7 Trillingen en golven

3 vwo

7.1 Wat is een trilling?

1* **a** Wat is een trilling?
- een trilling is een periodieke beweging om een evenwichtsstand

b Wat is de trillingstijd?
- de trillingstijd is de tijd waarin één volledige trilling wordt uitgevoerd

c Met welke letters worden de grootheid en eenheid van de trillingstijd aangegeven?
- grootheid: hoofdletter T | eenheid kleine letter s (seconde)

d Wat is de periode?
- hetzelfde als de trillingstijd

e Wat is de frequentie?
- het aantal trillingen dat per seconde wordt uitgevoerd

f Wat bedoel je met Hertz?
- Hertz (Hz) is de eenheid van de frequentie

2* **a** De trapper van een fiets tijdens het fietsen.
- geen trilling → wel periodieke beweging maar geen evenwichtsstand

b De beweging van je trommelvlies als je iets hoort.
- wel trilling → periodieke beweging en een evenwichtsstand

c Een robot die dozen van een lopende band pakt.
- geen trilling → wel periodieke beweging maar geen evenwichtsstand

d Eb en vloed aan de kust.
- wel trilling → periodieke beweging en een evenwichtsstand

e De beweging van een satelliet om de aarde.
- geen trilling → wel periodieke beweging maar geen evenwichtsstand

f Een kind op een schommel.
- wel trilling → periodieke beweging en een evenwichtsstand

g Een kind op een wipkip.

- wel trilling → periodieke beweging en een evenwichtsstand

h Een tak aan een boom die heen-en-weer zwiept.
- wel trilling → periodieke beweging en een evenwichtsstand

3

a Hoe vaak is de slinger in deze tijd in punt A geweest?
- na 10 slingeringen is de slinger 10 keer in punt A geweest

b Hoe vaak is de slinger in deze tijd in punt B geweest?
- in één periode gaat de slinger twee keer door de evenwichtsstand
- na 10 slingeringen is de slinger 20 keer in punt B geweest

c Hoe groot is de trillingstijd?
- 10 slingeringen in 4,0 seconde → 1 slingering in 0,40 s

d Bereken de frequentie.
- $T = 0{,}40\ \text{s} \quad | \quad f = \ldots\ \text{Hz}$
- $f = \dfrac{1}{T} \quad \rightarrow \quad f = \dfrac{1}{0{,}4} = 2{,}5\ \text{Hz}$

4

a Welke frequentie heeft deze machine?
- 300 steken per minuut is $\dfrac{300}{60} = 5{,}0$ steken per seconde
- de machine heeft een frequentie van 5,0 Hz

b Met welke frequentie draait de motor?
- 2400 toeren per minuut is $\dfrac{2400}{60} = 40$ toeren per seconde
- de motor heeft een frequentie van 40 Hz

5

a Hoeveel seconde duurt een enkele stap.
- 120 stappen per minuut → 120 stappen in 60 seconden
- één stap duurt $\dfrac{60}{120} = 0{,}50\ \text{s}$

b Bereken hoe lang ze daar over doen.
- iedere 0,50 s één stap van 80 cm
- iedere seconde legen de soldaten 1,6 meter af
- 10 km = 10000 m
- aantal seconden: $\dfrac{10000}{1{,}6} = 6250\ \text{s}$

- $t = 6250\text{ s} = \dfrac{6250}{60} = 104{,}16667 = 104\text{ minuten}$

6* **a** Bereken de trillingstijd.
- $f = 650\text{ Hz} \quad | \quad T = \ldots\text{ s}$
- $f = \dfrac{1}{T} \quad \rightarrow \quad T = \dfrac{1}{f}$
- $T = \dfrac{1}{650} = 0{,}00154\text{ s}$

7** **a** Bereken de trillingstijd.
- $f = 2{,}1 \cdot 10^4\text{ Hz} \quad | \quad T = \ldots\text{ s}$
- $f = \dfrac{1}{T} \quad \rightarrow \quad T = \dfrac{1}{f} \quad \rightarrow \quad T = \dfrac{1}{2{,}1 \cdot 10^4} = 4{,}76 \cdot 10^{-5}\text{ s}$

b Hoeveel trillingen bevat dit signaal?
- $t = 0{,}20\text{ s} \quad | \quad f = 2{,}1 \cdot 10^4\text{ Hz}$ *(f is aantal trillingen per seconde)*
- $\text{aantal trillingen} = 2{,}1 \cdot 10^4 \cdot 0{,}2 = 4{,}2 \cdot 10^3$

8** **a** Leg uit wat er NIET verandert als je het blokje een tijdje laat slingeren:
- – de frequentie NIET: in 0,20 s van de uiterste stand naar de evenwichtsstand
- – de uitwijking WEL: bij een trilling verandert de uitwijking voortdurend
- – de amplitude WEL: want de trilling dempt en wordt uiteindelijk nul
- – de trillingstijd NIET: in 0,20 s van de uiterste stand naar de evenwichtsstand

b Wat weet je van de snelheid in de uiterste stand?
- in de uiterste stand is de snelheid nul

c Wat weet je van de snelheid in de evenwichtsstand?
- in de evenwichtsstand is de snelheid maximaal

d Bereken de frequentie van deze slinger.
- in 0,10 s van de uiterste stand naar de evenwichtsstand
- van de uiterste stand naar de evenwichtsstand is ¼ trilling
- een hele trilling duurt $4 \cdot 0{,}2 = 0{,}8\text{ s}$
- $T = 0{,}80\text{ s}$
- $f = \dfrac{1}{T} \quad \rightarrow \quad f = \dfrac{1}{0{,}8} = 1{,}25\text{ Hz}$

9** **a** Bereken de trillingstijd.
- 18 keer per minuut → 18 keer in 60 seconden

- $T = \frac{60}{18} = 3{,}333\ \text{s}$

b Bereken de frequentie.

- $f = \frac{1}{T} \quad \rightarrow \quad f = \frac{1}{3{,}333} = 0{,}30\ \text{Hz}$

10*** **a** Leg uit in welke stand je het beste de stopwatch kunt starten.

- start op de uiterste stand want dan staat het blokje even stil en dat is goed te zien

b Wie van hen voert de nauwkeurigste meting uit: Arend of Simon, of zijn beide metingen even nauwkeurig?

- vanwege de reactietijd maak je bij het indrukken van de stopwatch een kleine fout
- bij Arend komt deze meetfout in het resultaat
- bij Simon wordt deze meetfout gedeeld door 10 en komt pas daarna in het resultaat
- de meting van Simon is dus nauwkeuriger dan die van Arend

(u, t)-diagram

11** **a** Hoe groot is de amplitude?

- aflezen: maximale uitwijking $\rightarrow$ $A = 0{,}45\ \text{cm}$

b Hoe groot is de trillingstijd?

- aflezen: 4 trillingen in 21 seconden
- $T = \frac{21}{4} = 5{,}25\ \text{s}$

c Hoe groot is de frequentie?

- $f = \frac{1}{T} \quad \rightarrow \quad f = \frac{1}{5{,}25} = 0{,}19\ \text{Hz}$

12** **a** Hoe groot is de amplitude?

- aflezen: maximale uitwijking $\rightarrow$ $A = 0{,}38\ \text{cm}$

b Hoe groot is de trillingstijd?

- aflezen: 4 trillingen in $61 - 5 = 56\ \text{s}$
- $T = \frac{56}{4} = 14\ \text{s}$

c Hoe groot is de frequentie?

- $f = \frac{1}{T} \quad \rightarrow \quad f = \frac{1}{14} = 0{,}0714\ \text{Hz}$

13** **a** Hoe groot is de amplitude?

- aflezen: maximale uitwijking $\rightarrow$ $A = 4{,}5\ \text{mm}$

b Hoe groot is de trillingstijd?
- aflezen: 3 trillingen in 62,5 μs (microseconde)
- één trilling duurt $\frac{62{,}5 \cdot 10^{-6}}{3} = 20{,}8333 \cdot 10^{-6}$ s

c Hoe groot is de frequentie?
- $f = \frac{1}{T} \quad \rightarrow \quad f = \frac{1}{20{,}8333 \cdot 10^{-6}} = 48000 = 4{,}8 \cdot 10^{4}$ Hz

14*** **a** Hoe groot is de amplitude?
- aflezen: maximale uitwijking → A = 14 cm

b Hoe groot is de trillingstijd?
- aflezen: 3 trillingen in 20 ms (milliseconden)
- één trilling duurt $\frac{0{,}020}{3} = 0{,}006667$ s

c Hoe groot is de frequentie?
- $f = \frac{1}{T} \quad \rightarrow \quad f = \frac{1}{0{,}006667} = 150$ Hz

Trillingen waarnemen

15** **a** Bepaal de trillingstijd.
- aflezen: er zijn 1,5 trillingen in 7 hokjes
- 1 hokje = 20 μs
- 1,5 trillingen in $7 \cdot 20 = 140$ μs
- 1 trilling in $\frac{140}{1{,}5} = 93{,}33$ μs

b Bepaal de frequentie.
- $f = \frac{1}{T} \quad \rightarrow \quad f = \frac{1}{93{,}33 \cdot 10^{-6}} = 10.714$ Hz $\qquad (1.07 \cdot 10^{4}$ Hz$)$

c Bepaal de amplitude.
- aflezen: maximale uitwijking → 4,2 hokjes
- 1 hokje = 0,5 V
- 4,2 hokjes is $4{,}2 \cdot 0{,}5 = 2{,}1$ V

16*** **a** Bepaal de trillingstijd.
- aflezen: er zijn 1,5 trillingen in 10 hokjes

- 1 hokje = 5 μs
- 1,5 trillingen in $10 \cdot 5 = 50\ \mu s$
- 1 trilling duurt $\frac{50}{1,5} = 33,333 = 33\ \mu s$

b Bepaal de frequentie.
- $T = 33,333\ \mu s = 33,333 \cdot 10^{-6}$ s
- $f = \frac{1}{T} \quad \rightarrow \quad f = \frac{1}{33,333 \cdot 10^{-6}} = 3,0 \cdot 10^4$ Hz

c Bepaal de amplitude.
- aflezen: maximale uitwijking $\rightarrow$ 2,0 hokjes
- 1 hokje = 0,2 mV
- 2,0 hokjes = 0,40 mV

d Leg uit wat je moet doen met de tijdbasis.
- je hoeft niets met de tijdbasis te doen, want het signaal moet verticaal worden vergroot

e Leg uit wat je moet doen met de gevoeligheid.
- je moet de gevoeligheid 2,5 keer groter maken (wordt 0,5 mV / div)

17*** **a** Bepaal de trillingstijd.
- aflezen: er is 1 trillingen in 3,8 hokjes
- 1 hokje = 50 ms
- 1 trilling duurt $3,8 \cdot 50 = 190$ ms

b Bepaal de frequentie.
- $T = 190\ ms = 0,19\ s$
- $f = \frac{1}{T} \quad \rightarrow \quad f = \frac{1}{0,19} = 5,263 = 5,3\ Hz$

c Bepaal de amplitude.
- aflezen: maximale uitwijking $\rightarrow$ 4,3 hokjes
- 1 hokje = 0,2 V
- 4,3 hokjes = $4,3 \cdot 0,2 = 0,86 \quad \rightarrow \quad A = 0,86$ V

d Leg uit of je nu meer of minder trillingen op het scherm ziet.
- de tijdbasis wordt korter
- er zijn minder trillingen op het scherm te zien

