



Uitwerkingen opgaven leerboek

7.1 INTRODUCTIE

Opgave 1

- a In 120 ms legt het geluid $s = v \cdot t = 340 \times 120 \cdot 10^{-3} = 40,8$ m af. Dat is heen en terug, dus de put is 20,4 m diep.
- b Het menselijk lichaam bestaat vooral uit water, dus moet er gerekend worden met de geluidssnelheid in water (en die is 1,5 km/s).
- c In rubber zijn de moleculen niet zo sterk aan elkaar gebonden als in een metaal. De trillingen worden daardoor minder gemakkelijk doorgegeven, waardoor de geluidssnelheid lager is.

Opgave 2

- a Door de toonhoogte: ultrasoon geluid heeft een frequentie van 20 kHz tot 800 MHz en de mens kan geluiden horen tot 20 kHz.
- b Er wordt een korte geluidspuls uitgezonden en het gereflecteerde geluid wordt opgevangen. Met het tijdsverschil tussen de uitgezonden puls en de ontvangen puls en de geluidssnelheid in water wordt de afstand van de boot tot de school vissen berekend.

Opgave 3

- a Bij een hoge toon trilt de bron vaker per seconde dan bij een lage toon. De frequentie van een hoge toon is hoger dan van een lage toon.
- b De amplitude van de trillingen is bij een harde toon groter dan bij een zachte toon.

Opgave 4

- a Het geluid heeft zich over een steeds groter (bol)oppervlak verdeeld, naarmate het verder van de geluidsbron af is. Daardoor wordt de geluidsterkte per vierkante meter steeds kleiner.
- b De oppervlakte van een bol is evenredig met het kwadraat van de afstand tot het centrum, dus als de afstand 2 × zo groot wordt, wordt het geluid over een 4 × zo grote oppervlakte verdeeld en zal dus 4 × zo zwak worden.
- c Een bos absorbeert veel van het geluid. In de open lucht is de geluidsabsorptie een heel stuk lager.

7.2 GELUID, TRILLINGEN EN ZUIVERE TONEN

Opgave 5

- a Niet waar: Een stemvork brengt de klankkast in trilling en daardoor ook de lucht in de klankkast.
- b Niet waar: De amplitude van de trilling is de helft van de afstand tussen de twee uiterste standen.
- c Waar
- d Niet waar: De toonhoogte van een snaar kun je veranderen door de snaarspanning te veranderen of door de lengte van het trillende deel van de snaar te veranderen.
- e Waar
- f Waar
- g Niet waar: In een u, t -diagram kun je de periode (trillingstijd) aflezen, en daarmee kun je de frequentie berekenen.
- h Niet waar: Zuivere tonen kun je maken met een stemvork of een toongenerator.



Opgave 6

- a De dikste snaar heeft de grootste massa. Een grotere massa is moeilijker op gang te brengen en af te remmen en heeft dus bij dezelfde veerkracht een lagere frequentie dan een kleinere massa. Aannemende dat de snaren allemaal ongeveer even strak zijn gespannen, hoort bij de dikste snaar dus de laagste frequentie.
- b Bij het stemmen verander je de spankracht in de snaar. Bij een grotere spankracht wordt de toon hoger en bij een kleinere spankracht wordt de toon lager.
- c Tijdens het spelen maak je de snaar (het trillende deel) korter door hem op een fret vast te drukken. Hoe korter de snaar, hoe kleiner de massa, dus hoe hoger de toon.

Opgave 7

- a Als de trombone wordt uitgeschoven wordt de toon lager.
- b Als je bij een blokfluit meer openingen afsluit, wordt de luchtkolom die meetrilt langer en wordt de toon van de blokfluit lager.
- c De lengte van een vuvuzela kun je niet veranderen, dus kun je met een vuvuzela maar één toon maken.

Opgave 8

- a Het zijn allemaal sinuslijnen, dus zijn het allemaal zuivere tonen.
- b Trilling D heeft de grootste amplitude en trilling A de kleinste.
- c Trilling B heeft de grootste frequentie en trilling D de kleinste.

Opgave 9

- a Oscillogram C is als enige een sinuslijn, dus stelt een harmonische trilling voor.
- b Bij oscillogram D hoor je ruis.
- c In oscillogram A zie je 2 trillingen.

Opgave 10

- a De massa wordt groter en de veerkracht blijft gelijk. Daardoor wordt de frequentie lager en dus ook de toon.
- b De onderste stemvork zal van een ander metaal zijn, zo te zien. Waarschijnlijk is dat een stugger metaal waardoor de veerkracht groter is (en dus ook versnelling en vertraging). Een grotere veerkracht zorgt voor een hogere toon.

Opgave 11

- a Als de massa groter is, is de periode groter.
- b Als de veerkracht groter is, is de periode kleiner.
- c Als zowel de massa als de veerkracht $3 \times$ zo groot zijn, is de periode gelijk.

Opgave 12

Eigen antwoord.

Opgave 13

- a Nee, deze a-snaar produceert geen zuivere toon want het oscillogram is geen sinuslijn.
- b $T = \frac{1}{110} = 0,00909 \text{ s}$, dus $5T = 5 \times 0,00909 = 0,0455 \text{ s} = 45,5 \text{ ms}$
- c 45,5 ms is ongeveer 4,5 hokje in het oscillogram. In die tijd passen niet eens 4 trillingen. De periodetijd is dus te lang en de toon te laag.
- d Er zijn 4 trillingen op ongeveer 5,7 hokjes $= 5,7 \times 10 = 57 \text{ ms} \rightarrow T = \frac{57}{4} = 14,3 \text{ ms}$.
De frequentie is $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,0143} = 70 \text{ Hz}$.



Opgave 14

- a Trilling A: 5 trillingen in 10 hokjes, dus $T = \frac{10}{5} \times 0,20 = 0,40$ ms en de amplitude = 1 hokje $\times 2,0$ V = 2,0 V.
b Trilling B: 10,5 trilling in 10 hokjes, dus $T = \frac{10}{10,5} \times 0,50 = 0,48$ ms en de amplitude = 2 hokjes $\times 2,0$ V = 4,0 V.

De trilling gaat na de oorsprong eerst naar beneden, dus wordt de trilling beschreven met:

$$u(t) = -4,0 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{0,00048} \cdot t\right).$$

- c Bij trilling D is de amplitude = 2,4 hokje $\times 0,010$ V = 0,024 V en de trillingstijd $T = 7,6 \times 5,0 = 38$ ms. De uitwijking van deze trilling is maximaal bij de oorsprong, dus geldt voor deze trilling: $u(t) = 0,024 \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{0,038} \cdot t\right).$

Opgave 15

- a De hartslagfrequentie neemt toe, want de periode wordt kleiner.
b Kleinste frequentie: helemaal links: 1 trilling in $\Delta t = 1$ s $\rightarrow f = 1$ Hz, dat is 60 bpm.
Grootste frequentie, helemaal rechts: 2 trillingen in $\Delta t = 1$ s $\rightarrow f = 2$ Hz, dat is 120 bpm.
c 85 bpm is $\frac{85 \text{ slagen}}{60 \text{ seconde}} = 1,4$ Hz $\rightarrow T = \frac{1}{f} = \frac{1}{1,4} = 0,71$ s

Opgave 16

- a De veerconstante C is de helling van de lijn: $C = \frac{F_v}{u} = \frac{0,48}{0,10} = 4,8$ N/m.
b $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{C}} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{0,050}{4,8}} = 0,64$ s $\rightarrow f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,64} = 1,6$ Hz
c De frequentie is toegenomen dus is de trillingstijd kleiner geworden en moet de massa kleiner gemaakt zijn.
d $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{2,0} = 0,50$ s $\rightarrow T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{C}} \rightarrow m = C \times \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 = 4,8 \times \left(\frac{0,50}{2\pi}\right)^2 = 0,030$ kg = 30 g

Opgave 17

- A Bij een grotere beginuitwijking verandert de frequentie niet.
B Bij een stuggere veer zal de frequentie groter worden.
C De massa van het blokje staal is groter dan van het aluminium blokje, dus wordt de frequentie kleiner.

Opgave 18

De dikte van de benen is voor beide stemvorken gelijk, dus is de stijfheid gelijk. De stemvork met de langste benen heeft een grotere massa en dus een lagere frequentie.

Opgave 19

- a $F_z = m \cdot g = 20 \times 9,81 = 196$ N en als het kind op de wip zit geldt: $F_z = F_v = C \cdot u$ dus
 $C = \frac{F_v}{u} = \frac{196}{0,015} = 1,3 \cdot 10^4$ N/m.

$$\text{De periode is } T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{C}} = 2\pi \times \sqrt{\frac{20}{1,3 \cdot 10^4}} = 0,25 \text{ s.}$$

- b In de formule wordt de wortel van de massa genomen, dus als de massa $\frac{80}{20} = 4 \times$ zo groot wordt, zal de periode $\sqrt{4} = 2 \times$ zo groot worden.

