en gjenstand A med hastigheten 25.0 m/s mot en gjenstand B som er i ro samtidig som A sender ut en lyd med frekvens 1200 Hz.

Gjenstanden B oppfatter frekvensen 1250 Hz.

Bestem lyd hastigheten i atmosfæren på denne planeten.

16.16 To togfløyter A og B har hver en frekvens på 392 Hz (se fig 21-18 i læreboken).

A er stasjonær (rolig) og B beveger seg mot høyre (bort fra A) med en fart på 35.0 m/s.

En lytter L er plassert mellom de to togene og beveger seg med en fart på 15.0 m/s mot høyre.

Det blåser ingen vind.

- Hvilken frekvens oppfatter L fra A?
- Hvilken frekvens oppfatter L fra B?
- Hvilken svevningsfrekvens oppfatter L?

16.17 Et tog beveger seg med farten 25.0 m/s i stillestående luft.

Frekvensen som togfløyten sender ut er på 400 Hz.

Hva er bølgelengden på lydbølgene

- foran toget?
- bak toget?

Hva er frekvensen som oppfattes av en stasjonær (stillestående) lytter

- foran toget?
- bak toget?

16.19 Et tog A beveger seg med farten 30.0 m/s i stillestående luft.

Frekvensen som togfløyten sender ut er på 262 Hz.

Hvilken frekvens oppfatter en passasjer på et annet tog B som beveger seg i motsatt retning av A med en fart på 18.0 m/s når:

- B nærmer seg mot A?
- B fjerner seg fra A?

16.20 Et jetfly holder konstant høyde på 950 m og har hastigheten 1.70 Mach.

- a) Bestem vinkelen α til sjokkbølgekjeglen.
- b) Hvor lang tid går det fra jetflyet passerer rett over deg til du hører sjokkbølgen?
Se bort fra variasjoner av lydbølg hastigheter i ulike høyder.

16.26 Et 2.00 MHz ultralydapparat sender ut en lydbølge som beveger seg gjennom moren og reflekteres av det ufødte barnets hjertevegg som beveger seg mot ultralydapparatets mottakerdel når hjertet slår.
Den reflekterte lyden mixes så med den utsendte lyden og det observeres en svevningsfrekvens på 85 Hz. Lydhastigheten i menneskekroppen settes til 1500 m/s.
Bestem hjerteveggenes hastighet.

16.27 Lydkilden til et skips sonarsystem opererer med en frekvens på 22.0 kHz.
Lydhastigheten i vann er 1482 m/s.

- a) Hva er bølgelengden av lydbølgen som sendes ut fra lydkilden?
- b) Hva er differensen i frekvensene som sendes ut fra lydkilden og som reflekteres tilbake fra en hval som beveger seg mot skipet med en hastighet på 4.95 m/s?
Skipet er i ro i vannet.

16.30 En lydbølge med frekvens f_0 og bølgelengde λ_0 beveger seg mot høyre.
Lydbølgen reflekteres fra en stor vertikal plan flate normalt på forplantningsretningen.
Denne flaten beveger seg med en konstant hastighet v_1 mot venstre.

- a) Hvor mange positive bølgetopper treffer flaten i et tidsintervall t ?
- b) Ved slutten av tidsintervallet, hvor langt til venstre fra flaten er den bølgen som ble reflektert ved begynnelsen av tidsintervallet?
- c) Hva er bølgelengden av den reflekterte bølgen uttrykk ved λ_0 ?
- d) Hva er frekvensen til den reflekterte bølgen uttrykt ved f_0 ?
Er resultatet i samsvar med antagelsen i punkt 3 av problem-løsnings-strategien i avsnitt 21-5 i læreboken?
- e) En lytter er i ro til venstre for den bevegelige flaten.
Hvor mange svevninger observeres av denne lytteren forårsaket av den opprinnelige og den reflekterte bølgen?