18*** **a** Hoeveel tijd zit er tussen de punten P en T?
- tussen de punten P en T zitten 11,3 hokjes

- 1 hokje = 20 ms = 0,020 s
- $11{,}3 \cdot 0{,}02 = 0{,}226$ s

b Hoeveel slagen geeft het hart per minuut?
- tussen twee hoge pieken zitten 25 hokjes
- 1 hokje = 20 ms = 0,020 s
- $25 \cdot 0{,}02 = 0{,}50$ s
- 1 hartslag duur 0,50 s → aantal per minuut is $\frac{60}{0{,}5} = 120$ hartslagen

c Hoeveel millivolt is het signaal bij punt R?
- gerekend vanaf de lijn tussen twee hartslagen is de piek bij R 12 hokjes hoog
- $1 \text{ hokje} = 200\ \mu\text{s} = 200 \cdot 10^{-6}$ s
- $12 \cdot 200 \cdot 10^{-6} = 2{,}4 \cdot 10^{-3}\ \text{V} = 2{,}4\ \text{mV}$

19** a** Hoe groot is de tijdbasis? (de tijd die hoort bij een klein hokje)
- 116 slagen per minuut → één hartslag duurt $\frac{60}{116} = 0{,}51724$ s
- tel 17,2 hokjes tussen de twee pieken
- verhoudingstabel

hokjes	17,2	1
seconden	0,51724	x

- $x = \frac{0{,}51724}{17{,}2} = 0{,}030072 = 0{,}03$ seconde per hokje

b Hoe groot is de gevoeligheid? (de spanning die hoort bij een klein hokje)
- de piek is 8 hokjes hoog
- verhoudingstabel

hokjes	8	1
millivolt	1,6	x

- $x = \frac{1{,}6}{8} = 0{,}20\ \text{mV}$ per hokje

7.2 Eigentrilling en resonantie

Massaveersysteem

1** **a** Bereken de trillingstijd als m = 400 g en C = 2,0 N/m.

- $m = 0{,}4\ kg \quad | \quad C = 2{,}0\ N/m \quad | \quad T = \ldots s$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}} \quad \rightarrow \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{0{,}4}{2}} \quad \rightarrow \quad T = 2{,}8\ s$

b Bereken de trillingstijd als m = 800 g en C = 2,0 N/m.

- $m = 0{,}8\ kg \quad | \quad C = 2{,}0\ N/m \quad | \quad T = \ldots s$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}} \quad \rightarrow \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{0{,}8}{2}} \quad \rightarrow \quad T = 4{,}0\ s$

c Bereken de trillingstijd als m = 400 g en C = 4,0 N/m.

- $m = 0{,}4\ kg \quad | \quad C = 4{,}0\ N/m \quad | \quad T = \ldots s$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}} \quad \rightarrow \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{0{,}4}{4}} \quad \rightarrow \quad T = 2{,}0\ s$

2** **a** Bereken de massa als T = 1,0 s en C = 10 N/m.

- $T = 1{,}0\ s \quad | \quad C = 10\ N/m \quad | \quad m = \ldots kg$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}} \quad \rightarrow \quad 1 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{10}} \quad \rightarrow \quad \frac{1}{2\pi} = \sqrt{\frac{m}{10}}$
- kwadrateren: $\left(\frac{1}{2\pi}\right)^2 = \frac{m}{10} \quad \rightarrow \quad 0{,}02533 = \frac{m}{10}$
- $m = 0{,}02533 \cdot 10 = 0{,}25\ kg$

b Bereken de massa als T = 2,0 s en C = 10 N/m.

- $T = 2{,}0\ s \quad | \quad C = 10\ N/m \quad | \quad m = \ldots kg$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}} \quad \rightarrow \quad 2 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{10}} \quad \rightarrow \quad \frac{2}{2\pi} = \sqrt{\frac{m}{10}}$
- kwadrateren: $\left(\frac{2}{2\pi}\right)^2 = \frac{m}{10} \quad \rightarrow \quad 0{,}10132 = \frac{m}{10}$
- $m = 0{,}10132 \cdot 10 = 1{,}01\ kg$

c Bereken de massa als T = 1,0 s en C = 20 N/m.

- $T = 1{,}0\ s \quad | \quad C = 20\ N/m \quad | \quad m = \ldots kg$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}} \quad \rightarrow \quad 1 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{20}} \quad \rightarrow \quad \frac{1}{2\pi} = \sqrt{\frac{m}{20}}$

- kwadrateren: $\left(\frac{1}{2\pi}\right)^2 = \frac{m}{20} \rightarrow 0{,}02533 = \frac{m}{20}$
- $m = 0{,}02533 \cdot 20 = 0{,}51\,kg$

3***

a Bereken de veerconstante als T = 10 s en m = 5,0 kg.

- $T = 10\,s \;\;|\;\; m = 5{,}0\,kg \;\;|\;\; C = \ldots N/m$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}} \rightarrow 10 = 2\pi\sqrt{\frac{5}{C}} \rightarrow \frac{10}{2\pi} = \sqrt{\frac{5}{C}}$
- kwadrateren: $\left(\frac{10}{2\pi}\right)^2 = \frac{5}{C} \rightarrow 2{,}533 = \frac{5}{C}$
- $C = \frac{5}{2{,}533} = 2{,}0\,N/m$

b Bereken de veerconstante als T = 20 s en m = 5,0 kg.

- $T = 20\,s \;\;|\;\; m = 5{,}0\,kg \;\;|\;\; C = \ldots N/m$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}} \rightarrow 20 = 2\pi\sqrt{\frac{5}{C}} \rightarrow \frac{20}{2\pi} = \sqrt{\frac{5}{C}}$
- kwadrateren: $\left(\frac{20}{2\pi}\right)^2 = \frac{5}{C} \rightarrow 10{,}132 = \frac{5}{C}$
- $C = \frac{5}{10{,}132} = 0{,}49\,N/m$

c Bereken de veerconstante als T = 10 s en m = 10 kg.

- $T = 10\,s \;\;|\;\; m = 10\,kg \;\;|\;\; C = \ldots N/m$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}} \rightarrow 10 = 2\pi\sqrt{\frac{10}{C}} \rightarrow \frac{10}{2\pi} = \sqrt{\frac{10}{C}}$
- kwadrateren: $\left(\frac{10}{2\pi}\right)^2 = \frac{10}{C} \rightarrow 2{,}533 = \frac{10}{C}$
- $C = \frac{10}{2{,}533} = 3{,}95\,N/m$

4**

a Hoe groot is de trillingstijd van de auto?

- $m = 950\,kg \;\;|\;\; C = 4{,}0 \cdot 10^4\,N/m \;\;|\;\; T = \ldots s$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}} \rightarrow T = 2\pi\sqrt{\frac{950}{4{,}0 \cdot 10^4}} \rightarrow T = 0{,}9683 = 0{,}97\,s$

b Hoe groot is de frequentie van de auto?

- $T = 0{,}9683\,s \rightarrow f = \frac{1}{T} \rightarrow f = \frac{1}{0{,}9683} = 1{,}0323 = 1{,}03\,Hz$

b Waar dienen de schokdempers bij een auto voor?
- om de trilling snel te laten stoppen (dempen)

5*** **a** Bereken de massa van de stoel.
- $f = 1{,}0\ \text{Hz} \quad \rightarrow \quad T = \frac{1}{f} \quad \rightarrow \quad T = \frac{1}{1} = 1{,}0\ \text{s}$
- $T = 1{,}0\ \text{s} \quad | \quad C = 800\ \text{N/m} \quad | \quad m = \ldots\ \text{kg}$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}} \quad \rightarrow \quad 1 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{800}} \quad \rightarrow \quad \frac{1}{2\pi} = \sqrt{\frac{m}{800}}$
- kwadrateren: $\left(\frac{1}{2\pi}\right)^2 = \frac{m}{800} \quad \rightarrow \quad 0{,}02533 = \frac{m}{800}$
- $m = 0{,}02533 \cdot 800 = 20{,}264 = 20{,}3\ \text{kg}$

b Bereken de massa van de chauffeur.
- $f = 0{,}5\ \text{Hz} \quad \rightarrow \quad T = \frac{1}{f} \quad \rightarrow \quad T = \frac{1}{0{,}5} = 2{,}0\ \text{s}$
- $T = 2{,}0\ \text{s} \quad | \quad C = 800\ \text{N/m} \quad | \quad m = \ldots\ \text{kg}$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}} \quad \rightarrow \quad 2 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{800}} \quad \rightarrow \quad \frac{2}{2\pi} = \sqrt{\frac{m}{800}}$
- kwadrateren: $\left(\frac{2}{2\pi}\right)^2 = \frac{m}{800} \quad \rightarrow \quad 0{,}10132 = \frac{m}{800}$
- $m = 0{,}10132 \cdot 800 = 81{,}057\ \text{kg}$
- massa chauffeur: $m = 81{,}057 - 20{,}264 = 60{,}7927 = 60{,}8\ \text{kg}$

6*** **a** Beredeneer met behulp van de formule $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}}$ hoeveel extra massa die je aan de veer moet hangen.
- T moet 2 keer zo groot worden
- $\sqrt{m}$ moet 2 keer zo groot worden → m moet 4 keer zo groot worden
- nieuwe massa is 80 gram
- je moet 60 gram toevoegen

b Leg uit of je een veer moet kiezen met een grotere of met een kleinere veerconstante.
- T moet groter worden
- C staat in de noemer van een breuk en moet dus kleiner worden

c Beredeneer met behulp van de formule $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}}$ hoeveel groter of kleiner de veerconstante moet zijn.

- T moet 2 keer zo groot worden
- $\sqrt{C}$ moet 2 keer zo klein worden
- C moet 4 keer zo klein worden

7**** **a** Bereken de veerconstante van de veer.

- $m = 50\ g = 0{,}050\ kg \quad | \quad T = 0{,}80\ s \quad | \quad C = \ldots N/m$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}}$
- $0{,}8 = 2\pi\sqrt{\frac{0{,}05}{C}} \quad \rightarrow \quad \frac{0{,}8}{2\pi} = \sqrt{\frac{0{,}05}{C}} \quad \rightarrow \quad 0{,}0162114 = \frac{0{,}05}{C}$
- $C = \frac{0{,}05}{0{,}0162114} = 3{,}08425 = 3{,}1\ N/m$

b Bereken de lengte van de veer als er geen poppetje aan hangt.

- $C = 3{,}08425\ N/m \quad | \quad m = 0{,}050\ kg \quad | \quad u = \ldots m$
- $F_z = m \cdot g \quad \rightarrow \quad F_z = 0{,}050 \cdot 9{,}81 = 0{,}4905\ N$
- $F = C \cdot u \quad \rightarrow \quad u = \frac{F}{C}$
- $u = \frac{0{,}4905}{3{,}08425} = 0{,}15903\ m = 15{,}9\ cm$
- $\ell = \ell_0 + u \quad \rightarrow \quad \ell_0 = \ell - u$
- $\ell_0 = 20 - 15{,}9 = 4{,}1\ cm$

8**** **a** Bereken de veerconstante van de spiraalveer.