- c De periode is nu $T = 2 \times 1,1 = 2,2$ s. Invullen in $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{C}}$ geeft: $\frac{T}{2\pi} = \sqrt{\frac{m}{C}} \rightarrow$

$$C = m \times \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 = 40 \times \left(\frac{2\pi}{2,2}\right)^2 = 3,3 \cdot 10^2 \text{ N/m}$$



Opgave 20

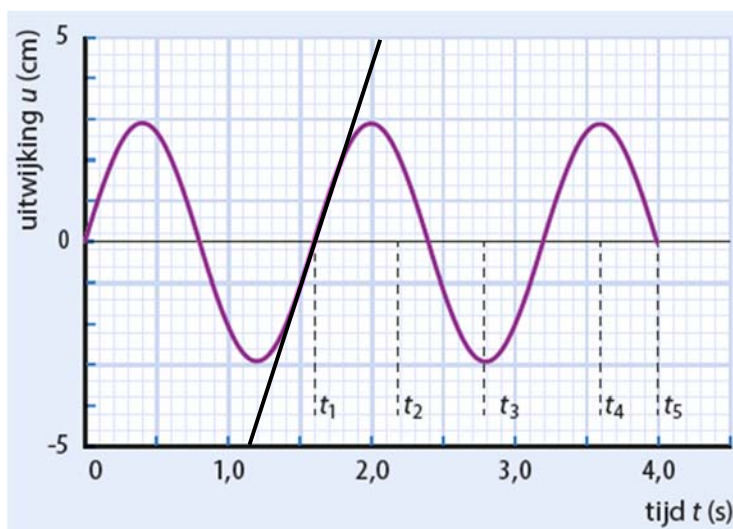
- a $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{330} = 3,03 \cdot 10^{-3} \text{ Hz}$. Invullen in $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{c}}$ geeft: $\frac{T}{2\pi} = \sqrt{\frac{m}{c}} \rightarrow$
 $c = m \times \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 = 0,030 \times \left(\frac{2\pi}{3,03 \cdot 10^{-3}}\right)^2 = 1,3 \cdot 10^5 \text{ N/m}$
- b $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{c}} = 2\pi \times \sqrt{\frac{0,015}{2,6 \cdot 10^5}} = 1,52 \cdot 10^{-3} \text{ s}$ dus $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1,52 \cdot 10^{-3}} = 6,6 \cdot 10^2 \text{ Hz}$, dat is inderdaad een verdubbeling van de frequentie.

Opgave 21

- a De eenheid van b is rad/s. En van c rad.
- b De amplitude van deze trilling is $a = 2,0$
- c Als we de formule $u(t) = a \cdot \sin(b \cdot t + c)$ vergelijken met de formule voor een trilling $u(t) = A \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right)$ zien we dat $b = \frac{2\pi}{T} \rightarrow T = \frac{2\pi}{b} = \frac{2\pi}{1,5} = 4,2 \text{ s}$.

Opgave 22

- a Uit de figuur valt af te lezen dat de amplitude van de trilling is $A = 3,0 \text{ cm}$ en de trillingstijd $T = 1,6 \text{ s}$, dus geldt voor deze trilling: $u(t) = A \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right) = 3,0 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{1,6} \cdot t\right)$
- b $t_1 = 1,6 \text{ s}$ dus $u_1 = 3,0 \times \sin\left(\frac{2\pi}{1,6} \times 1,6\right) = 3,0 \times \sin(2\pi) = 0,0 \text{ cm}$
 $t_5 = 4,0 \text{ s}$ dus $u_5 = 3,0 \times \sin\left(\frac{2\pi}{1,6} \times 4,0\right) = 3,0 \times \sin(5\pi) = 0,0 \text{ cm}$
- c $t_2 = 2,2 \text{ s}$ dus $u_2 = 3,0 \times \sin\left(\frac{2\pi}{1,6} \times 2,2\right) = 3,0 \times \sin(2,75\pi) = 2,1 \text{ cm}$
 $t_3 = 2,8 \text{ s}$ dus $u_3 = 3,0 \times \sin\left(\frac{2\pi}{1,6} \times 2,8\right) = 3,0 \times \sin(3,5\pi) = -3,0 \text{ cm}$
- d $v_3 = 3,0 \times \frac{2\pi}{1,6} \times \cos\left(\frac{2\pi}{1,6} \times 2,8\right) = 3,75\pi \times \cos(3,5\pi) = 0 \text{ cm/s}$
 $t_4 = 3,6 \text{ s}$ dus $v_4 = 3,0 \times \frac{2\pi}{1,6} \times \cos\left(\frac{2\pi}{1,6} \times 3,6\right) = 3,75\pi \times \cos(4,5\pi) = 0 \text{ cm/s}$
- e Trek een raaklijn aan de grafiek op $t = 1,6 \text{ s}$. De steilheid is $\frac{5 - (-5)}{0,9} = 11 \text{ cm/s}$. Dat komt goed overeen met de berekende waarde.





Opgave 23

- a $v(t) = u'(t) = 3,0 \cdot \frac{2\pi}{1,6} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{1,6} \cdot t\right)$
 $a(t) = v'(t) = -3,0 \cdot \left(\frac{2\pi}{1,6}\right)^2 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{1,6} \cdot t\right) = -3,0 \cdot \frac{4\pi^2}{1,6^2} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{1,6} \cdot t\right)$
- b Elke harmonische trilling is te beschrijven met $u(t) = A \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right)$, als je de tijd rekent vanaf een positieve doorgang door de evenwichtstand. Differentiëren geeft: $v(t) = u'(t) = A \cdot \frac{2\pi}{T} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right)$ (kettingregel) en $a(t) = v'(t) = -A \cdot \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right) = -\frac{4\pi^2}{T^2} \cdot A \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right) = -\frac{4\pi^2}{T^2} \cdot u(t)$.
- c Als de kracht evenredig is met de uitwijking geldt: $F(t) = C \cdot u(t)$ waarbij C een constante (bijvoorbeeld de veerconstante) is. De kracht moet wel zodanig zijn dat deze de beweging tegenwerkt: $F(t) = -C \cdot u(t)$. Volgens de tweede wet van Newton geldt: $F(t) = m \cdot a(t)$. Dit samenvoegen geeft dan: $m \cdot a(t) = -C \cdot u(t)$.
- d De afgeleide van een sinusfunctie is een cosinusfunctie en als je vervolgens daar weer de afgeleide van neemt krijg je een negatieve sinusfunctie. De versnelling is de tweede afgeleide van $u(t)$ dus een sinusfunctie past goed bij $m \cdot a(t) = m \cdot u''(t) = -C \cdot u(t)$.
- e $m \cdot -\frac{4\pi^2}{T^2} \cdot u(t) = -C \cdot u(t)$, dit geldt voor alle $u(t)$ als $m \cdot \frac{4\pi^2}{T^2} = C \rightarrow T^2 = m \cdot \frac{4\pi^2}{C} = 4\pi^2 \cdot \frac{m}{C} \rightarrow T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{C}}$

Opgave 24

$$[T] = \text{s en } [C] = \frac{[F]}{[u]} = \frac{[m] \cdot [a]}{[u]} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m/s}^2}{\text{m}} = \frac{\text{kg}}{\text{s}^2} \text{ dus } \left[2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{C}}\right] = \sqrt{\frac{\text{kg}}{\text{kg/s}^2}} = \sqrt{\text{s}^2} = \text{s}$$

Opgave 25

- a $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_{\text{nieuw}} - v_{\text{oud}}}{\Delta t} \rightarrow v_{\text{nieuw}} = v_{\text{oud}} + a \cdot \Delta t$ dit is ook te schrijven als $v = v + a \cdot dt$
 $v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_{\text{nieuw}} - x_{\text{oud}}}{\Delta t} \rightarrow x_{\text{nieuw}} = x_{\text{oud}} + v \cdot \Delta t$ dit is ook te schrijven als $x = x + v \cdot dt$
- b Bij een model voor bewegingen geldt $F = m \cdot a$ en a is de tweede afgeleide van x . Er wordt in het model dus eerst de verandering van de plaats gebruikt om de snelheid te berekenen: $v(t) = x'(t)$ en vervolgens wordt de verandering van de snelheid gebruikt om de versnelling te berekenen: $a(t) = v'(t)$. Dat zijn twee stappen dus is het een model van de 2^{de} orde.
- c Bij een vrije val geldt $a(t) = -9,81 = v'(t)$. Als $v(t) = -9,81 \cdot (t)$ dan is de afgeleide inderdaad: $v'(t) = -9,81$. Ook moet gelden dat $v(t) = -9,81 \cdot t = x'(t)$.
 Als $x(t) = -4,9 \cdot t^2$ dan is de afgeleide inderdaad: $x'(t) = -2 \times 4,9 \cdot t = -9,81 \cdot t$.
- d $u(t) = 3,2 \cdot \sin(0,25 \cdot t) \rightarrow v(t) = u'(t) = 0,25 \cdot 3,2 \cdot \cos(0,25 \cdot t) = 0,80 \cdot \cos(0,25 \cdot t) \rightarrow$
 $a(t) = v'(t) = -0,25 \cdot 0,80 \cdot \sin(0,25 \cdot t) = -0,20 \cdot \sin(0,25 \cdot t)$