16.31 a) Vis at ligning 21-18 i læreboken kan skrives som

$$f_R = f_S \left(1 - \frac{v}{c}\right)^{1/2} \left(1 + \frac{v}{c}\right)^{-1/2}$$

b) Benytt binomialteoremet til å vise at for $v \ll c$ har vi tilnærmet

$$f_R = f_S \left(1 - \frac{v}{c}\right)$$

c) Et fly som kommer inn for landing sender ut et radiosignal med frekvens 243 MHz. I kontrolltårnet observeres en svevningsfrekvens på 46.0 Hz mellom det mottatte signalet og kontrolltårnets eget lokale signal som også har frekvensen 243 MHz. Hva er flyets hastighetskomponent mot kontrolltårnet?

Løsning

Q16.4

$$I = \frac{1}{2} \omega B k A^2 = \frac{p_{\max}^2}{2\rho v} = \frac{p_{\max}^2}{2\sqrt{\rho B}}$$

a)

$$p_{\max} \rightarrow 2p_{\max} \Rightarrow I \rightarrow 2^2 I = 4I \quad \text{Dvs faktoren er } \underline{4}$$

b)

$$I \rightarrow 16I \Rightarrow p_{\max} \rightarrow \sqrt{16} p_{\max} \quad \text{Dvs faktoren er } \underline{4}$$

16.3

Adiabatisk bulk modulus for luft: $B = 1.42 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

Smertegrense: $p_{\text{smertegrense}} = 30 \text{ Pa}$

a)

$$p_{\max} = BkA = B \frac{2\pi}{\lambda} A = B \frac{2\pi f}{v} A = 1.42 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot \frac{2\pi \cdot 150 \text{ Hz}}{344 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \cdot 2.00 \cdot 10^{-5} \text{ m} = \underline{\underline{15.6 \text{ Pa}}}$$

b)

$$p_{\max} = BkA = B \frac{2\pi}{\lambda} A = B \frac{2\pi f}{v} A = 1.42 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot \frac{2\pi \cdot 1500 \text{ Hz}}{344 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \cdot 2.00 \cdot 10^{-5} \text{ m} = \underline{\underline{156 \text{ Pa}}}$$

c)

$$p_{\max} = BkA = B \frac{2\pi}{\lambda} A = B \frac{2\pi f}{v} A = 1.42 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot \frac{2\pi \cdot 15000 \text{ Hz}}{344 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \cdot 2.00 \cdot 10^{-5} \text{ m} = \underline{\underline{1560 \text{ Pa}}}$$

f = 1500 Hz gir p_{\max} over smerteterskelen.

16.5 a)

$$p_{\max} = BkA = B \frac{2\pi}{\lambda} A = B \frac{2\pi f}{v} A = 1.42 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot \frac{2\pi \cdot 150 \text{ Hz}}{344 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \cdot 5.00 \cdot 10^{-6} \text{ m} = \underline{\underline{1.95 \text{ Pa}}}$$

b)

$$I = \frac{p_{\max}^2}{2\rho v} = \frac{(1.95 \text{ Pa})^2}{2 \cdot 1.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 344 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = \underline{\underline{4.58 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}}$$

c)

$$\beta = 10 \text{ dB} \log \frac{I}{I_0} = 10 \text{ dB} \log \frac{4.58 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}{10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} = \underline{\underline{96.6 \text{ dB}}}$$

G

16.8 a)

$$\beta = (10dB) \log \frac{I}{I_0} = (10dB) \log \frac{5.00 \cdot 10^{-7} \frac{W}{m^2}}{1.00 \cdot 10^{-12} \frac{W}{m^2}} = \underline{\underline{57.0dB}}$$

b)

$$\begin{aligned} \beta &= (10dB) \log \frac{I}{I_0} = (10dB) \log \frac{\frac{P_{\max}^2}{2\rho v}}{I_0} = (10dB) \log \frac{P_{\max}^2}{2\rho v I_0} \\ &= (10dB) \log \frac{(0.150Pa)^2}{2 \cdot 1.20 \frac{kg}{m^3} \cdot 344 \frac{m}{s} \cdot 1.00 \cdot 10^{-12} \frac{W}{m^2}} = \underline{\underline{74.4dB}} \end{aligned}$$