- $F_z = m \cdot g \quad \rightarrow \quad F_z = 0{,}25 \cdot 9{,}81 = 2{,}4525\ N$
- $F = 2{,}4525\ N \quad | \quad u = 150\ mm = 0{,}15\ m \quad | \quad C = \ldots N/m$
- $F = C \cdot u \quad \rightarrow \quad 2{,}4525 = C \cdot 0{,}15 \quad \rightarrow \quad C = 16{,}35\ N/m$

b Hoe groot is de amplitude?

- de veer wordt 5,0 cm uitgerekt $\rightarrow$ $A = 0{,}050\ m$

c Met welke trillingstijd gaat het blokje trillen?

- $m = 0{,}25\ kg \quad | \quad C = 16{,}35\ N/m \quad | \quad T = \ldots s$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}} \quad \rightarrow \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{0{,}25}{16{,}35}} \quad \rightarrow \quad T = 0{,}77695 = 0{,}78\ s$

d Hoe groot is de frequentie?

- $T = 0{,}77695\ s \quad \rightarrow \quad f = \frac{1}{T} \quad \rightarrow \quad f = \frac{1}{0{,}77695} = 1{,}287 = 1{,}29\ Hz$

e Hoeveel trillingen zijn er per minuut?

- het blokje maakt 1,287 trillingen per seconde
- een minuut heeft 60 seconden
- aantal trillingen per minuut: $1{,}287 \cdot 60 = 77{,}225 = 77{,}2$ trillingen per minuut

Slinger

9** **a** Bereken de trillingstijd als $\ell = 2{,}0$ m.

- $\ell = 2{,}0\,\mathrm{m} \quad | \quad g = 9{,}81\,\mathrm{m/s^2} \quad | \quad T = \ldots\,\mathrm{s}$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} \quad \rightarrow \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{2{,}0}{9{,}81}} = 2{,}837 = 2{,}8\,\mathrm{s}$

b Bereken de frequentie als $\ell = 4{,}0$ cm.

- $\ell = 4{,}0\,\mathrm{cm} = 0{,}040\,\mathrm{m} \quad | \quad g = 9{,}81\,\mathrm{m/s^2} \quad | \quad T = \ldots\,\mathrm{s}$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} \quad \rightarrow \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{0{,}040}{9{,}81}} = 0{,}4012\,\mathrm{s}$
- $f = \frac{1}{T} \quad \rightarrow \quad f = \frac{1}{0{,}4012} = 2{,}4924 = 2{,}5\,\mathrm{Hz}$

10** Voor een slinger geldt: $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$

a Bereken de lengte als $T = 4{,}0$ s.

- $T = 4{,}0\,\mathrm{s} \quad | \quad g = 9{,}81\,\mathrm{m/s^2} \quad | \quad \ell = \ldots\,\mathrm{m}$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} \quad \rightarrow \quad 4 = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{9{,}81}} \quad \rightarrow \quad \frac{4}{2\pi} = \sqrt{\frac{\ell}{9{,}81}}$
- kwadrateren: $\left(\frac{4}{2\pi}\right)^2 = \frac{\ell}{9{,}81} \quad \rightarrow \quad 0{,}40528 = \frac{\ell}{9{,}81}$
- $\ell = 0{,}40528 \cdot 9{,}81 = 3{,}9758 = 4{,}0\,\mathrm{m}$

b Bereken de lengte als $T = 1{,}8$ minuten.

- $T = 1{,}6\,\text{minuten} = 96\,\mathrm{s} \quad | \quad g = 9{,}81\,\mathrm{m/s^2} \quad | \quad \ell = \ldots\,\mathrm{m}$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} \quad \rightarrow \quad 96 = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{9{,}81}} \quad \rightarrow \quad \frac{96}{2\pi} = \sqrt{\frac{\ell}{9{,}81}}$
- kwadrateren: $\left(\frac{96}{2\pi}\right)^2 = \frac{\ell}{9{,}81} \quad \rightarrow \quad 233{,}444 = \frac{\ell}{9{,}81}$
- $\ell = 233{,}444 \cdot 9{,}81 = 2290\,\mathrm{m} \qquad (2{,}29\,\mathrm{km})$

c Bereken de lengte als $T = 25$ ms (milliseconden).

- $T = 25\,\mathrm{ms} = 0{,}025\,\mathrm{s} \quad | \quad g = 9{,}81\,\mathrm{m/s^2} \quad | \quad \ell = \ldots\,\mathrm{m}$

- $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} \;\rightarrow\; 0{,}025 = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{9{,}81}} \;\rightarrow\; \frac{0{,}025}{2\pi} = \sqrt{\frac{\ell}{9{,}81}}$
- kwadrateren: $\left(\frac{0{,}025}{2\pi}\right)^2 = \frac{\ell}{9{,}81} \;\rightarrow\; 1{,}583 \cdot 10^{-5} = \frac{\ell}{9{,}81}$
- $\ell = 1{,}583 \cdot 10^{-5} \cdot 9{,}81 = 1{,}553 \cdot 10^{-4}\ \text{m}$ (0,1553 mm)

11** **a** Wie heeft er gelijk, Ella, Sofie of geen van beiden?
- de amplitude is de maximale uitwijking en is 1 meter
- Ella en Sofie hebben beiden geen gelijk

b Wanneer is tijdens het schommelen de snelheid nul?
- in de uiterste stand is de snelheid nul

c Wanneer is tijdens het schommelen de snelheid maximaal?
- in de evenwichtsstand is de snelheid maximaal

d Wie heeft de grootste trillingstijd, Ella, Sofie of is de trillingstijd gelijk?
- voor de trillingstijd van een slinger geldt: $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$
- in de formule komt de massa niet voor
- de trillingstijd is voor beiden gelijk

12** **a** Bereken de trillingstijd van deze slinger.
- $\ell = 67\ \text{m}$ | $g = 9{,}81\ \text{m/s}^2$ | $T = \ldots\ \text{s}$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} \;\rightarrow\; T = 2\pi\sqrt{\frac{67}{9{,}81}} = 16{,}42 = 16\ \text{s}$

b Bereken de frequentie van deze slinger.
- $f = \frac{1}{T} \;\rightarrow\; f = \frac{1}{16{,}42} = 0{,}0609\ \text{Hz}$

13*** **a** Bereken voor iedere slinger de trillingstijd.
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$ met $\ell = 1{,}0\ \text{m} \;\rightarrow\; T = 2\pi\sqrt{\frac{1}{g}} = 2{,}0\ \text{s}$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$ met $\ell = 4{,}0\ \text{m} \;\rightarrow\; T = 2\pi\sqrt{\frac{4}{g}} = 4{,}0\ \text{s}$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$ met $\ell = 9{,}0\ \text{m} \;\rightarrow\; T = 2\pi\sqrt{\frac{9}{g}} = 6{,}0\ \text{s}$

b Bereken de verhouding van de trillingstijden.

- verhouding lentes 1 : 4 : 9
- verhouding trillingstijden 1 : √4 : √9 = 1 : 2 : 3

14**** **a** Bereken de lengte van de kabel.

- tussen het loslaten en het botsen tegen de muur voort de kogel voert ¼ trilling uit
- $\frac{1}{4}T = 2{,}6\ \text{s} \rightarrow T = 10{,}4\ \text{s}$
- $T = 10{,}4\ \text{s} \quad | \quad g = 9{,}81\ \text{m/s}^2 \quad | \quad \ell = \ldots\ \text{m}$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} \rightarrow 10{,}4 = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{9{,}81}} \rightarrow \frac{10{,}4}{2\pi} = \sqrt{\frac{\ell}{9{,}81}}$
- kwadrateren: $\left(\frac{10{,}4}{2\pi}\right)^2 = \frac{\ell}{9{,}81} \rightarrow 2{,}73972 = \frac{\ell}{9{,}81}$
- $\ell = 2{,}73972 \cdot 9{,}81 = 26{,}8767 = 27\ \text{m}$

Resonantie

15** **a** Leg uit waardoor er versterking optreedt.

- de trillende stemvork is de aandrijvende kracht voor het raam
- resonantie → het raam gaat met dezelfde frequentie meetrillen
- de amplitude van het trillende raam wordt groot
- grote amplitude → hard geluid

b Leg uit waarom dit het geval is.

- trillingsenergie wordt van de stemvork naar het raam overgedragen
- de stemvork verliest snel zijn trillingsenergie
- het raam draagt trillingsenergie over op de lucht
- het raam verliest snel zijn trillingsenergie

16** **a** Leg uit wat met resonantie wordt bedoeld.

- door een uitwendige kracht gaat een voorwerp trillen
- als de aandrijffrequentie gelijk is aan de eigenfrequentie treedt er resonantie op
- bij resonantie wordt de amplitude van het trillende voorwerp heel groot

b Bereken de lengte van slinger 2.

- het bewegen van slinger 1 is de aandrijvende kracht voor slinger 2
- resonantie: $f_{\text{eigen } 1} = f_{\text{eigen } 2}$
- slingers hebben dezelfde trillingstijd → $T_1 = T_2$
- $2\pi\sqrt{\frac{\ell_1}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{\ell_2}{g}}$ *(merk op dat de massa er niet toe doet)*
- resonantie als $\ell_1 = \ell_2 \rightarrow \ell_2 = 1{,}5\ \text{m}$

17**** **a** Bereken de massa van de auto met chauffeur.

- $s = 10\ m \quad | \quad v_{gem} = 12\ m/s \quad | \quad t = \dots s$
- $s = v_{gem} \cdot t \quad \rightarrow \quad 10 = 12 \cdot t \quad \rightarrow \quad t = 0{,}83333\ s$
- $T_{aandrijf} = T_{eigen} = 0{,}83333\ s$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}}$
- $0{,}83333 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{5{,}0 \cdot 10^4}} \quad \rightarrow \quad \frac{0{,}83333}{2\pi} = \sqrt{\frac{m}{5{,}0 \cdot 10^4}}$
- kwadrateren: $\left(\frac{0{,}83333}{2\pi}\right)^2 = \frac{m}{6{,}0 \cdot 10^4} \quad \rightarrow \quad 0{,}01759 = \frac{m}{5{,}0 \cdot 10^4}$
- $m = 0{,}01759 \cdot 5{,}0 \cdot 10^4 = 879{,}524 = 880\ kg$

b Bereken bij welke snelheid er nu resonantie optreedt.