Opgave 26

- a In figuur 32 zitten er 9 trillingen in 9,1 seconde, dus de trillingstijd $T = \frac{9,1}{9} = 1,01 \text{ s}$.
 $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{C}}$ geeft: $C = 4\pi^2 \cdot \frac{m}{T^2} = 4\pi^2 \times \frac{0,088}{1,01^2} = 3,4 \text{ N/m}$
- b De trilling begint bij de maximale uitwijking (0,030 m) dus dan is de snelheid nul. De gebruikte startwaarden zijn dus: $u = 0,030 \text{ m}$, $v = 0$ en $t = 0$.
- c Door het kwadraat van de snelheid is in de formule $F_{w,l} = k \cdot v^2$ de luchtweerstand altijd positief. Toch moet de richting van de luchtweerstand steeds tegengesteld zijn aan de bewegingsrichting, dus tegengesteld aan de richting van de snelheid. Als de gegeven formule voor de luchtweerstand nu 'gewoon' opgeteld zou worden bij de veerkacht, wordt hier geen rekening mee gehouden.
- d De luchtweerstand moet steeds tegengesteld aan de richting van de snelheid zijn, dus als $v > 0$ is $F_{w,l} = -k \cdot v^2$ en als $v \leq 0$ is $F_{w,l} = k \cdot v^2$. Regel 2 van het model moet dus worden:
 Als $v > 0$ Dan: $F_{w,l} = -k \cdot v^2$ Anders: $F_{w,l} = k \cdot v^2$ Eindals



7.3 LOPENDE GOLVEN

Opgave 27

- a Waar
- b Waar
- c Niet waar: Golven aan het wateroppervlak zijn transversale golven.
- d Waar
- e Waar
- f Waar
- g Niet waar: Bij een grote golfsnelheid hoort een grote golflengte en/of een hoge frequentie.
- h Waar
- i Waar
- j Niet waar: Het faseverschil wordt dan kleiner.

Opgave 28

- a Bij een geluidsgolf trillen de deeltjes in de richting waarin het geluid beweegt.
- b Geluid plant zich voort doordat moleculen tegen elkaar aan duwen. In vacuüm zijn geen moleculen en daardoor kan het geluid zich in vacuüm niet voortplanten.
- c Bij zachte materialen zitten de moleculen minder stevig aan elkaar vast, hierdoor geven ze de trilling minder snel door.

Opgave 29

- a De lengte van een transversale golf meet je tussen twee toppen (of tussen twee dalen).
- b Bij een longitudinale golf is de golflengte de afstand tussen twee opvolgende verdichtingen of tussen twee opvolgende verdunningen.
- c De geluidsgolf in een vaste stof plant zich als longitudinale golf voort.

Opgave 30

- a Op $t = 0$ bewegen beide trilling door de evenwichtsstand omhoog en zijn ze dus in fase.
- b De trillingen zijn ook in fase op $t = 2,0$ s. De (gereduceerde) fase is dan 0 (of 1) voor beide trillingen.
- c Op $t = 1,0$ s heeft de bovenste trilling de fase $\frac{1}{2}$ terwijl de onderste trilling fase 0 heeft, dus zijn de trillingen in tegenfase.
- d Beide trillingen zijn ook in tegenfase op $t = 3,0$ s, ook dan heeft de bovenste trilling de fase $\frac{1}{2}$ terwijl de onderste trilling fase 0 heeft.
- e Op $t = 1,5$ s is het faseverschil $\frac{1}{4}$. De bovenste trilling heeft dan fase $\frac{1}{4}$ en de onderste trilling fase $\frac{1}{2}$.

Opgave 31

- a In de buurt van het strand wordt de golflengte kleiner, doordat de golfsnelheid afneemt.
- b De golfsnelheid moet in ondiep water kleiner zijn dan in diep water, want je ziet dat de golflengte kleiner wordt als het water ondieper wordt.
- c Het water is bij de top van de golf dieper dan bij het dal ervoor. Daardoor zal de top van de golf sneller gaan dan het dal. De voorkant van een golf wordt daardoor steiler. Als de amplitude van de golven op zee groot genoeg is, kan de top van de golf zelfs het dal 'inhalen'. De golf 'slaat om'.

Opgave 32

- a In de lucht zijn het longitudinale golven.
- b In de heipaal zijn het ook longitudinale golven, doordat het heiblok de klap geeft in dezelfde richting als waarin de golven zich voortplanten.
- c De golfsnelheid zal het grootst zijn in de heipaal; deze is van beton dus hier zitten de moleculen heel stevig aan elkaar vast.



Opgave 33

- a Als de frequentie van de trillingsbron toeneemt, zal de golflengte kleiner worden.
- b Als de golfsnelheid afneemt, zal de golflengte kleiner worden.
- c Formule 2 en 4: $v = f \cdot \lambda$ en $\lambda = \frac{v}{f}$.

Opgave 34

Eigen antwoord.

Opgave 35

- a $v = f \cdot \lambda \rightarrow f = \frac{v}{\lambda} = \frac{10}{2,5} = 4,0 \text{ Hz}$
 $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{4,0} = 0,25 \text{ s}$
- b $f = \frac{1}{T}$. Ingevuld in $v = f \cdot \lambda$ geeft dat $v = \frac{\lambda}{T} (= \frac{2,5}{0,25} = 10 \text{ m/s})$
- c $v_{\max} = \frac{2\pi \cdot A}{T} = \frac{2\pi \times 0,080}{0,25} = 2,0 \text{ m/s}$

Opgave 36

- a $45 \text{ km/h} = 12,5 \text{ m/s}$; $v = f \cdot \lambda \rightarrow f = \frac{v}{\lambda} = \frac{12,5}{100} = 0,125 \text{ Hz}$, dus $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{0,125} = 8,0 \text{ s}$.
- b $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{3000}{1,2} = 2500 \text{ m}$ en $\lambda = \frac{6000}{1,2} = 5000 \text{ m}$ Dus tussen 2,5 km en 5,0 km.

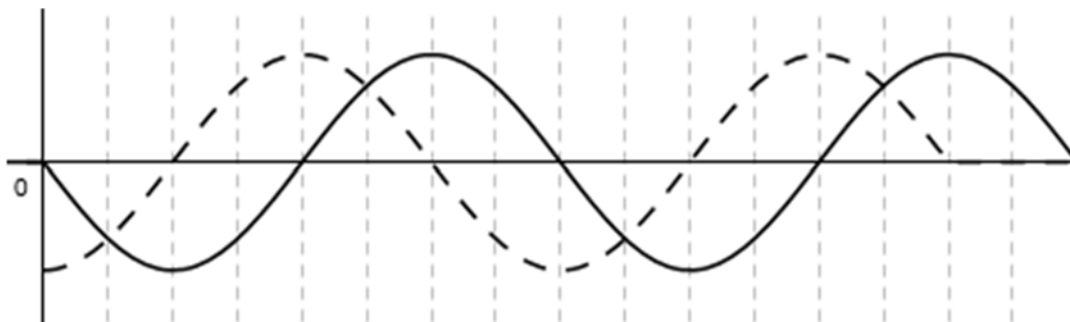
Opgave 37

- a Tussen de eerste en de laatste tekening heeft het beginpunt twee trillingen uitgevoerd.
- b Twee trillingen in 1,5 s dus de periode is $T = \frac{1,5}{2} = 0,75 \text{ s}$ en de frequentie is $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,75} = 1,3 \text{ Hz}$.
- c Opmeten in de figuur: in 1,5 s komt de golf 3,2 cm verder, dus $v = \frac{3,2 \times 100}{1,5} = 213 \text{ cm/s} = 2,1 \text{ m/s}$.

Of meet de golflengte op in de figuur: $\lambda = 1,6 \times 100 = 160 \text{ cm} = 1,6 \text{ m}$ en bereken: $v = f \cdot \lambda = 1,3 \times 1,6 = 2,1 \text{ m/s}$.

Opgave 38

- a Punt G en O gaan allebei door de evenwichtsstand omhoog en dat hoort bij (gereduceerde) fase nul.
- b Van de punten C en K is de gereduceerde fase $\frac{1}{2}$.
- c Punt I trilt in fase met A.
- d De punten E en M trillen in tegenfase met A.
- e Het faseverschil tussen A en O is $1\frac{3}{4}$ (= faseverschil $\frac{3}{4}$). (O loopt $1\frac{3}{4}$ fase achter op A.)
- f Een kwart periode later is de hele golf met een kwart golflengte naar rechts verschoven, zie figuur. (De oorspronkelijke golf is gestippeld weergegeven.)