16.8 a)

$$\begin{aligned} \Delta\beta &= \beta_2 - \beta_1 \\ &= (10dB) \log \frac{I_2}{I_1} \\ &= (10dB) \log \frac{4I_1}{I_1} \\ &= (10dB) \log 4 = \underline{\underline{6.0dB}} \end{aligned}$$

b)

$$\Delta\beta = 6.0dB = (10dB) \log 4 = (10dB) \log \frac{I_3}{I_2} = (10dB) \log \frac{nI_2}{I_2} = (10dB) \log n$$

⇓

$$n = 4$$

⇓

Antall barn fra situasjon 2 må multipliseres med 4, dvs totalt 4 x 4barn = 16 barn, dvs en økning på 16 barn - 4 barn = 12 barn fra situasjon 2.

16.10 a)

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$$

⇓

$$r_2 = \sqrt{\frac{I_1}{I_2}} \cdot r_1 = \sqrt{\frac{0.250 \frac{W}{m^2}}{0.100 \frac{W}{m^2}}} \cdot 15.0m = 5 \cdot 15.0m = \underline{\underline{75.0m}}$$

b)

$$I = \frac{P}{A}$$

⇓

$$P = AI = 4\pi r_1^2 I_1 = 4\pi \cdot (15.0m)^2 \cdot 0.250 \frac{W}{m^2} = \underline{\underline{707W}}$$

Eller :

$$P = AI = 4\pi r_2^2 I_2 = 4\pi \cdot (75.0m)^2 \cdot 0.100 \frac{W}{m^2} = \underline{\underline{707W}}$$

16.12

$$f_1 = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{F}{\mu}} \Rightarrow F = (2L)^2 \mu \cdot f_1^2 = \underline{a \cdot f_1^2} \quad \text{hvor} \quad a = (2L)^2 \mu$$

↓

$$\begin{aligned} \frac{\Delta F}{F} &= \frac{F' - F}{F} \\ &= \frac{af'^2 - af^2}{af^2} = \frac{f'^2 - f^2}{f^2} = \left(\frac{f'}{f}\right)^2 - 1 = \left(\frac{f + \Delta f}{f}\right)^2 - 1 = \left(1 + \frac{\Delta f}{f}\right)^2 - 1 \\ &= \left(1 + \frac{1.5\text{Hz}}{440\text{Hz}}\right)^2 - 1 = 0.0257 = \underline{\underline{2.57\%}} \end{aligned}$$

G

16.13

$$f_{\text{beat}} = f_1 - f_2 = 3.2\text{Hz}$$

En av frekvensene er 440Hz.

$$\text{Den andre må da være enten } 440\text{Hz} + 2.6\text{Hz} = \underline{\underline{442.6\text{Hz}}}$$

$$\text{eller} \quad 440\text{Hz} - 2.6\text{Hz} = \underline{\underline{437.4\text{Hz}}}$$

G

16.16

$$f_L = \frac{v + v_L}{v + v_S} f_S$$

↓

$$v = \frac{f_L}{f_S - f_L} v_S = \frac{1250\text{Hz}}{1200\text{Hz} - 1250\text{Hz}} \cdot \left(-25.0 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) = \underline{\underline{625 \frac{\text{m}}{\text{s}}}}$$

16.16 a)

$$f_L = \frac{v + v_L}{v + v_S} f_S = \frac{344 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 15.0 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{344 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \cdot 392\text{Hz} = \underline{\underline{375\text{Hz}}}$$

b)

$$f_L = \frac{v + v_L}{v + v_S} f_S = \frac{344 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 15.0 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{344 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 35.0 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \cdot 392\text{Hz} = \underline{\underline{371\text{Hz}}}$$

c)

$$\Delta f = (f_L)_a - (f_L)_b = 375\text{Hz} - 371\text{Hz} = 4\text{Hz}$$

16.17 a)

$$\lambda = \frac{v - v_s}{f_s} = \frac{344 \frac{m}{s} - 25.0 \frac{m}{s}}{400 \text{ Hz}} = \underline{\underline{0.797 m}}$$

b)

$$\lambda = \frac{v + v_s}{f_s} = \frac{344 \frac{m}{s} + 25.0 \frac{m}{s}}{400 \text{ Hz}} = \underline{\underline{0.922 m}}$$

c)

$$f_L = \frac{v + v_L}{v + v_s} f_s = \frac{344 \frac{m}{s} + 0 \frac{m}{s}}{344 \frac{m}{s} - 25.0 \frac{m}{s}} \cdot 400 \text{ Hz} = \underline{\underline{431 \text{ Hz}}}$$