- $m_{nieuw} = 880 + 150 = 1030\ kg$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{1030}{5{,}0 \cdot 10^4}} = 0{,}9018\ s$
- $s = 10\ m \quad | \quad t = 0{,}9018\ s \quad | \quad v_{gem} = \dots m/s$
- $s = v_{gem} \cdot t$
- $10 = v_{gem} \cdot 0{,}9018 \quad \rightarrow \quad v_{gem} = 11\ m/s$

7.3 Lopende golven

1** **a** Leg uit of deze golf transversaal of longitudinaal is.
- de beweging van de mensen is verticaal en de golf beweegt horizontaal
- het is een transversale golf

b Bereken de snelheid waarmee de golf beweegt.
- $s = 50\ \text{cm} = 0{,}50\ \text{m} \quad | \quad t = 0{,}40\ \text{s} \quad | \quad v_{gem} = \ldots \text{m/s}$
- $s = v_{gem} \cdot t$
- $v_{gem} = \dfrac{0{,}5}{0{,}4} = 1{,}25\ \text{m/s}$

c Bereken hoe lang de golf erover doet om één keer rond te gaan.
- $s = 400\ \text{m} \quad | \quad v = 1{,}25\ \text{m/s} \quad | \quad t = \ldots \text{s}$
- $s = v_{gem} \cdot t \quad \rightarrow \quad 400 = 1{,}25 \cdot t \quad \rightarrow \quad t = 320\ \text{s}$

2** **a** Leg uit of de eendjes hierdoor horizontaal of verticaal gaan bewegen.
- de golf is transversaal
- de eendjes gaan verticaal bewegen

b Leg uit of de afstand tussen de kuikens na de golf groter is geworden, kleiner is geworden of gelijk is gebleven.
- de beweging van de eend en de kuikens is alleen verticaal
- als de golf voorbij is is de afstand tussen de kuikens gelijk gebleven

3*** **a** Leg uit hoe punt A zijn beweging is begonnen, vanuit de evenwichtsstand omhoog of omlaag.
- de golf beweegt van links naar rechts
- aan de rechterkant begint het koord omlaag te bewegen
- punt A is ook begonnen met een beweging omlaag

b Bepaal hoeveel trillingen B heeft uitgevoerd.
- kijk van rechts naar links (tegen de bewegingsrichting van de golf)
- tel 1¾ trilling
- B heeft 1¾ trilling uitgevoerd

c Bepaal hoeveel trillingen C heeft uitgevoerd.
- kijk van rechts naar links (tegen de bewegingsrichting van de golf)
- tel ½ trilling
- C heeft ½ trilling uitgevoerd

d De snelheid van punt B is op dit moment nul. Leg dit uit.
- B heeft de maximale uitwijking
- B gaat omlaag bewegen, zijn bewegingsrichting keert om
- op dat moment staat punt B heel even stil

e Geef met een pijl de richting van de snelheid van punt C aan.
- kijk aan de linkerkant van C (tegen de richting van de golf)
- er komt een golfberg aan
- C gaat omhoog bewegen
- teken een pijl die begint in punt C en verticaal omhoog gaat

f Leg uit of de hoeveelheid energie in het koord groter wordt, kleiner wordt of gelijk blijft.
- er is geen demping → de energie in het koord blijft gelijk

g Leg uit of de amplitude waarmee punt C trilt groter, kleiner of gelijk is aan de amplitude van punt B.
- er is geen demping
- alle punten van het koord hebben dezelfde amplitude

h Leg uit of de hoeveelheid energie in het koord groter wordt, kleiner wordt of gelijk blijft.
- er is demping
- energie wordt omgezet in warmte → de energie in het koord wordt kleiner

i Leg uit of de amplitude waarmee punt C trilt groter, kleiner of gelijk is aan de amplitude van punt B.
- er is demping
- grotere afstand van de trillingsbron
- in de tijd waarin de golf van B naar C beweegt verliest het koord energie
- C heeft een kleinere amplitude dan B

4* **a** Hoe groot is de frequentie?
- $f = \frac{1}{T} \quad \rightarrow \quad f = \frac{1}{5} = 0{,}20\,\text{Hz}$

b Hoe groot is de golfsnelheid?
- $f = 0{,}20\,\text{Hz} \quad | \quad \lambda = 7{,}5\,\text{m} \quad | \quad v_{golf} = \ldots\,\text{m/s}$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- $v_{golf} = 0{,}2 \cdot 7{,}5 = 1{,}5\,\text{m/s}$

5** **a** Hoe lang doet de golf erover om van het schip naar de oever te gaan?
- $v_{golf} = 2{,}3\,\text{m/s} \quad | \quad s = 46\,\text{m} \quad | \quad t = \ldots\,\text{s}$

- $s = v_{gem} \cdot t$ met $v_{gem} = v_{golf}$
- $46 = 2{,}3 \cdot t \rightarrow t = 20\ s$

b Bereken de golflengte van de golf.

- $T = 0{,}80\ s \rightarrow f = \dfrac{1}{0{,}8} = 1{,}25\ Hz$
- $f = 1{,}25\ Hz$ | $v_{golf} = 2{,}3\ m/s$ | $\lambda = \ldots m$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- $2{,}3 = 1{,}25 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 1{,}84\ m$

c Hoeveel golven zijn er tussen het schip en de oever?

- $\lambda = 1{,}84\ m$ | $s = 46\ m$ | aantal golven $= \ldots$
- aantal golven $= \dfrac{46}{1{,}84} = 25$

6** **a** Bepaal de golflengte.

- aflezen: 3 golven in 60 m
- de golflengte is $\dfrac{60}{3} = 20\ m$

b Bepaal de amplitude.

- aflezen: de amplitude is 4,5 m

c Hoe groot is de frequentie?

- $v_{golf} = 840\ m/s$ | $\lambda = 20\ m$ | $f = \ldots Hz$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda \rightarrow 840 = 20 \cdot f \rightarrow f = 42\ Hz$

7** **a** Bepaal de golflengte.

- aflezen: 2,5 golven in 24 cm
- de golflengte is $\dfrac{0{,}24}{2{,}5} = 0{,}096\ m$

b Bepaal de amplitude.

- aflezen: de amplitude is 22,5 cm

c Hoe groot is de golfsnelheid?

- $f = 50\ Hz$ | $\lambda = 0{,}096\ m$ | $v_{golf} = \ldots m/s$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda \rightarrow v_{golf} = 50 \cdot 0{,}096 = 4{,}8\ m/s$

8* a** Bepaal de golflengte.

- je ziet één golf
- opmeten $\lambda = 3{,}7\text{cm}$
- 20 keer verkleind $\rightarrow \lambda = 20 \cdot 3{,}7 = 74\text{ cm} = 0{,}74\text{ m}$

b Bepaal de golfsnelheid.

- opmeten: afstand tussen voorkanten van de golf bij de bovenste en onderste foto
- $s = 6{,}2\text{ cm} \rightarrow$ 20 keer verkleind $\rightarrow s = 20 \cdot 6{,}2 = 124\text{ cm}$
- $s = 1{,}24\text{ m} \;|\; t = 0{,}40\text{ s} \;|\; v_{gem} = \ldots\text{ m/s}$
- $s = v_{gem} \cdot t \rightarrow 1{,}24 = v_{gem} \cdot 0{,}4 \rightarrow v_{gem} = v_{golf} = 3{,}1\text{ m/s}$

c Bereken de frequentie.

- $\lambda = 0{,}74\text{ m} \;|\; v_{golf} = 3{,}1\text{ m/s} \;|\; f = \ldots\text{Hz}$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda \rightarrow 3{,}1 = f \cdot 0{,}74 \rightarrow f = 4{,}189 = 4{,}2\text{ Hz}$

d Hoe lang heeft punt A getrild?

- er is één golf gemaakt
- A heeft één periode getrild
- $T = \dfrac{1}{f} \rightarrow T = \dfrac{1}{4{,}189} = 0{,}2387 = 0{,}24\text{ s}$

e Bepaal hoeveel tijd er is verstreken tussen het moment waarop A in trilling is gebracht en het moment waarop de onderste opname is gemaakt.

- opmeten: afstand van punt A tot de voorkant van de golf bij de onderste foto
- $s = 12{,}3\text{ cm} \;|\;$ 20 keer verkleind $\rightarrow s = 20 \cdot 12{,}3 = 246\text{ cm}$
- $s = 2{,}46\text{ m} \;|\; v_{golf} = v_{gem} = 3{,}1\text{ m/s} \;|\; t = \ldots\text{s}$
- $s = v_{gem} \cdot t \rightarrow 2{,}46 = 3{,}1 \cdot t \rightarrow t = 0{,}7935 = 0{,}79\text{ s}$

9* a** Bereken de golfsnelheid van de tsunami.

- $s = 9000\text{ km} \;|\; t = 12{,}5\text{ h} \;|\; v_{gem} = \ldots\text{km/h}$
- $s = v_{gem} \cdot t \rightarrow 9000 = v_{gem} \cdot 12{,}5 \rightarrow v_{gem} = v_{golf} = 720\text{ km/h}$

b Leg uit waarom de frequentie niet verandert.

- bij een golf wordt de trilling van een trillingsbron doorgegeven aan de omgeving
- de frequentie wordt bepaald door de trillingsbron en verandert onderweg niet

c Leg uit of in ondiep water de golflengte groter of kleiner wordt.

- $v_{golf} = C \cdot \sqrt{d}$ d wordt kleiner en C blijft constant $\rightarrow v_{golf}$ wordt kleiner
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- v_{golf} wordt kleiner en f blijft constant $\rightarrow \lambda$ wordt kleiner

10**** **a** Beredeneer of A op t=0 omhoog of omlaag begon te bewegen.

- het (u, t)-diagram van punt P is gegeven *LET OP: dit is geen (u, x)-diagram!*
- op t = 3,0 ms begint P omlaag te bewegen
- P volgt A dus op t=0 is punt A ook begonnen met een beweging omlaag

b Bepaal de amplitude van de lopende golf.

- aflezen: A = 1,1 cm (marge van 0,05 cm)

c Bepaal de golflengte van de lopende golf.

- in 3,0 ms beweegt de golf van A naar punt P op 1,8 m afstand
- $s = 1{,}8\ \text{m} \quad | \quad t = 0{,}0030\ \text{s} \quad | \quad v_{gem} = \ldots\ \text{m/s}$
- $s = v_{gem} \cdot t \quad \rightarrow \quad 1{,}8 = v_{gem} \cdot 0{,}003 \quad \rightarrow \quad v_{gem} = 600\ \text{m/s}$
- aflezen: 2 trillingen in $10{,}5 - 3 = 7{,}5\ \text{ms} \rightarrow T = \frac{7{,}5}{2} = 3{,}75\ \text{ms} = 0{,}00375\ \text{s}$
- $f = \frac{1}{T} \quad \rightarrow \quad f = \frac{1}{0{,}00375} = 266{,}667\ \text{Hz}$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- $600 = 266{,}667 \cdot \lambda \quad \rightarrow \quad \lambda = 2{,}25\ \text{m}$

7.4 Interferentie

1** **a** Leg uit wanneer twee trillingsbronnen coherent zijn.
- ze hebben dezelfde frequentie
- ze hebben dezelfde amplitude
- ze beginnen op hetzelfde moment aan een nieuwe trilling

b Leg uit of de golven uit A en B elkaar in P_1 versterken of verzwakken.
- P_1 ligt op een golfdal van bron A en op een golfdal van bron B
- er treedt versterking op (constructieve interferentie)

c Leg uit of de golven uit A en B elkaar in P_2 versterken of verzwakken.
- P_2 ligt op een golfberg van bron A en op een golfberg van bron B
- er treedt versterking op (constructieve interferentie)

d Leg uit of de golven uit A en B elkaar in P_3 versterken of verzwakken.
- P_3 ligt op een golfdal van bron A en op een golfberg van bron B
- er treedt verzwakking op (destructieve interferentie)