Opgave 39

- a Het eerste diagram laat $1\frac{1}{2}$ golf zien en het tweede diagram $2\frac{1}{4}$ golf. Tussen t_1 en t_2 is dus $2\frac{1}{4} - 1\frac{1}{2} = \frac{3}{4}$ golf ontstaan, doordat het linkerruimteinde intussen $\frac{3}{4}$ trilling heeft uitgevoerd.
- b Het linkerruimteinde heeft $\frac{3}{4}$ trilling uitgevoerd tussen t_1 en t_2 dus is het faseverschil tussen t_1 en t_2 $\frac{3}{4}$.
- c $\Delta\varphi = \frac{\Delta t}{T} \rightarrow T = \frac{\Delta t}{\Delta\varphi} = \frac{12,5 - 12,0}{\frac{3}{4}} = 0,67 \text{ s}$
- d Tussen 12,0 s en 12,5 s verplaatst de (voorkant van de) golf over 16,5 kleine hokjes, dat is 16,5 cm.
 $\Delta\varphi = \frac{\Delta x}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{\Delta x}{\Delta\varphi} = \frac{0,165}{\frac{3}{4}} = 0,22 \text{ m}$
 De breedte van het diagram is 50 kleine hokjes en dat komt overeen met 50 cm. De golflengte in de figuur is 22 kleine hokjes dus dat is 22 cm.

Opgave 40

- a De geluidssnelheid in lucht bij 20 °C (293 K) is 343 m/s. Als $f = 20 \text{ Hz}$: $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{343}{20} = 17 \text{ m}$.
 Als $f = 20 \text{ kHz}$: $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{343}{20 \cdot 10^3} = 0,017 \text{ m} = 17 \text{ mm}$.
- b Als de temperatuur toeneemt, neemt volgens Binas de geluidssnelheid toe. De frequentie van de geluidsbron blijft hetzelfde, dus wordt de golflengte groter.
- c De geluidssnelheid in water bij 20 °C (293 K) is 1484 m/s. $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{1484}{2,0} = 7,4 \cdot 10^2 \text{ Hz}$. De mens kan geluiden tussen 20 Hz en 20 kHz horen, dus je kunt deze toon horen.

Opgave 41

- a De golfsnelheid van radiogolven is $c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.
- b $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{2,998 \cdot 10^8}{2412 \cdot 10^6} = 0,1243 \text{ m} = 12,43 \text{ cm}$
- c $f_1 = \frac{c}{\lambda_1} = \frac{2,998 \cdot 10^8}{0,025} = 1,2 \cdot 10^{10} \text{ Hz}$ en $f_2 = \frac{c}{\lambda_2} = \frac{2,998 \cdot 10^8}{0,037} = 8,1 \cdot 10^9 \text{ Hz}$. Dus de frequenties van de X-band liggen tussen 8,1 en 12 GHz.
- d De afstand aarde-zon is $0,1496 \cdot 10^{12} \text{ m}$ en de afstand Mars-zon is $0,228 \cdot 10^{12} \text{ m}$ (baanstraal in Binas).
 De kortste afstand van de aarde tot Mars vind je als de aarde en Mars aan dezelfde kant van de zon staan.
 De afstand is dan $0,228 \cdot 10^{12} - 0,1496 \cdot 10^{12} = 0,078 \cdot 10^{12} = 7,8 \cdot 10^{10} \text{ m}$. De kortste tijd om de aarde te bereiken is $t = \frac{x}{v} = \frac{x}{c} = \frac{7,8 \cdot 10^{10}}{2,998 \cdot 10^8} = 2,6 \cdot 10^2 \text{ s}$, dus is de minimale tijd die zit tussen het uitzenden van een signaal naar Mars en het ontvangen van een antwoord $2 \times$ zo lang: $5,2 \cdot 10^2 \text{ s} = 8,7 \text{ minuten}$.

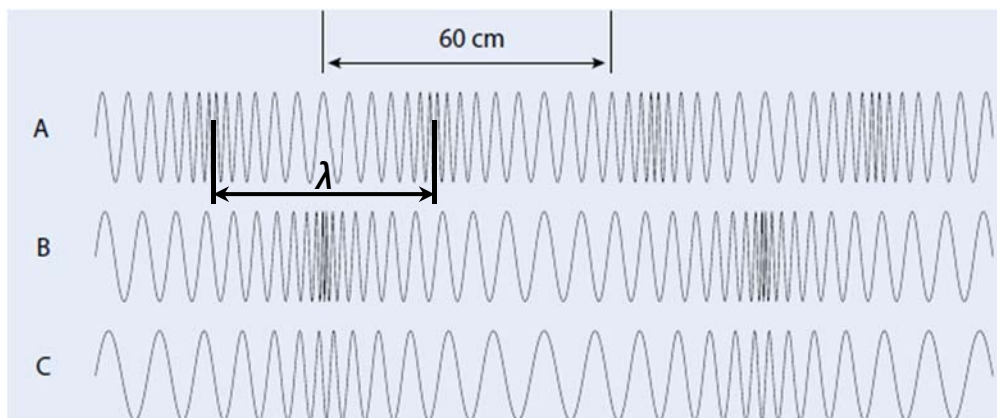
Opgave 42

- a De afstand tussen de dobbers is anderhalve golflengte dus het faseverschil is $\Delta\varphi = 1\frac{1}{2}$ (of $\frac{1}{2}$).
- b $\Delta\varphi = \frac{\Delta x}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{\Delta x}{\Delta\varphi} = \frac{0,60}{1,5} = 0,40 \text{ m}$
- c $v = f \cdot \lambda = 2,0 \times 0,40 = 0,80 \text{ m/s}$
- d $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{2,0} = 0,50 \text{ s} \rightarrow v_{\max} = \frac{2\pi \cdot A}{T} = \frac{2\pi \times 0,040}{0,50} = 0,50 \text{ m/s}$



Opgave 43

- a De afstand tussen twee verdichtingen bij A is $1,2 \times$ zo klein als de pijl die bij 60 cm staat. De golflengte van golf A is dus $\lambda = \frac{0,60}{1,2} = 0,50$ m.



- b $v = f \cdot \lambda = 42 \times 0,50 = 21$ m/s
 c De golflengte van golf B is $2,0 \times$ zo groot als de golflengte van golf A. De golfsnelheid is gelijk, dus is de frequentie in golf B $2,0 \times$ zo klein: $f = \frac{42}{2} = 21$ Hz.
 d De golflengte van golf C is even groot als de golflengte van golf B en de golfsnelheid is ook gelijk, dus is de frequentie ook even groot.

Opgave 44

- a De golf beweegt naar rechts, dus het dal dat links van B is te zien, schuift naar B toe. Dat betekent dat B op het moment van de tekening naar beneden beweegt.
 b B ligt 5 stippen verder dan A en de volgende top ligt 8 stippen verder dan A, dus is het faseverschil tussen A en B: $\Delta\varphi = \frac{5}{8}$.
 c $\Delta\varphi = \frac{\Delta x}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{\Delta x}{\Delta\varphi} = \frac{0,60}{\frac{5}{8}} = 0,96$ m en $v = f \cdot \lambda \rightarrow f = \frac{v}{\lambda} = \frac{1,8}{0,96} = 1,9$ Hz.

Opgave 45

- a De golflengte moet maximaal $3 \text{ mm} = 0,003$ m zijn. De geluidssnelheid in lucht is 340 m/s, dus de frequentie is minimaal $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{340}{0,003} = 1 \cdot 10^5$ Hz. Als de frequentie kleiner is, zal de golflengte groter zijn en 'spoelt' het geluid om een insect van 3 mm heen.
 b Ultrasoon geluid is geluid met een zodanig hoge frequentie dat het niet hoorbaar is. De mens kan niet boven de 20 kHz horen, dus is dit geluid onhoorbaar voor de mens.
 c De vleermuis registreert de tijd die verstrijkt tussen het uitzenden van de geluidspuls en het ontvangen van de teruggekaatste geluidspuls (echolocatie).
 d De tijd dat de geluidspuls onderweg is, is een maat voor de afstand van het insect tot de vleermuis.