Eller :

$$f_L = \frac{v}{\lambda} = \frac{344 \frac{m}{s}}{0.797 m} = \underline{\underline{548 \text{ Hz}}}$$

d)

$$f_L = \frac{v + v_L}{v + v_s} f_s = \frac{344 \frac{m}{s} + 0 \frac{m}{s}}{344 \frac{m}{s} + 25.0 \frac{m}{s}} \cdot 400 \text{ Hz} = \underline{\underline{373 \text{ Hz}}}$$

Eller :

$$f_L = \frac{v}{\lambda} = \frac{344 \frac{m}{s}}{0.922 m} = \underline{\underline{373 \text{ Hz}}}$$

16.19 a)

$$f_L = \frac{v + v_L}{v + v_s} f_s = \frac{344 \frac{m}{s} + 18.0 \frac{m}{s}}{344 \frac{m}{s} - 30 \frac{m}{s}} \cdot 262 \text{ Hz} = \underline{\underline{302 \text{ Hz}}}$$

b)

$$f_L = \frac{v + v_L}{v + v_s} f_s = \frac{344 \frac{m}{s} - 18.0 \frac{m}{s}}{344 \frac{m}{s} + 30 \frac{m}{s}} \cdot 262 \text{ Hz} = \underline{\underline{228 \text{ Hz}}}$$

16.20 a)

$$\sin \alpha = \frac{v}{v_s} = \frac{v}{1.70 \cdot v} = \frac{1}{1.70} \Rightarrow \underline{\underline{\alpha = 36.0^\circ}}$$

b)

$$\tan \alpha = \frac{h}{v_s \cdot t}$$

↓

$$t = \frac{h}{v_s \cdot \tan \alpha} = \frac{h}{2.00v \cdot \tan \alpha} = \frac{950m}{1.70 \cdot 344 \frac{m}{s} \cdot \tan 36.0^\circ} = \underline{\underline{2.24s}}$$

16.26

La $f_0 = 2.00\text{MHz}$ være frekvensen i den genererte bølgen fra ultralyd- apparatet.

Frekvensen f_H som hjertet vil motta denne bølgen med er gitt ved :

$$f_H = \frac{v+v_H}{v} f_0 \text{ og dette vil også være frekvensen i den bølgen som hjertet vil reflektere.}$$

Ultralyd- apparatet vil motta dette reflekterte signalet og måle frekvensen f' gitt ved :

$$f' = \frac{v}{v-v_H} f_H \text{ Minustegnet pga at hjerteveggen (kilden) beveger seg mot ultralyd- apparatet.}$$

Dette gir følgende :

$$f' = \frac{v+v_H}{v-v_H} f_0$$

⇓

$$f_{beat} = f' - f_0 = \left(\frac{v+v_H}{v-v_H} - 1 \right) f_0 = \frac{2v_H}{v-v_H} f_0$$

⇓

$$v_H = \frac{f_{beat}}{2f_0 + f_{beat}} v = \frac{85\text{Hz}}{2 \cdot 2.00 \cdot 10^6 \text{Hz} + 85\text{Hz}} \cdot 1500 \frac{\text{m}}{\text{s}} = \underline{\underline{3.19 \cdot 10^{-2} \frac{\text{m}}{\text{s}}}}$$

16.27 a)

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{1480 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{250 \cdot 10^3 \text{Hz}} = \underline{\underline{0.00592\text{m}}}$$

b)

Sonarens frekvens : $f_s = 25.0\text{kHz} = 25.0 \cdot 10^3 \text{Hz}$

Hvalen mottar signaler med frekvens : $f_L' = \frac{v+v_W}{v} f_s$ hvor v_W er hvalens hastighet