2** **a** Schets de buiklijnen in het linker figuur.
- buiklijnen: faseverschil is n met n = 0, 1, 2, 3, • • •
- buiklijnen gaan door de snijpunten van twee groene getrokken cirkels en door de snijpunten van twee blauwe gestreepte cirkels

b Schets de knooplijnen in het rechter figuur.
- knooplijnen: faseverschil is n+½ met n = 0, 1, 2, 3, • • •
- knooplijnen gaan door de snijpunten van een groene getrokken cirkel en een blauwe gestreepte cirkel

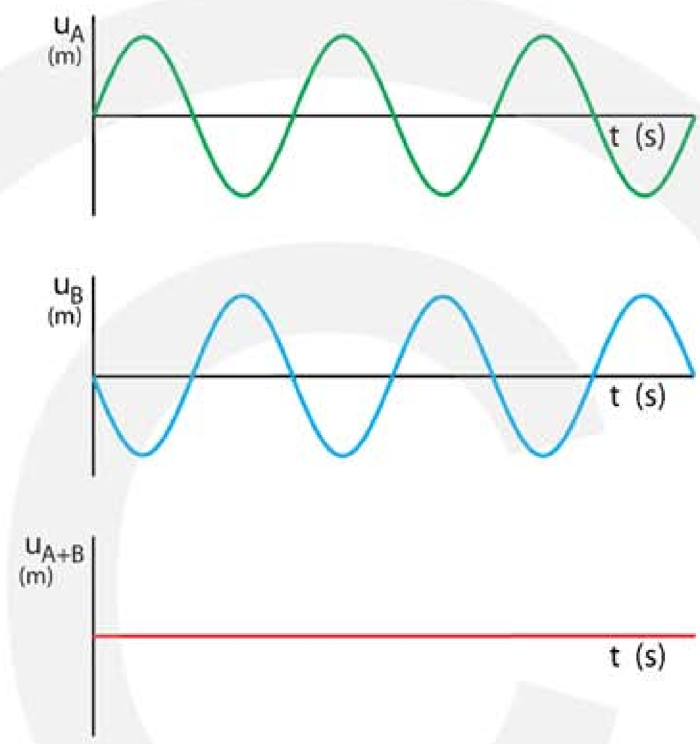
3*** **a** Leg uit hoe het patroon verandert als de frequentie van de trillingsbronnen toeneemt en de golfsnelheid gelijk blijft.
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- v_{golf} blijft gelijk | f neemt toe $\rightarrow$ λ wordt kleiner
- de afstand tussen buiklijnen en knooplijnen neemt af

b Leg uit hoe het patroon verandert als de golfsnelheid toeneemt en de frequentie gelijk blijft.
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- v_{golf} neemt toe | f blijft gelijk $\rightarrow$ λ wordt groter
- de afstand tussen buiklijnen en knooplijnen neemt toe

4* a** Ligt punt P op een buiklijn of op een knooplijn?

- de golf uit B gaat omlaag als de golf uit A omhoog gaat
- P ligt op een knooplijn

b Schets het (u, t)-diagram in punt P veroorzaakt door de bronnen A en B samen.

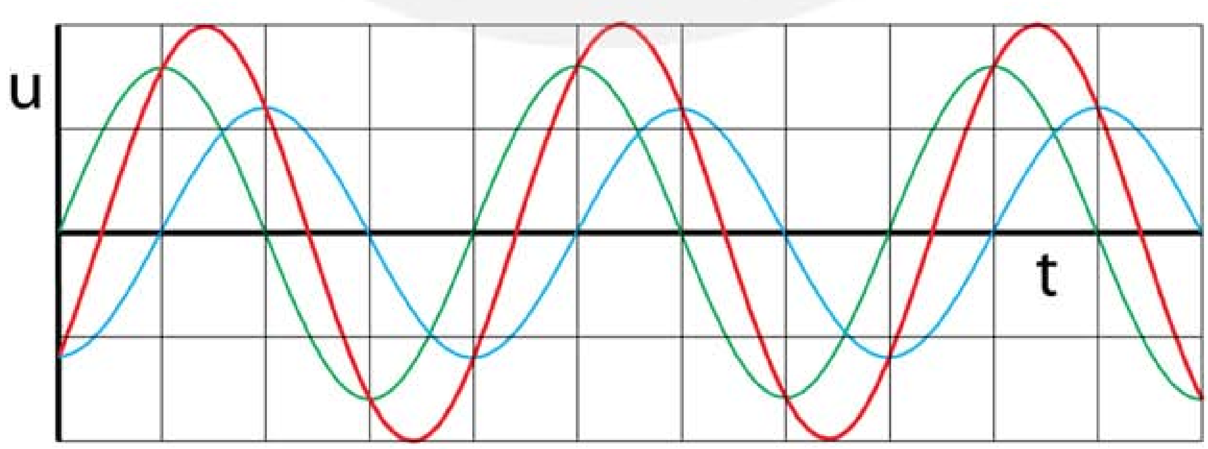


5** a** Ligt punt P op een buiklijn, op een knooplijn of tussen een buiklijn en een knooplijn in?

- de golf uit A en B versterken elkaar niet en doven elkaar ook niet uit
- P ligt tussen een buiklijn en een knooplijn

b Schets in de figuur het (u, t)-diagram veroorzaakt door de bronnen A en B samen.

- op ieder tijdstip is de uitwijking de som van de uitwijking van golf A en golf B



6** a** Leg dit uit.

- de microfoon zendt golfbergen en golfdalen uit
- een golfberg die via de linkerbuis gaat ontmoet in M een golfberg die één periode eerder is uitgezonden en via de rechterbuis is gegaan
- in M komen twee golfbergen elkaar tegen
- dit geeft een verdubbeling van de amplitude → versterking

b Wat gebeurt er met de golven als het verschil in afstand gelijk is aan de helft van de golflengte?

- de microfoon zendt golfbergen en golfdalen uit
- een golfberg die via de linkerbuis gaat ontmoet in M een golfdal die één periode eerder is uitgezonden en via de rechterbuis is gegaan
- in M komt een golfberg een golfdal tegen
- de amplitude wordt nul → uitdoving

c Hoe groot is het verschil in afstand als de golven elkaar versterken?

- $f = 500\,\text{Hz} \quad | \quad v_{golf} = 343\,\text{m/s} \quad | \quad \lambda = \ldots\,\text{m}$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda \quad \rightarrow \quad 343 = 500 \cdot \lambda \quad \rightarrow \quad \lambda = 0{,}686\,\text{m}$
- bij versterking is het verschil in afstand 0,686 m

d Hoe groot is het verschil in afstand als de golven elkaar uitdoven?

- bij uitdoving is het verschil in afstand de helft van de golflengte
- bij uitdoving is het verschil in afstand $\frac{0{,}686}{2} = 0{,}343\,\text{m}$

e Hoever moet de linkerbuis worden uitgetrokken om voor de eerste keer uitdoving te krijgen?

- eerste uitdoving → verschil in afstand de helft van de golflengte → 0,343 m
- de buis moet $\frac{0{,}343}{2} = 0{,}1715 = 0{,}17\,\text{m}$ worden uitgetrokken

f Hoever moet de linkerbuis worden uitgetrokken om voor de tweede keer uitdoving te krijgen?

- tweede keer uitdoving → het verschil in afstand is 1½ keer de golflengte
- $1{,}5 \cdot 0{,}686 = 1{,}029\,\text{m}$
- de buis moet $\frac{1{,}029}{2} = 0{,}5145 = 0{,}51\,\text{m}$ worden uitgetrokken

7.5 Geluid

1** **a** Bereken de trillingstijd van je trommelvlies als je deze frequentie hoort.

- $f = 4{,}5 \cdot 10^3$ Hz | $T = \ldots$ s
- $f = \dfrac{1}{T} \rightarrow T = \dfrac{1}{f}$
- $T = \dfrac{1}{4{,}5 \cdot 10^3} = 2{,}2222 \cdot 10^{-4} = 2{,}2 \cdot 10^{-4}$ s

b Bereken de trillingstijd van je trommelvlies als je de hoogste toon en als je de laagste toon hoort.

- hoogste toon $\rightarrow f = 20 \cdot 10^3$ Hz | $T = \ldots$ s
- $T = \dfrac{1}{20 \cdot 10^3} = 5{,}0 \cdot 10^{-5}$ s
- laagste toon $\rightarrow f = 20$ Hz | $T = \ldots$ s
- $T = \dfrac{1}{20} = 5{,}0 \cdot 10^{-2}$ s

2** **a** Bereken de golflengte in lucht bij een temperatuur van 20°C.

- $f = 261{,}63$ Hz | $v_{geluid} = 343$ m/s | $\lambda = \ldots$ m
- $v_{golf} = f \cdot \lambda \rightarrow \lambda = \dfrac{v_{golf}}{f}$
- $\lambda = \dfrac{332}{261{,}63} = 1{,}269 = 1{,}27$ m

b Leg uit of de stemvork bij deze temperatuur hogere toon, een lagere toon of dezelfde toonhoogte geeft.

- de frequentie is de eigenfrequentie van de stemvork
- de eigenfrequentie is onafhankelijk van de temperatuur
- de stemvork geeft bij 0 °C dezelfde toonhoogte

c Bereken de golflengte in lucht bij een temperatuur van 0 °C.

- $f = 261{,}63$ Hz | $v_{geluid} = 332$ m/s | $\lambda = \ldots$ m
- $v_{golf} = f \cdot \lambda \rightarrow \lambda = \dfrac{v_{golf}}{f}$
- $\lambda = \dfrac{343}{261{,}63} = 1{,}311 = 1{,}31$ m

3** **a** Bereken de frequentie van de toon.

- $v_{geluid} = 343\ m/s \quad | \quad \lambda = 780\ mm = 0{,}78\ m \quad | \quad f = \ldots Hz$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda \quad \rightarrow \quad f = \frac{v_{golf}}{\lambda}$
- $f = \frac{343}{0{,}78} = 439{,}74 = 440\ Hz$

b Bereken de golflengte van dezelfde toon in millimeter.

- $f = 261{,}63\ Hz \quad | \quad v_{geluid} = 354\ m/s \quad | \quad \lambda = \ldots m$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda \quad \rightarrow \quad \lambda = \frac{v_{golf}}{f}$
- $\lambda = \frac{354}{439{,}74} = 0{,}805\ m = 805\ mm$

4** **a** Bereken de golflengte van deze toon in zeewater.

- $f = 800\ Hz \quad | \quad v_{geluid} = 1510\ m/s \quad | \quad \lambda = \ldots m$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda \quad \rightarrow \quad \lambda = \frac{v_{golf}}{f}$
- $\lambda = \frac{1510}{800} = 1{,}8875\ m = 1{,}89\ m$

b Bereken de golflengte van deze toon in lucht als T = 20 °C.

- $f = 800\ Hz \quad | \quad v_{geluid} = 343\ m/s \quad | \quad \lambda = \ldots m$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda \quad \rightarrow \quad \lambda = \frac{v_{golf}}{f}$
- $\lambda = \frac{343}{800} = 0{,}42875\ m = 0{,}429\ m$

5** **a** Bereken de frequentie van deze toon.