7.4 STAANDE GOLVEN

Opgave 46

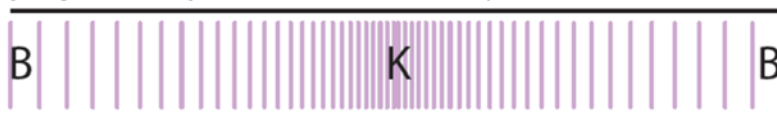
- a Waar (uitgezonderd bij de knopen, daar staat de lucht stil).
- b Waar (uitgezonderd bij de uiteinden).
- c Niet waar: Als je een fluitslang sneller ronddraait, hoor je bij bepaalde snelheden een hogere boventoon van de slang.
- d Waar
- e Waar

Opgave 47

- a De trilling van de lucht in de buis ontstaat doordat het uiteinde door de lucht zwaait. De trillingsbron bestaat uit de wervelingen van de langsstromende lucht, deze veroorzaken de trillingen in de buis.
- b Resonantie treedt alleen op als de golflengte 'past' bij de lengte van de buis. Dat is zo als er een geheel aantal halve golflengtes in de slang past. De toonhoogte verspringt naar een hogere frequentie, als de golflengte zo veel kleiner is geworden dat er een extra buik in de luchtslang past.
- c Bij tussenliggende snelheden passen er niet een geheel aantal halve golflengtes in de buis, zodat deze golven elkaar niet kunnen versterken.
- d Als je sneller ronddraait passen er bij bepaalde hogere snelheden steeds meer kleinere (halve) golflengtes in de slang, dus wordt de golflengte kleiner (en de toon hoger).

Opgave 48

- a Bij de grondtoon zijn er alleen buiken aan de open uiteinden.



- b Bij de 1^{ste} boventoon zijn er in totaal drie buiken en bij de 3^{de} boventoon zijn er vijf buiken (zie figuur hieronder).



- c Bij de 1^{ste} boventoon is de golflengte gelijk aan de lengte van de buis, want de afstand tussen twee buiken is een halve golflengte.
- d Als de buis korter is, zijn de staande golven in de buis ook korter, dus zijn de golflengtes kleiner.
- e De golflengtes zijn kleiner en de golfsnelheid blijft gelijk, dus zijn de frequenties van de tonen hoger ($v = f \cdot \lambda$).

Opgave 49

- a Bij een dicht uiteinde is een knoop.
- b Alleen bij tonen waarbij er resonantie in de kolom gas optreedt, ontstaan er staande geluidsgolven en wordt een golfpatroon in de vlammetjes zichtbaar. De lengte van de buis is dan gelijk aan een aantal halve golflengtes.
- c Bij een hoge eigenfrequentie van de buis met gas is de golflengte kleiner en zijn er meer golven in de vlammetjes zichtbaar.



Opgave 50

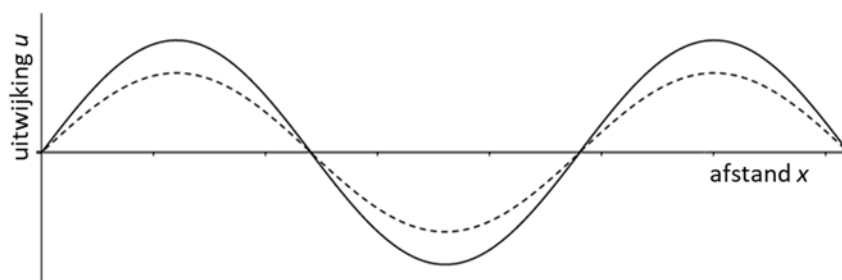
- a De geluidssnelheid neemt toe, als de temperatuur stijgt.
- b De golflengtes van de grondtoon en boventonen worden bepaald door de lengte van de luchtkolom en liggen daarmee vast. Als de geluidssnelheid toeneemt, nemen bij dezelfde golflengtes de frequenties toe ($v = f \cdot \lambda$).
- c De muzikant wil, bij dezelfde geluidssnelheid, een lagere frequentie krijgen. Hij moet dan de golflengte groter maken, dus het mondstuk van de fluit af schuiven.

Opgave 51

- a De punten B, C en D bewegen allemaal tegelijk omhoog tot aan hun eigen uiterste stand en bewegen daarna weer tegelijk naar beneden. Ze gaan op hetzelfde moment door de evenwichtsstand, ze trillen dus in fase.
- b Punten J, K en L bewegen in fase met punten B, C en D.
- c Punten F, G en H trillen in tegenfase met punten B, C en D.
- d De knopen zijn de punten A, E, I en M en de buiken zijn de punten C, G en K.
- e De snaar trilt in de 2^{de} boventoon. Er zijn $1\frac{1}{2}$ golflengtes te zien.
- f Met behulp van $u = A \sin\left(2\pi \frac{t}{T}\right)$ volgt dat na $\frac{1}{8}$ periode de uitwijking is:

$$u = A \sin\left(2\pi \frac{\frac{1}{8}T}{T}\right) = A \sin\left(2\pi \frac{1}{8}\right) = A \sin\left(\frac{\pi}{4}\right) = \frac{A}{\sqrt{2}} = 0,71 \cdot A.$$

De uitwijking van alle punten is dus 71% van de uiterste stand, zie de gestippelde lijn.



Opgave 52

- a Bij een open buis kan de lucht aan de uiteinden vrij bewegen en ook opzij uitzetten. De drukgolf schiet als het ware door. De luchtdeeltjes bewegen bij het uiteinde maximaal heen en weer, dus zit er een buik aan elk uiteinde.
- b Bij de 1^{ste} boventoon zit er aan elk uiteinde een buik en in het midden ook. Tussen twee buiken zit een halve golflengte, dus is de lengte van de buis bij de 1^{ste} boventoon een hele golflengte lang.
- c Bij de 2^{de} boventoon zit er een extra knoop en buik in de buis, dus moet de golflengte kleiner zijn dan bij de 1^{ste} boventoon.

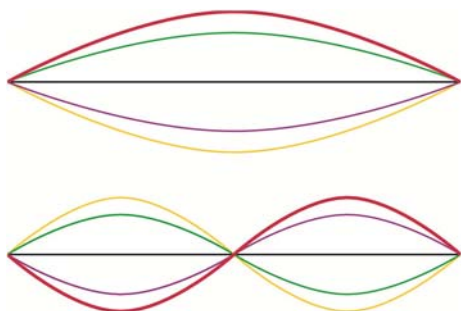
Opgave 53

- a De trillingen van de snaar brengen weinig lucht in beweging. De klankkast heeft een veel grotere oppervlakte en brengt meer lucht in trilling.
- b Een cello is gemaakt om lage tonen te produceren, dus langere golflengtes. Om deze te versterken is een grotere klankkast nodig.
- c Een banjo heeft een ronde klankkast met maar een paar afstanden voor het heen-en-weer gaande geluid en zal daardoor een veel beperkter aantal tonen versterken. Vooral lage tonen zullen minder of niet versterkt worden. Dat geeft een andere klank.

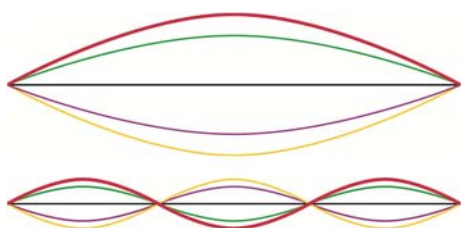


Opgave 54

- a Bij de grondtoon past er precies een halve golflengte tussen de uiteinden. Bij de 1^{ste} boventoon is dat een hele golflengte. De golflengte van de 1^{ste} boventoon is dus 2 × zo klein als van de grondtoon (zie volgende figuur).



- b De frequentie van de 1^{ste} boventoon is **2 × zo groot** als de frequentie van de grondtoon.
 c De golflengte van de 2^{de} boventoon is **3 × zo klein** als de golflengte van de grondtoon (zie volgende figuur).



- d De frequentie van de 2^{de} boventoon is **3 × zo groot** als de frequentie van de grondtoon.

Opgave 55

Eigen antwoord.

Opgave 56

- a $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{220}{110} = 2,00 \text{ m}$
 b Bij de grondtoon is de lengte van de snaar $\frac{1}{2}\lambda$, dus de snaar is 1,00 m lang.
 c Bij de 1^{ste} boventoon is de golflengte 2 × zo klein, dus is de frequentie 2 × zo groot: $f = 2 \times 110 = 220 \text{ Hz}$
 d 2^{de} boventoon: $f = 3 \times 110 = 330 \text{ Hz}$
 3^{de} boventoon: $f = 4 \times 110 = 440 \text{ Hz}$

Opgave 57

- a $v = f \cdot \lambda$, $f = \frac{v}{\lambda}$. De golfsnelheid in de snaar is constant en de lengte van de snaar is een halve golflengte, dus is de frequentie omgekeerd evenredig met lengte van de snaar.
 b Ja, dat geldt ook voor een trombone want daar geldt dezelfde formule, waarbij de lengte van de luchtkolom een kwart golflengte is.
 c Als je een gitaarsnaar strakker spant, wordt de golfsnelheid groter, want de lengte en dus ook de golflengte blijft even groot terwijl de frequentie groter wordt ($v = f \cdot \lambda$).