Hvalen reflekterer signalene fra sonaren med reflektert frekvens $f_s' = f_L'$

Sonaren mottar reflektert signal gitt ved frekvensen $f_L = \frac{v}{v-v_W} f_s'$

⇓

$$f_L = \frac{v}{v-v_W} f_s' = \frac{v}{v-v_W} f_L' = \frac{v}{v-v_W} \cdot \frac{v+v_W}{v} f_s = \frac{v+v_W}{v-v_W} f_s$$

$$\Delta f = f_L - f_s = \frac{v+v_W}{v-v_W} f_s - f_s = f_s \left(\frac{v+v_W}{v-v_W} - 1 \right) = f_s \frac{2v_W}{v-v_W}$$

$$= 22.0 \cdot 10^3 \text{Hz} \cdot \frac{2 \cdot 4.95 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1482 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 4.95 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = \underline{\underline{147\text{Hz}}}$$

16.31 a)

$$\begin{aligned}
 f_L &= \sqrt{\frac{c-v}{c+v}} \cdot f_s \\
 &= \sqrt{\frac{\frac{c-v}{c}}{\frac{c+v}{c}}} \cdot f_s = \sqrt{\frac{1-\frac{v}{c}}{1+\frac{v}{c}}} \cdot f_s \\
 &= \left(\frac{1-\frac{v}{c}}{1+\frac{v}{c}}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot f_s = \frac{\left(1-\frac{v}{c}\right)^{\frac{1}{2}}}{\left(1+\frac{v}{c}\right)^{\frac{1}{2}}} \cdot f_s = \left(1-\frac{v}{c}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(1+\frac{v}{c}\right)^{-\frac{1}{2}} \cdot f_s = \underline{\underline{f_s \left(1-\frac{v}{c}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(1+\frac{v}{c}\right)^{-\frac{1}{2}}}}
 \end{aligned}$$

b)

$$(1+x)^n = \sum_{k=0}^{\infty} \binom{n}{k} x^k = 1 + nx + \frac{n(n-1)}{2!} x^2 + \frac{n(n-1)(n-2)}{3!} x^3 + \dots \quad |x| < 1$$

$$x = -\frac{v}{c} \quad v \ll c \quad n = \frac{1}{2} \quad \Rightarrow \quad \left(1 - \frac{v}{c}\right)^{\frac{1}{2}} \approx 1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{v}{c}$$

$$x = \frac{v}{c} \quad v \ll c \quad n = -\frac{1}{2} \quad \Rightarrow \quad \left(1 + \frac{v}{c}\right)^{-\frac{1}{2}} \approx 1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{v}{c}$$

⇓

$$\left(1 - \frac{v}{c}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(1 + \frac{v}{c}\right)^{-\frac{1}{2}} \approx \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{v}{c}\right) \cdot \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{v}{c}\right) = 1 - 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{v}{c} + \frac{1}{4} \cdot \left(\frac{v}{c}\right)^2 = 1 - \frac{v}{c} + \frac{1}{4} \cdot \left(\frac{v}{c}\right)^2 \approx 1 - \frac{v}{c}$$

⇓

$$\underline{\underline{f_L \approx f_s \left(1 - \frac{v}{c}\right)}}$$

c)

Når flyet nærmer seg mot kontroll - tårnet er v negativ.

Vi får derfor :

$$f_L = f_s \left(1 + \frac{v}{c}\right) \quad v \text{ er absoluttverdien av hastigheten}$$

⇓

$$v = \frac{f_L - f_s}{f_s} \cdot c = \frac{f_{beat}}{f_s} \cdot c = \frac{46.0 \text{ Hz}}{2.43 \cdot 10^8 \text{ Hz}} \cdot 3.00 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 56.8 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 56.8 \frac{10^{-3} \text{ km}}{\frac{1}{3600} \text{ h}} = \underline{\underline{205 \frac{\text{km}}{\text{h}}}}$$

$$\binom{n}{k} = \frac{n(n-1)(n-2) \cdots (n-k+1)}{k!}$$