- $v_{golf} = 1510\ m/s \quad | \quad \lambda = 25\ mm = 0{,}025\ m \quad | \quad f = \ldots Hz$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda \quad \rightarrow \quad 1510 = f \cdot 0{,}025 \quad \rightarrow \quad f = 60400\ Hz \quad = 60{,}4\ kHz$

b Bereken de golflengte van een toon van 14 Hz.

- $v_{golf} = 343\ m/s \quad | \quad f = 14\ Hz \quad | \quad \lambda = \ldots m$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda \quad \rightarrow \quad 343 = 14 \cdot \lambda \quad \rightarrow \quad \lambda = 24{,}5\ m$

6*** **a** Leg uit waarom ze niet één maar twee klappen hoort

- het geluid door de rails is eerder bij Cato dan het geluid door de lucht
- Cato hoort eerst de klap van het geluid door de rails
- Cato hoort daarna de klap van het geluid door de lucht

b Bereken hoeveel tijd er zit tussen de klappen.
- $s = 150\ m$ | $v_{golf\ lucht} = 343\ m/s$ | $v_{golf\ ijzer} = 5100\ m/s$ | $t = \ldots s$
- door de lucht: $s = v_{gem} \cdot t \rightarrow 150 = 343 \cdot t \rightarrow t = 0{,}43718\ s$
- door het ijzer: $s = v_{gem} \cdot t \rightarrow 150 = 5100 \cdot t \rightarrow t = 0{,}029412\ s$
- verschil: $\Delta t = 0{,}43718 - 0{,}029412 = 0{,}407768 = 0{,}41\ s$

c Leg uit of Cato één of twee verschillende toonhoogten hoort.
- de frequentie wordt bepaald door de trillingsbron
- Cato hoort maar één toonhoogte

d Bereken de golflengte van de toon in ijzer.
- 18.000 toeren per minuut is $\frac{18000}{60} = 300$ toeren per seconden
- de frequentie van de boormachine is 300 Hz
- $f = 300\ Hz$ | $v_{golf\ ijzer} = 5100\ m/s$ | $\lambda = \ldots m$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda \rightarrow 5100 = 300 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 17\ m$

e Bereken de golflengte van de toon in lucht
- de frequentie van de boormachine is 300 Hz
- $f = 300\ Hz$ | $v_{golf\ lucht} = 343\ m/s$ | $\lambda = \ldots m$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda \rightarrow 343 = 300 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 1{,}14333 = 1{,}14\ m$

7**** **a** Bereken de afstand van Vera tot de onweerswolk.
- verticale afstand is 6,0 km | horizontale afstand is 3,0 km
- gebruik de stelling van Pythagoras
- $s = \sqrt{3^2 + 6^2} = 6{,}7082 = 6{,}7\ \text{km}$

b Bereken hoeveel tijd er zit tussen het moment waarop Vera de bliksem ziet en het eerste moment waarop ze de donder hoort.
- de bliksem slaat op 3,0 km afstand in $\rightarrow$ kortste afstand is 3000 m
- $s = 3000\ m$ | $v_{gem} = 343\ m/s$ | $t = \ldots s$
- $s = v_{gem} \cdot t \rightarrow 3000 = 343 \cdot t \rightarrow t = 8{,}74636 = 8{,}75\ s$

c Bereken hoe lang de donder aanhoudt.
- grootste afstand tot de bliksem is 6,7082 km = 6708,2 m
- $s = 6708{,}2\ m$ | $v_{gem} = 343\ m/s$ | $t = \ldots s$
- $s = v_{gem} \cdot t \rightarrow 6708{,}2 = 343 \cdot t \rightarrow t = 19{,}5574 = 19{,}56\ s$
- verschil in tijd $\Delta t = 19{,}5574 - 8{,}74636 = 10{,}811 = 10{,}8\ s$

d Leg uit wat hiervan een reden kan zijn.
- het geluid kan tegen gebouwen of bergen kaatsen voordat het in het oor komt
- in dat geval legt het geluid een grotere afstand af zodat het langer aanhoudt

De decibelschaal

8** **a** Bereken de nieuwe geluidssterkte in decibel.
- het geluid wordt 2 keer zo intens
- aantal dB neemt met 3 toe
- $54 + 3 = 57$ dB

b Hoeveel kinderen zingen er nu in totaal?
- $2 + 6 = 8$ kinderen

c Welke geluidssterkte produceren deze kinderen samen?
- het geluid wordt 8 keer zo intens
- $8 = 2 \cdot 2 \cdot 2$
- het geluid wordt 3 keer verdubbeld
- aantal dB neemt toe met $3 + 3 + 3 = 9$
- $54 + 9 = 63$ dB

9** **a** Bereken de geluidssterkte die je dan hoort.
- de intensiteit halveert
- aantal dB neemt af met 3
- $65 - 3 = 62$ dB

b Hoeveel keer sterker is het geluid van 71 dB in vergelijking met de 65 dB die er eerst was?
- van 65 naar 71 dB is 6 dB erbij
- $6 = 3 + 3$
- de intensiteit wordt 2 keer verdubbeld
- geluid van 71 dB is 4 keer zo intens dan geluid van 65 dB

10** **a** Hoeveel decibel is de geluidssterkte bij het liedje van Adele?
- het geluid wordt 2 keer zo intens
- aantal dB neemt met 3 toe
- $78 + 3 = 81$ dB

b Bereken hoeveel decibel de geluidssterkte nu is.
- het geluid wordt 10 keer zachter
- aantal dB neemt met 10 af
- $81 - 10 = 71$ dB

11** **a** Bereken hoeveel decibel je dan op de parkeerplaats hoort.
- het geluid wordt 8 keer minder intens
- $8 = 2 \cdot 2 \cdot 2$

- het geluid wordt 3 keer gehalveerd
- aantal dB neemt af met $3+3+3=9$
- $80-9=71\,\text{dB}$

b Bereken hoeveel auto's er om 12 uur 's nachts per minuut voorbij rijden.
- het verschil tussen 80 dB en 68 dB is 12 dB
- $12=3+3+3+3$
- het geluid wordt 4 keer gehalveerd
- $320 \rightarrow 160 \rightarrow 80 \rightarrow 40 \rightarrow 20$
- om 12 uur 's nachts rijden er 20 auto's per minuut voorbij

12*** **a** Leg uit wie er gelijk heeft: Anna, Bea of Carla.
- het verschil tussen 45 dB en 60 dB is 15 dB
- $15=3+3+3+3+3$
- het geluid wordt 5 keer verdubbeld
- $1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 8 \rightarrow 16 \rightarrow 32$
- Carla heeft gelijk

b Bereken hoeveel harder het geluid is geworden toen de leerlingen hardop zijn gaan praten.
- 32 keer (zie antwoord op a)

c Hoeveel decibel produceert de boze leraar?
- het geluid wordt 4 keer zo intens
- $4=2\cdot 2$
- het aantal dB neemt toe met $3+3=6$
- de geluidssterkte is $60+6=66\,\text{dB}$

d Hoeveel decibel is er nu aanwezig?
- het geluid wordt 10 keer minder intens
- het aantal dB neemt met 10 af
- de geluidssterkte is $45-10=35\,\text{dB}$

Afstand tot de geluidsbron

13** **a** Bereken de geluidssterkte op 2 meter afstand.
- de afstand wordt verdubbeld
- de geluidssterkte neemt met 6 dB af
- $97-6=91\,\text{dB}$

b Bereken de geluidssterkte op 4 meter afstand.
- de afstand wordt nogmaals verdubbeld
- de geluidssterkte neemt nogmaals met 6 dB af
- $91-6=85\,\text{dB}$

c Hoe ver moet je van de boxen gaan staan?
- afname geluidssterkte: $97 - 73 = 24$ dB
- $24 = 6 + 6 + 6 + 6$
- de afstand wordt 4 keer verdubbeld
- $1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 8 \rightarrow 16$
- je moet op 16 meter van de boxen gaan staan

d Bereken hoe ver je van de boxen moet gaan staan.
- afname geluidssterkte: $97 - 61 = 36$ dB
- $36 = 6 + 6 + 6 + 6 + 6 + 6$
- de afstand wordt 6 keer verdubbeld
- $1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 8 \rightarrow 16 \rightarrow 32 \rightarrow 64$
- je moet op 64 meter van de boxen gaan staan

14*** **a** Hoeveel decibel hoort de leraar als alleen Tim praat?
- $0{,}5 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 8$
- de afstand wordt 4 keer verdubbeld
- de geluidssterkte wordt 4 keer 6 = 24 dB minder
- $64 - 24 = 40$ dB

b Hoeveel meter heeft de leraar gelopen?
- afname geluidssterkte: $64 - 52 = 12$ dB
- $12 = 6 + 6$
- de afstand wordt 2 keer verdubbeld
- $0{,}5 \rightarrow 1 \rightarrow 2$
- de afstand van de leraar verandert van 8 naar 2 meter
- de leraar heeft 6 meter gelopen

15** **a** Leg uit of je hierdoor schade aan je oren kunt oplopen.
- gehoorschade begint bij 100 dB
- bij 120 dB kan je gehoorschade oplopen

b Hoeveel decibel hoort je vriend?
- $10 \rightarrow 20 \rightarrow 40 \rightarrow 80 \rightarrow 160 \rightarrow 320$
- de afstand wordt 5 keer verdubbeld
- de geluidssterkte wordt 5 keer 6 = 30 dB minder
- $120 - 30 = 90$ dB

16**** **a** Hoeveel procent van de geluidsenergie houdt de gehoorbescherming tegen?

- 110 dB wordt verminderd tot 80 dB → de afname is 30 dB
- 10 dB minder is factor 10
- 20 dB minder is factor 100
- 30 dB minder is factor 1000
- geluidsintensiteit wordt 1000 keer minder
- er blijft 1/1000 deel over → 99,9% wordt tegengehouden

b Op welke afstand van de drilboor moet je gaan staan om zonder gehoorbescherming aan 80 dB te worden blootgesteld.

- factor 2 toename in afstand geeft 6 dB minder geluid
- 30 dB minder is 5 keer 6 dB minder
- de afstand wordt 5 keer verdubbeld
- 1,5 → 3,0 → 6,0 → 12 → 24 → 48
- je moet op 48 meter gaan staan

17**** **a** Hoever moet je van de luidspreker gaan staan om geen gehoorbeschadiging op te lopen?

- de geluidsterkte moet 114 – 90 = 24 dB minder worden
- verdubbelen van de afstand geeft 6 dB minder geluidssterkte
- 24 dB minder → 4 keer 6 dB minder
- de afstand moet 4 keer verdubbelen
- 2 → 4 → 8 → 16 → 32
- je moet op 32 meter gaan staan

b Met hoeveel dB is de geluidssterkte door de oordopjes verminderd?