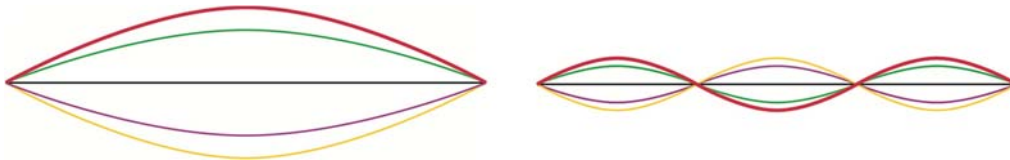


Opgave 58

- a $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340}{370} = 0,92 \text{ m} = 92 \text{ cm}$, de golflengte is even groot als de lengte van de slang, dus dit is de 1^{ste} boventoon (bij de grondtoon is de lengte van deze tweezijdig open buis gelijk aan een halve golflengte).
- b De frequentie van de grondtoon is $2 \times$ zo klein als de frequentie van de 1^{ste} boventoon: $f = \frac{370}{2} = 185 \text{ Hz}$ en de frequentie van de 2^{de} boventoon is $3 \times$ zo groot als de frequentie van de grondtoon: $f = 3 \times 185 = 555 \text{ Hz}$.
- c Bij de 2^e boventoon is de golflengte **drie** keer zo **klein** en de frequentie **drie** keer zo **groot** als bij de grondtoon.

Opgave 59

- a De grondtoon heeft één buik en twee knopen (zie figuur links). De 2^{de} boventoon heeft dus drie buiken en vier knopen (zie figuur rechts).



- b Voor de 2^{de} boventoon geldt dat $\ell = \frac{3}{2} \cdot \lambda \rightarrow \lambda = \frac{\ell}{1,5} = \frac{1,2}{1,5} = 0,80 \text{ m} = 80 \text{ cm}$.
- c $v = f \cdot \lambda = 500 \times 0,80 = 4,0 \cdot 10^2 \text{ m/s}$
- d Grondtoon: $f_1 = \frac{f_3}{3} = \frac{500}{3} = 167 \text{ Hz}$ en 1^{ste} boventoon: $f_2 = 2 \cdot f_1 = 2 \times 167 = 333 \text{ Hz}$.

Opgave 60

A en C zijn waar (B en D zijn niet waar).

Opgave 61

- a Bij de open buis is bij de grondtoon $\ell = \frac{1}{2} \cdot \lambda$ dus $\lambda = 2 \cdot \ell = 2 \times 1,5 = 3,0 \text{ m}$.
- b Grondtoon: $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{340}{3,0} = 113 = 1,1 \cdot 10^2 \text{ Hz}$
- c 1^{ste} boventoon: $\ell = \lambda = 1,5 \text{ m}$ dus $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{340}{1,5} = 2,3 \cdot 10^2 \text{ Hz}$ (of $f = 2 \times 113 = 2,3 \cdot 10^2 \text{ Hz}$).
 2^{de} boventoon: $\ell = \frac{3}{2} \cdot \lambda$ dus $\lambda = \frac{2}{3} \cdot \ell = \frac{2}{3} \times 1,5 = 1,0 \text{ m}$ $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{340}{1,0} = 3,4 \cdot 10^2 \text{ Hz}$
 (of $f = 3 \times 113 = 3,4 \cdot 10^2 \text{ Hz}$).

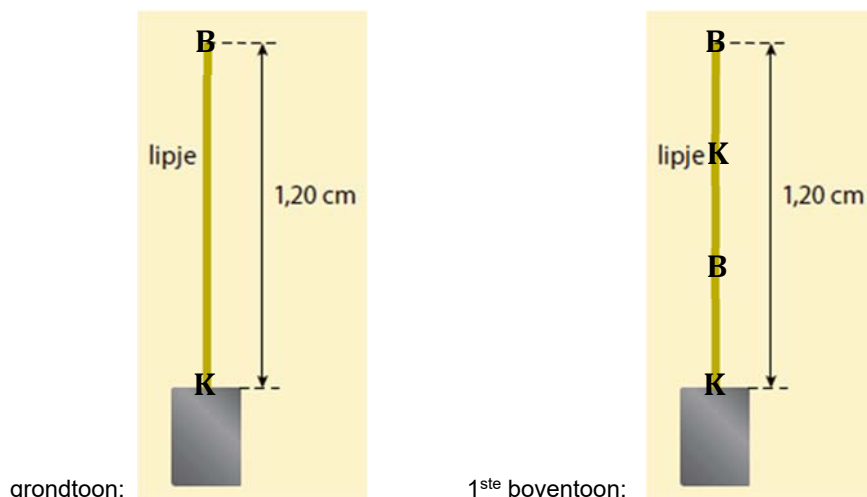
Opgave 62

- a Bij de eenzijdig gesloten buis is bij de grondtoon $\ell = \frac{1}{4} \cdot \lambda$ dus $\lambda = 4 \cdot \ell = 4 \times 1,5 = 6,0 \text{ m}$.
- b Grondtoon: $f_1 = \frac{v}{\lambda} = \frac{340}{6,0} = 57 \text{ Hz}$
- c 1^{ste} boventoon: $\ell = \frac{3}{4} \cdot \lambda$ dus $\lambda = \frac{4}{3} \cdot \ell = \frac{4}{3} \times 1,5 = 2,0 \text{ m}$ en $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{340}{2,0} = 1,7 \cdot 10^2 \text{ Hz}$
 (of $f = 3 \times 57 = 1,7 \cdot 10^2 \text{ Hz}$).
 2^{de} boventoon: $\ell = \frac{5}{4} \cdot \lambda$ dus $\lambda = \frac{4}{5} \cdot \ell = \frac{4}{5} \times 1,5 = 1,2 \text{ m}$ en $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{340}{1,2} = 2,8 \cdot 10^2 \text{ Hz}$
 (of $f = 5 \times 57 = 2,8 \cdot 10^2 \text{ Hz}$).



Opgave 63

a



- b Bij de grondtoon is $\ell = \frac{1}{4} \cdot \lambda$ dus $\lambda = 4 \cdot \ell = 4 \times 1,20 = 4,80$ m en $v = f \cdot \lambda = 392 \times 4,80 = 1,88 \cdot 10^3$ m/s.
- c Bij de 1^{ste} boventoon is $\ell = \frac{3}{4} \cdot \lambda$ dus $\lambda = \frac{4}{3} \cdot \ell = \frac{4}{3} \times 1,20 = 1,60$ m en $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{1,88 \cdot 10^3}{1,60} = 1,18 \cdot 10^3$ Hz (3×392 Hz).

Opgave 64

- a In de opgave is gegeven dat de frequentie van de grondtoon g gelijk is, dus wordt op beide instrumenten dezelfde muzieknoot gespeeld.
- b De viool laat meer boventonen horen dan de piano en bij de piano tellen vooral de eerste drie boventonen zwaar mee, terwijl dat voor de viool niet zo is. Deze verschillen zorgen voor een andere klank(kleur).

Opgave 65

- a Uit figuur 75 is de frequentie van de grondtoon te bepalen. Je kunt aflezen dat 9 trillingen $0,048 - 0,003 = 0,045$ s duren (kijk naar de onderste pieken) $\rightarrow$
 $T = \frac{0,045}{9} = 0,0050$ s $\rightarrow f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,0050} = 2,0 \cdot 10^2$ Hz. De golflengte van de grondtoon is dus $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340}{200} = 1,7$ m.
 Zou de sopraansax een eenzijdig gesloten buis zijn, dan zou $\ell = \frac{1}{4} \cdot \lambda$ zijn en de lengte dus ongeveer 43 cm. Zou de sopraansax een open buis zijn, dan zou $\ell = \frac{1}{2} \cdot \lambda$ zijn en de lengte dus ongeveer 85 cm. Beide hypothesen worden dus tegengesproken door deze meting.
- b Voor een open buis zijn de boventonen gegeven door een geheel aantal keer de grondtoon. Voor een eenzijdig gesloten buis zijn de boventonen gegeven door een oneven aantal keer de grondtoon. Uit figuur 76 blijkt dat de boventonen een geheel aantal keer de grondtoon zijn (210 Hz, 420 Hz, 630 Hz, enzovoort). Hypothese B wordt dus het meest gesteund.
- c Uit figuur 77 kan de akoestische lengte bepaald worden: deze is $1,25 \times$ zo groot als de lengte van de buis:
 $\ell = 1,25 \times 0,66 = 0,83$ m. Dit geeft een golflengte van: $\lambda = 2 \cdot \ell = 2 \times 0,83 = 1,65$ m en dat klopt met de berekende golflengte van de grondtoon.