- 99% tegenhouden → 0,01 deel blijft over
- geluidsintensiteit neemt met factor 100 af
- 10 dB minder is factor 10
- 20 dB minder is factor 100
- de oordopjes houden 20 dB tegen

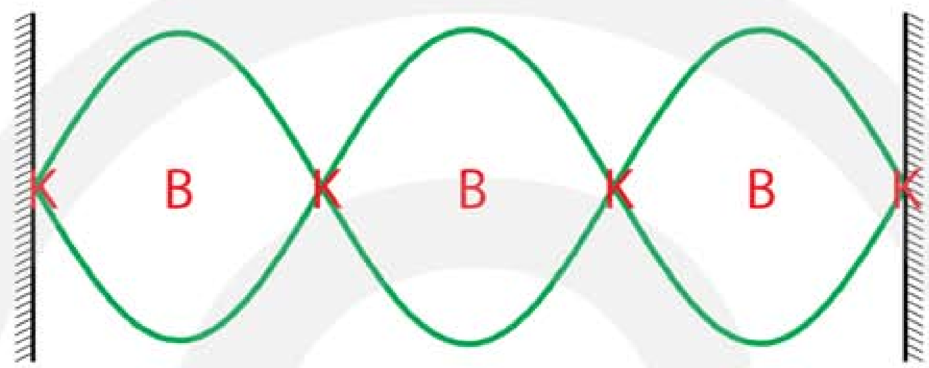
c Hoe dicht mag je met oordoppen in bij de luidspreker staan om 88 dB geluidssterkte te horen?

- oordoppen geven 20 dB vermindering
- 114 – 20 = 94 dB
- de geluidsterkte moet 94 – 88 = 6 dB minder worden
- de afstand moet 1 keer verdubbelen
- 2,0 → 4,0
- je moet op 4,0 meter gaan staan

7.6 Staande golven

Twee vaste uiteinden (snaarinstrumenten)

1** **a** Geef in de figuur de plaatsen van de buiken en van de knopen aan.



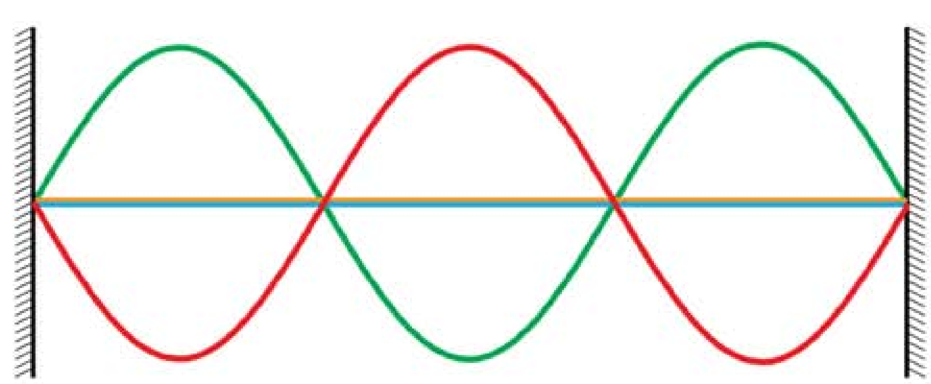
b Bepaal de golflengte van de staande golf.
- je ziet 6 keer ¼λ
- $\ell = 6 \cdot \frac{1}{4}\lambda = \frac{3}{2}\lambda$
- $2{,}4 = \frac{3}{2}\lambda \quad \rightarrow \quad \lambda = \dfrac{2 \cdot 2{,}4}{3} = 1{,}6\ \text{m}$

2** **a** Teken de stand van het koord op t = ¼ T (een kwart trillingstijd later).
- oranje lijn

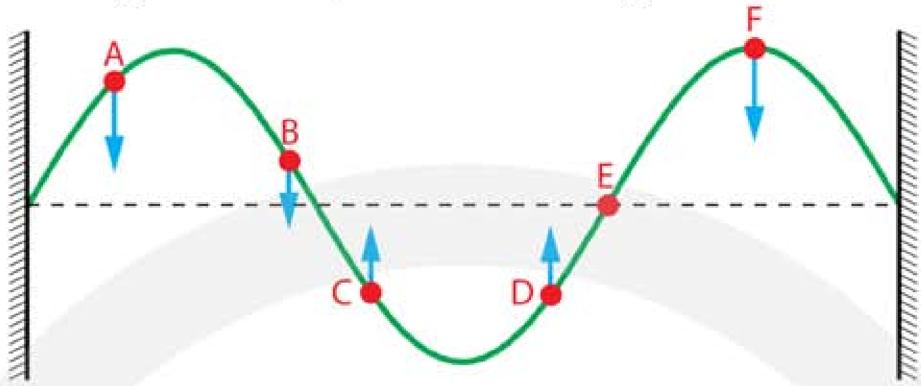
b Teken de stand van het koord op t = ½ T (een halve trillingstijd later).
- rode lijn

c Teken de stand van het koord op t = ¾ T (een ¾ trillingstijd later).
- blauwe lijn

d Teken de stand van het koord op t = T (één trillingstijd later).
- groene lijn



3* a** Teken de richtingen waarin de punten B t/m E bewegen.



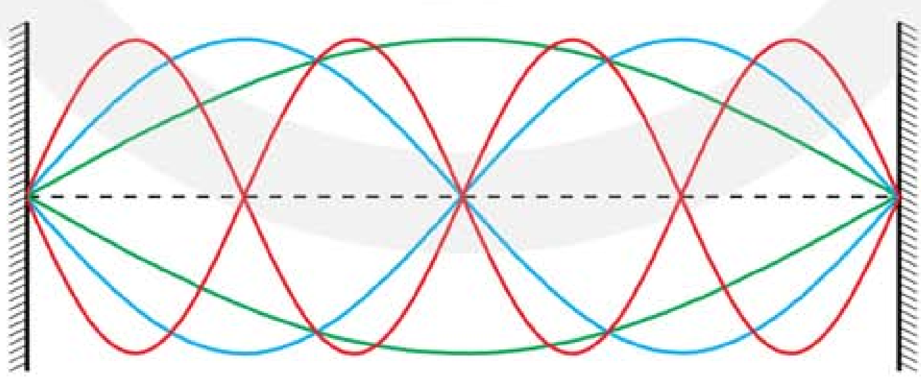
b Zet de punten A t/m F in volgorde van snelheid. Ga van de hoogste naar de laagste snelheid.
- F → A → C & D → B → E

c Wie heeft er gelijk, Timo, Lucas of geen van beiden?
- bij de uiterste stand staan alle punten in het koord stil
- Timo heeft gelijk

4* a** Teken in onderstaande figuur een staande golf met 1 buik.
- groene lijn

b Teken met een andere kleur een staande golf met 2 buiken.
- blauwe lijn

c Teken met een andere kleur een staande golf met 5 knopen.
- rode lijn



5 a** Welke boventoon deze staande golf?
- grondtoon: K – B – K
- 1e boventoon: K – B – K – B – K
- 2e boventoon: K – B – K – B – K – B – K
- 3e boventoon: K – B – K – B – K – B – K – B – K
- 4e boventoon: K – B – K – B – K – B – K – B – K – B – K
- de snaar trilt in de 4e boventoon

b Welke frequentie heeft deze boventoon met 5 buiken?

- grondtoon $f_0 = 200\,\text{Hz}$
- de 4^e boventoon heeft 5 buiken (zie vraag a)
- 1^e boventoon $\lambda_1 = \frac{1}{2}\lambda_0 \rightarrow f_1 = 2 \cdot f_0 \rightarrow f_1 = 2 \cdot 200 = 400\,\text{Hz}$
- 2^e boventoon $\lambda_2 = \frac{1}{3}\lambda_0 \rightarrow f_2 = 3 \cdot f_0 \rightarrow f_2 = 3 \cdot 200 = 600\,\text{Hz}$
- 3^e boventoon $\lambda_3 = \frac{1}{4}\lambda_0 \rightarrow f_3 = 4 \cdot f_0 \rightarrow f_3 = 4 \cdot 200 = 800\,\text{Hz}$
- 4^e boventoon $\lambda_4 = \frac{1}{5}\lambda_0 \rightarrow f_4 = 5 \cdot f_0 \rightarrow f_4 = 5 \cdot 200 = 1000\,\text{Hz}$
- de 4^e boventoon (5 buiken) heeft een frequentie van 1000 Hz

6*** **a** Bereken de golflengte van de staande golf in de snaar.

- grondtoon: K – B – K
- $\ell = 2 \cdot \frac{1}{4}\lambda = \frac{1}{2}\lambda$
- $0{,}6 = \frac{1}{2}\lambda \rightarrow \lambda = 1{,}2\,\text{m}$

b Bereken de golfsnelheid.

- $f = 300\,\text{Hz}$ | $\lambda = 1{,}2\,\text{m}$ | $v_{golf} = \ldots\,\text{m/s}$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- $v_{golf} = 300 \cdot 1{,}2 = 360\,\text{m/s}$

c Bereken de frequentie van de tweede boventoon.

- grondtoon $f_0 = 200\,\text{Hz}$
- 1^e boventoon $\lambda_1 = \frac{1}{2}\lambda_0 \rightarrow f_1 = 2 \cdot f_0 \rightarrow f_1 = 2 \cdot 300 = 600\,\text{Hz}$
- 2^e boventoon $\lambda_2 = \frac{1}{3}\lambda_0 \rightarrow f_2 = 3 \cdot f_0 \rightarrow f_2 = 3 \cdot 300 = 900\,\text{Hz}$
- de 2^e boventoon heeft een frequentie van 900 Hz

d Bereken de frequentie van de vijfde boventoon.

- grondtoon $f_0 = 300\,\text{Hz}$
- 1^e boventoon $\lambda_1 = \frac{1}{2}\lambda_0 \rightarrow f_1 = 2 \cdot f_0 \rightarrow f_1 = 2 \cdot 300 = 600\,\text{Hz}$
- 2^e boventoon $\lambda_2 = \frac{1}{3}\lambda_0 \rightarrow f_2 = 3 \cdot f_0 \rightarrow f_2 = 3 \cdot 300 = 900\,\text{Hz}$
- 3^e boventoon $\lambda_3 = \frac{1}{4}\lambda_0 \rightarrow f_3 = 4 \cdot f_0 \rightarrow f_3 = 4 \cdot 300 = 1200\,\text{Hz}$
- 4^e boventoon $\lambda_4 = \frac{1}{5}\lambda_0 \rightarrow f_4 = 5 \cdot f_0 \rightarrow f_4 = 5 \cdot 300 = 1500\,\text{Hz}$
- 5^e boventoon $\lambda_4 = \frac{1}{6}\lambda_0 \rightarrow f_4 = 6 \cdot f_0 \rightarrow f_4 = 6 \cdot 300 = 1800\,\text{Hz}$
- de 5^e boventoon heeft een frequentie van 1800 Hz

7**** **a** Met welk doel brengt een gitarist een capo aan?

- door de capo wordt het deel van de snaar dat trilt korter gemaakt
- hierdoor wordt de toon hoger

b Bereken de frequentie van de grondtoon waarmee de snaar met capo gaat trillen.

- ZONDER CAPO
- grondtoon: K – B – K
- $\ell = 2 \cdot \frac{1}{4}\lambda = \frac{1}{2}\lambda$
- $0{,}75 = \frac{1}{2}\lambda \rightarrow \lambda = 1{,}5\,\text{m}$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- $v_{golf} = 280 \cdot 1{,}5 = 420\,\text{m/s}$
- MET CAPO v_{golf} blijft gelijk | $\ell = 0{,}75 - 0{,}25 = 0{,}50\,\text{m}$
- $0{,}50 = \frac{1}{2}\lambda \rightarrow \lambda = 1{,}0\,\text{m}$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- $420 = f \cdot 1{,}0 \rightarrow f = 420\,\text{Hz}$

c Op welke plaats, gerekend vanaf de kop van de gitaar moet hij de capo zetten?