Opgave 66

- a $\frac{1}{2} \lambda = 19,5$ cm $\rightarrow \lambda = 39,0$ cm $\rightarrow v = \lambda \cdot f = 0,390 \times 440 = 172$ m/s
- b De geluidssnelheid in lucht bij 293 K (20 °C) is 343 m/s (zie Binas). De frequentie is nog steeds 440 Hz. De golflengte is dus: $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{343}{440} = 0,780$ m = 78,0 cm.
 Gegeven is dat er 1,3 cm boven de buis een buik zit, en omdat de buis van onder dicht is, zit onderin een knoop. Dit betekent dat deze lengte + 1,3 cm gelijk is aan $\frac{1}{4}$ van de golflengte $\rightarrow \ell + 1,3$ cm = $\frac{1}{4} \cdot \lambda = \ell \times 78,0 = 19,5$ cm. De lengte van de buis is dan: $19,5 - 1,3 = 18,2$ cm.



7.5 VERDIEPING

Opgave 67

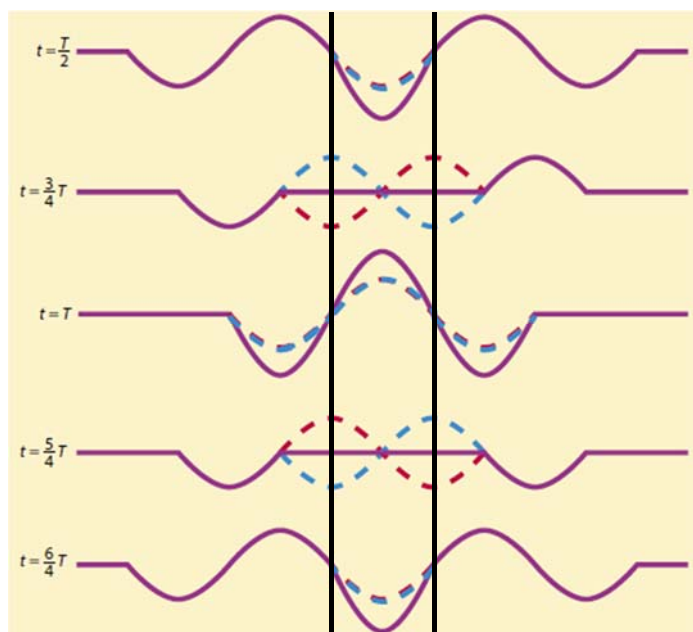
Als de frequentie van de toongenerator gelijk is aan de eigenfrequentie van het glas, produceert de toongenerator met precies de juiste frequentie hoge en lage luchtdruk aan de zijkant van het glas. De geluidsdruk zal telkens precies op het juiste moment een 'duw' tegen de zijkant van het glas geven, waarbij het glas dan zal gaan trillen zoals weergegeven in figuur 83a.

Opgave 68

- Als de pianostemmer de resonantiemethode gebruikt, zal de stemvork mee gaan trillen met het geluid van de pianosnaar. Maar dat gebeurt alleen als de frequentie van de snaar precies overeen komt met de eigenfrequentie van de stemvork (440 Hz).
- Als de pianostemmer de zwevingsmethode gebruikt, slaat hij eerst de stemvork aan en vervolgens de pianosnaar. Als de frequentie van de snaar niet precies overeenkomt met de frequentie van de stemvork, zal de pianostemmer zwevingen horen. Hoe minder de frequentie van de snaar en de stemvork verschillen, des te kleiner is de 'zwevingsfrequentie', dat wil zeggen dat het geluid van de zweving langzamer harder en zachter wordt. Hij zal dan de spanning van de pianosnaar wijzigen, net zo lang tot hij geen zwevingen meer hoort.

Opgave 69

- Vanaf $t = \frac{T}{2}$ is de overlap van beide golven een halve λ en ontstaan er knopen en buiken, totdat er vanaf $t = \frac{6}{4}T$ geen overlap van een halve λ meer is. Er zijn twee knopen te zien: op $\frac{1}{4}\lambda$ uit het midden. In de onderstaande figuur zijn de twee knooplijnen aangegeven. Deze zijn gedurende één trillingstijd T te zien.



- Bij zweving is sprake van samenstelling van twee golven met iets verschillende frequentie, waardoor de amplitude van de resulterende trilling (golfvormig) varieert in de tijd. Dat is een interferentiepatroon in de tijd.
- De knooplijnen in figuur 87 zijn de lijnen waarop geen 'rimpels' te zijn, het water is hier vlak, het trilt daar niet op-en- neer.
- Bij een knooplijn zijn de trillingen in tegenfase: ze doven elkaar uit.



Opgave 70

- a Midden tussen de speakers is de afstand tot beide speakers gelijk. Als de afstand gelijk is en de speakers maken geluidsgolven met dezelfde frequentie die met elkaar in fase zijn, zullen de geluidsgolven bij het oor ook in fase aankomen en elkaar versterken (de voortplantingssnelheid van beide geluidsgolven is immers gelijk).
- b De afstand van het punt vlak boven het oor tot de bovenste speaker is kleiner dan de afstand tot de onderste speaker. Als het afstandsverschil precies een halve golflengte is, zullen de golven met elkaar in tegenfase aankomen.
- c In alle punten van deze knoopplijn is het faseverschil tussen de aankomende golven $\frac{1}{2}$.
- d Bij de eerste knoopplijn boven het oor is het faseverschil $\frac{1}{2}$, bij de tweede knoopplijn $1\frac{1}{2}$ en bij de derde knoopplijn $2\frac{1}{2}$.

Opgave 71

- a Als hoek α gelijk aan 90° is, dan kan met behulp van de stelling van Pythagoras de schuine zijde uitgerekend worden. De afstand AW is dan gelijk aan:

$$\sqrt{(R^2 + R^2)} = \sqrt{(2R^2)} = \sqrt{2} \cdot R = \sqrt{2} \times 6,371 \cdot 10^6 = 9,01 \cdot 10^6 \text{ m}$$
- b Aflezen uit figuur 90 bij 90° geeft voor de P-golf: $t = 0,72 \cdot 10^3 \text{ s}$ en voor de S-golf: $t = 1,35 \cdot 10^3 \text{ s}$. De snelheid van de P-golf is $\frac{9,01 \cdot 10^6}{0,72 \cdot 10^3} = 1,3 \cdot 10^4 \text{ m/s}$ en de snelheid van de S-golf is $\frac{9,01 \cdot 10^6}{1,35 \cdot 10^3} = 6,67 \cdot 10^3 \text{ m/s}$.
- c Een globe laat zien dat de Filipijnen, Lissabon en Paramaribo ongeveer op één vlak door het centrum van de aarde liggen. De hoek tussen de Filipijnen en Lissabon is in dat vlak zeker meer dan 100° en minder dan 150° . Volgens figuur 90 komen er geen aardbevingsgolven aan in het gebied tussen 103° en 146° dus zal de aardbeving van de Filipijnen niet opgemerkt worden in Lissabon. De hoek tussen de Filipijnen en Paramaribo is bijna 180° graden, dus de P-golven van de aardbeving op de Filipijnen zullen wel op Paramaribo geregistreerd worden.
- d Nieuw-Zeeland bevindt zich ongeveer op lengtegraad 173° en Lissabon op -9° . De hoek tussen Nieuw-Zeeland en Lissabon is dus ongeveer 180° (bij deze schatting nemen we het veel kleinere verschil in breedtegraad even niet mee). Volgens figuur 90 doen de P-golven er $1,1 \cdot 10^3 \text{ s}$ over om deze afstand af te leggen, dat is 18 minuten.
- e S-golven kunnen zich alleen door de vaste mantel voortplanten en niet door de vloeibare buitenkern van de aarde. Als je in figuur 89 de lijn volgt van het punt op 0° naar het punt op 103° zal deze lijn nog net helemaal door het vaste deel van de aarde gaan. Daaruit volgt dat de buitenkern van de aarde, waar deze lijn aan raakt vloeibaar moet zijn.

Opgave 72

- a $v = f \cdot \lambda \rightarrow f = \frac{v}{\lambda} = \frac{1000 \cdot 3,6}{100 \cdot 10^3} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ Hz}$ (één periode duurt dus ongeveer 6 minuten).
- b Als de golven het land naderen, neemt de golfsnelheid af (omdat het water minder diep wordt), de frequentie blijft gelijk dus neemt de golflengte af.
- c Als de zeebeving een verzakking was kan een golfdal voorop gaan. Dan zal bij de kust de zee zich eerst terugtrekken.
- d Een tsunami heeft een heel grote snelheid, die met de kleinere diepte van het water afneemt. Dichter bij de kust wordt het ondieper en daardoor wordt de golfsnelheid kleiner. De 'uitstulping' aan de oppervlakte, de amplitude van de golf, neemt daardoor toe.



7.6 AFSLUITING

Opgave 73

Eigen antwoord.

Opgave 74

- a Als het oscillogram van een trilling een sinuslijn is met één enkele frequentie, noemen we dat een zuivere toon.
- b Een harmonische trilling heeft slechts één frequentie en een sinusvormig oscillogram, een samengestelde toon bestaat uit trillingen met verschillende frequenties door elkaar heen.
- c Bij een massa-veersysteem hangt de frequentie af van de massa en van de veerconstante.
- d De toonhoogte van een snaar wordt bepaald door de dikte, de lengte en de spankracht van de snaar.
- e De toonhoogte van een blaasinstrument wordt bepaald door de lengte van de luchtkolom en de temperatuur van de lucht in die kolom.
- f Er treedt resonantie op als de frequentie van de (aandrijvende) bron gelijk is aan een eigenfrequentie van het systeem, het gaat dan mee trillen.
- g Het deel van een hele trilling dat een harmonisch trillend voorwerp of systeem heeft gehad sinds de laatste positieve doorgang door de evenwichtsstand, heet de (gereduceerde) fase.
- h De periode van een massa-veersysteem voldoet aan: $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{C}}$. Daarin is T de periode (in s), m de massa (in kg) en C de veerconstante (in N/m).
- i Bij een geluidsgolf worden de trillingen doorgegeven, doordat de deeltjes in de stof elkaar achtereenvolgens vooruit en achteruit duwen.
- j De golflengte λ is de afstand tussen twee opeenvolgende punten in de golf, waar de uitwijking, en de richting van de snelheid gelijk zijn.
- k Bij een transversale golf trillen de deeltjes loodrecht op de voortplantingsrichting van de golf, bij een longitudinale golf trillen de deeltjes in dezelfde richting als de voortplantingsrichting van de golf.
- l $\Delta\phi = \frac{\Delta x}{\lambda}$. Hierbij is $\Delta\phi$ het faseverschil, Δx de afstand tussen de twee punten en λ de golflengte.
- m De klankkleur van een muziekinstrument wordt bepaald door het aantal boventonen en de amplitudes van die boventonen.
- n
 - Bij de grondtoon in een snaar bevindt zich aan de beide uiteinden een knoop en in het midden een buik.
 - Bij de grondtoon in een open buis bevindt zich aan beiden uiteinden een buik en in het midden een knoop.
 - Bij de grondtoon in een buis die aan één zijde gesloten is, bevindt zich aan de gesloten zijde een knoop en aan de open zijde een buik.

Opgave 75

- a $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{C}}$ geeft $C = m \cdot \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 = 0,015 \cdot \left(\frac{2\pi}{0,30}\right)^2 = 6,6 \text{ N/m}$.
- b Bij drie ringen is $m_{\text{tot}} = 15 + 60 = 75 \text{ g}$ en is $T = 0,65 \text{ s}$. Zonder ringen is $m_{\text{tot}} = 15 \text{ g}$ en is $T = 0,30 \text{ s}$. De factor waarmee de trillingstijd is toegenomen is $\frac{0,65}{0,30} = 2,2$.
- c Volgens de formule voor de trillingstijd $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{C}}$ zou de trillingstijd met factor $\sqrt{5}$ moeten toenemen, als de massa met factor 5 toeneemt. Dat klopt want $\sqrt{5} = 2,2$.
- d Volgens de formule van de trillingstijd bij een massa-veersysteem is de trillingstijd evenredig met de wortel van de massa, dus moet langs de horizontale as $\sqrt{m}$ uitgezet worden zodat er een rechte lijn door de oorsprong kan ontstaan.



Opgave 76

- a De puls wordt naar beneden uitgezonden en maar een gedeelte daarvan wordt teruggekaatst richting de boot. Bovendien spreidt de energie van de geluidspuls zich op de heen- en de terugweg uit en ontvangt de microfoon daar dus maar een deel van. Hierdoor zal de amplitude van de teruggekaatste puls kleiner zijn dan van de uitgezonden puls.
- b Uit figuur 96 kun je aflezen dat er tussen de uitgezonden puls en de ontvangen puls 7,5 hokjes zitten. De knop in de figuur geeft aan dat 1 hokje overeen komt met 1 ms, dus de tijd is $\Delta t = 7,5$ ms.
Volgens Binas is de geluidssnelheid in zeewater van 293 K gelijk aan $1,51 \cdot 10^3$ m/s. De puls legt dus een afstand af van $x = v \cdot \Delta t = 1,51 \cdot 10^3 \times 7,5 \cdot 10^{-3} = 11,3$ m. Dat is de heen- en terugweg van de puls, dus de diepte is 5,7 m.
- c De echo moet terug zijn, voordat de volgende puls wordt uitgezonden, anders weet je niet meer welke ontvangen puls bij welke uitgezonden puls hoort. De afstand tussen de uitgezonden pulsen is 9,5 hokjes, dus de maximale Δt is 9,5 ms $\rightarrow x = v \cdot \Delta t = 1,51 \cdot 10^3 \times 9,5 \cdot 10^{-3} = 14,3$ m, voor de dubbele afstand. De grootste diepte die je met de huidige instelling kunt meten is 7,2 m.
- d Om tot een grotere diepte te kunnen meten moet de tijdsduur tussen twee uitgezonden pulsen groter worden gemaakt. Waarschijnlijk kun je volstaan met de knop op 10 ms/cm te zetten, als tenminste de afstand tussen de uitgezonden pieken 9,5 hokje blijft. In dat geval kun je dieptes meten tot 72 m.

Opgave 77

- a In figuur 97 zie je drie volledige trillingen in 0,010 s $\rightarrow T = \frac{0,010}{3} = 0,0033$ s en $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,0033} = 3,0 \cdot 10^2$ Hz.
- b In de tekening zie je 1,25 golf, dan is de golflengte $\frac{46}{1,25} = 36,8$ cm $\rightarrow f = \frac{v}{\lambda} = \frac{2,0}{0,368} = 5,4$ Hz. Dit komt niet overeen met de gemeten frequentie.
- c Het vel trilt in figuur 98 in de verticale richting. Dat is ook de richting van een longitudinale golf in de veer.
- d Voor de golfsnelheid geldt: $v_L = \ell \cdot \sqrt{\frac{c}{m}} = 0,46 \times \sqrt{\frac{128}{0,015}} = 42,5$ m/s.
De golflengte is dan: $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{42,5}{300} = 0,142$ m.
Voor de staande longitudinale golf geldt: $\ell = (2n - 1) \cdot \frac{1}{4} \lambda$ waarbij ℓ nu de lengte van de veer is.
 $0,46 = (2n - 1) \times \frac{1}{4} \times 0,142 \rightarrow n = \frac{1}{2} \times \left(\frac{4 \times 0,46}{0,142} + 1 \right) = 7$
Dit komt overeen met de 6^{de} boventoon.

Opgave 78

- a In de tekening van figuur 99 is de afstand tussen twee verdichtingen gelijk aan de golflengte. De afstand tussen P en Q is groter dan de afstand tussen twee verdichtingen, dus is het faseverschil tussen P en Q groter dan 1,0.
- b Twee trillingen zijn 6,4 hokje en één hokje komt overeen met 0,5 ms, dus $T = \frac{1}{2} \times 6,4 \times 0,5 = 1,6$ ms.
- c De top van kanaal 2 loop steeds 0,8 hokje voor op de top van kanaal 1. Dat is $0,8 \times 0,5 = 0,4$ ms en dat is $\frac{1}{4}$ periode wat betekent dat $\Delta\phi = \frac{1}{4}$.
- d In figuur 99 zijn P en Q ongeveer $1\frac{1}{4}$ golflengte van elkaar verwijderd dus is het gereduceerde faseverschil $\frac{1}{4}$. Ook is in figuur 100 te zien dat P steeds $\frac{1}{4}$ fase voor loopt op Q, dus het beeld van de microfoon in P moet steeds $\frac{1}{4}$ trilling vóór lopen. Dus de microfoon in P is aangesloten op kanaal 1. (Bedenk dat horizontaal de tijd uitstaat in figuur 100 en kanaal 1 telkens iets eerder een top laat zien dan kanaal 2.)
- e Als de frequentie groter wordt, neemt de golflengte af en zal de afstand tussen P en Q niet meer $1\frac{1}{4}$ golflengte zijn maar steeds groter worden, zodat het (gereduceerde) faseverschil toeneemt.
- f Uit figuur 101 is af te lezen dat het gereduceerde faseverschil gelijk is aan 0 bij 440 Hz en 660 Hz. Dan moet het gereduceerd faseverschil ook 0 zijn bij 220 Hz. Dan is bij 440 Hz het faseverschil $\Delta\phi = 2,0$ (en bij 660 Hz is $\Delta\phi = 3,0$). Bij 440 Hz geldt dus: $\Delta x = 2\lambda$, dus $\lambda = \frac{1,19}{2} = 0,595$ m. Er geldt dus: $v = \lambda \cdot f = 0,595 \times 440 = 2,62 \cdot 10^2$ m/s.