- v_{golf} blijft gelijk
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- $420 = 500 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 0{,}84\,\text{m}$
- grondtoon: K – B – K
- $\ell = 2 \cdot \frac{1}{4}\lambda = \frac{1}{2}\lambda \rightarrow \ell = \frac{1}{2} \cdot 0{,}84 = 0{,}42\,\text{m}$
- snaar heeft lengte van 0,75 m
- op afstand $0{,}75 - 0{,}42 = 0{,}33\,\text{m}$ vanaf de kop moet hij de capo zetten

8* a** Bereken de lengte van de snaar.

- bereken eerst de golflengte
- $f = 440\,\text{Hz}$ | $v_{golf} = 290\,\text{m/s}$ | $\lambda = \ldots\,\text{m}$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- $290 = 440 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 0{,}659\,\text{m}$
- grondtoon: K – B – K
- $\ell = \frac{1}{2}\lambda \rightarrow \ell = \frac{1}{2} \cdot 0{,}659 = 0{,}3295 = 0{,}330\,\text{m}$

b Op welke plaats moet de violist de snaar afklemmen?

- f twee keer zo groot $\rightarrow$ λ twee keer zo klein, want v_{golf} blijft gelijk
- hij moet de snaar precies in het midden afklemmen

c Op welke afstand van de kam moet hij de snaar afklemmen?

- $f = 587\,\text{Hz}$ | $v_{golf} = 290\,\text{m/s}$ | $\lambda = \ldots\,\text{m}$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- $290 = 587 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 0{,}494\,\text{m}$
- grondtoon: K – B – K
- $\ell = \frac{1}{2}\lambda \rightarrow \ell = \frac{1}{2} \cdot 0{,}494 = 0{,}247\,\text{m}$
- hij moet de snaar op 24,7 cm van de kam afklemmen

9**** **a** Leg uit of bij het stemmen van een piano de lengte van de snaar verandert.

- de snaar is aan beide kanten ingeklemd
- de lengte van de snaar verandert niet

b Leg uit waarom dit het geval is.

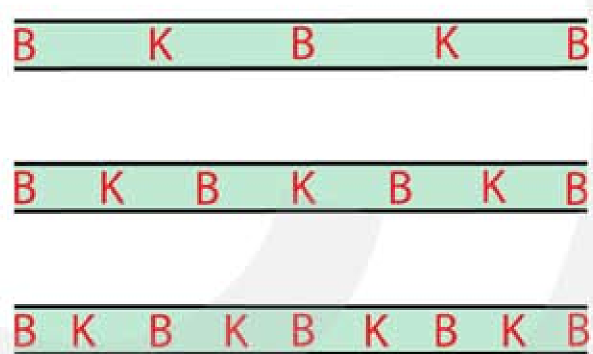
- de lengte van de snaar verandert niet
- grondtoon: $\ell = \frac{1}{2}\lambda \;\rightarrow\; \lambda = 2 \cdot \ell$ de golflengte verandert ook niet
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- f moet groter worden, λ blijft gelijk $\rightarrow$ v_{golf} moet groter worden

c Leg uit wie er gelijk heeft, Victor, Mats of geen van beiden.

- v_{golf} moet groter worden
- $v_{golf} = \sqrt{\dfrac{F_S \cdot \ell}{m}} \;\rightarrow\;$ F_S moet groter worden $\rightarrow$ Mats heeft gelijk

Twee losse uiteinden (orgelpijp)

10** **a** Geef met letter B de plaatsen van de buiken en met letter K de plaatsen van de knopen aan voor de 1ᵉ de 2ᵉ en de 3ᵉ boventoon.



1ᵉ

2ᵉ

3ᵉ

b Bereken de frequentie van de grondtoon.

- 2ᵉ boventoon: B – K – B – K – B – K – B $\rightarrow \ell = 6 \cdot \frac{1}{4}\lambda = \frac{3}{2}\lambda \;\rightarrow\; \lambda = \frac{2}{3} \cdot \ell$
- grondtoon: B – K – B $\rightarrow \ell = 2 \cdot \frac{1}{4}\lambda = \frac{1}{2}\lambda \;\rightarrow\; \lambda = 2 \cdot \ell$
- bij de grondtoon is de golflengte 3x groter dan bij de 2ᵉ boventoon
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- vgolf blijft gelijk, λ wordt 3x groter $\rightarrow$ f wordt 3x kleiner
- grondtoon: $f_0 = \dfrac{300}{3} = 100\ \text{Hz}$

c Bereken de frequenties van de 1ᵉ en van de 3ᵉ boventoon.

- grondtoon: B – K – B
- 1ᵉ boventoon: B – K – B – K – B
- 3ᵉ boventoon: B – K – B – K – B – K – B – K – B
- 1ᵉ boventoon: golflengte 2x zo klein $\rightarrow$ frequentie 2x zo groot
- $f_0 = 100\ \text{Hz} \;\rightarrow\; f_1 = 2 \cdot 100 = 200\ \text{Hz}$
- 3ᵉ boventoon: golflengte 4x zo klein $\rightarrow$ frequentie 4x zo groot
- $f_0 = 100\ \text{Hz} \;\rightarrow\; f_3 = 4 \cdot 100 = 400\ \text{Hz}$

11** **a** Leg uit waarom je door alle gaatjes dicht te maken de laagste toon krijgt.
- als alle gaatjes dicht zijn heeft de luchtkolom de grootste lengte
- grootste lengte $\rightarrow$ grootste golflengte
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- hoe groter λ is hoe kleiner f wordt
- alle gaatjes dicht geeft de kleinste frequentie en dus de laagste toon

b Bereken hoe lang de fluit is van de inkeping tot het uiteinde aan de rechterkant.
- grondtoon: B – K – B
- $f = 523\,Hz$ | $v_{golf} = 343\,m/s$ | $\lambda = \ldots m$
- $343 = 523 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 0{,}65583\,m$
- $\ell = \frac{1}{2}\lambda \rightarrow \ell = \frac{1}{2} \cdot 0{,}65583 = 0{,}3279 = 0{,}328\,m$

c Welke gaatjes moet je dicht houden als je een G speelt met een frequentie van 784 Hz?
- $f = 784\,Hz$ | $v_{golf} = 343\,m/s$ | $\lambda = \ldots m$
- $343 = 784 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 0{,}4375\,m$
- $\ell = \frac{1}{2}\lambda \rightarrow \ell = \frac{1}{2} \cdot 0{,}4375 = 0{,}21875 = 0{,}219\,m$
- gebruik de verhouding: $\frac{0{,}219}{0{,}328} = 0{,}667$ van de lengte van de fluit
- bij de g heeft de luchtkolom een lengte van 2/3 van de fluit
- opmeten lengte fluit vanaf de inkeping is 13 cm
- lengte luchtkolom is $\frac{2}{3} \cdot 13 = 8{,}667\,cm$
- er moet een buik komen bij het vijfde gaatje
- je moet de bovenste 4 gaatjes dicht houden
- *(door de bouw van het instrument moet je in werkelijkheid de bovenste 3 gaatjes dichthouden om een buik bij het 5e gaatje te laten ontstaan)*

12*** **a** Leg uit of je deze toon kunt horen.
- de frequentie is kleiner dan 20 Hz
- de toon is niet te horen
- *(je kunt de luchttrilling wel voelen)*

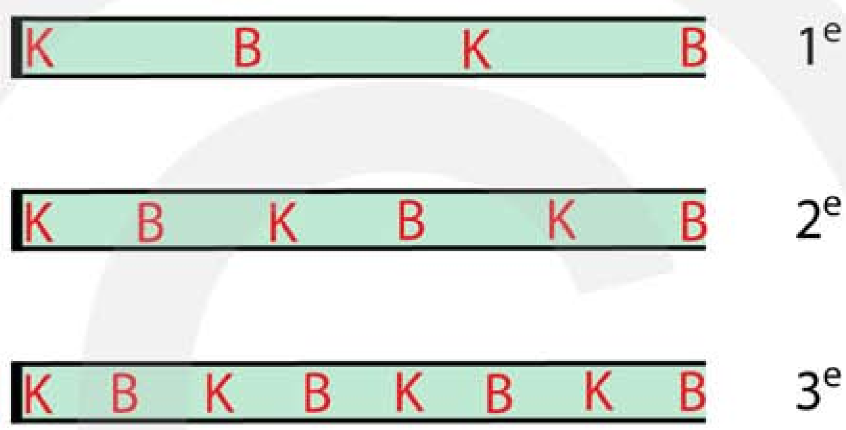
b Bereken de lengte van de langste orgelpijp van de inkeping tot het uiteinde.
- $f = 16{,}35\,Hz$ | $v_{golf} = 343\,m/s$ | $\lambda = \ldots m$
- $343 = 16{,}35 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 20{,}9786\,m$
- $\ell = \frac{1}{2}\lambda \rightarrow \ell = \frac{1}{2} \cdot 20{,}9786 = 10{,}489 = 10{,}5\,m$

c Bereken de lengte van de kortste orgelpijp van de inkeping tot het uiteinde.
- $f = 1318{,}5\,Hz$ | $v_{golf} = 343\,m/s$ | $\lambda = \ldots m$
- $343 = 1318{,}5 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 0{,}26014\,m$
- $\ell = \frac{1}{2}\lambda \rightarrow \ell = \frac{1}{2} \cdot 0{,}26014 = 0{,}13007 = 0{,}130\,m$

d Leg uit hoe verschillende registers verschillende klanken kunnen maken.
- de pijpen in de verschillende registers zijn verschillend waardoor ze een andere combinatie van boventonen voortbrengen
- de combinatie van boventonen bepaalt de klank

Een vast en een los uiteinde

13*** **a** Geef met letter B de plaatsen van de buiken en met letter K de plaatsen van de knopen aan voor de 1ᵉ de 2ᵉ en de 3ᵉ boventoon.



b Bereken de frequentie van de grondtoon.
- grondtoon: K – B
- 1ᵉ boventoon: K – B – K – B
- de golflengte van de grondtoon is 3x zo groot als die van de 1ᵉ boventoon
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$ | v_{golf} blijft gelijk
- de frequentie van de grondtoon is 3x zo klein als die van de 1ᵉ boventoon
- $f_0 = \frac{1}{3} \cdot f_1 \quad \rightarrow \quad f_0 = \frac{1}{3} \cdot 300 = 100\,Hz$

c Bereken de frequenties van de 2ᵉ, de 3ᵉ en de 4ᵉ boventoon.
- grondtoon: K – B
- 1ᵉ boventoon: K – B – K – B
- 2ᵉ boventoon: K – B – K – B – K – B
- 3ᵉ boventoon: K – B – K – B – K – B – K – B
- 4ᵉ boventoon: K – B – K – B – K – B – K – B – K – B
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$ | v_{golf} blijft gelijk
- 2ᵉ boventoon: golflengte is 5 keer zo klein $\rightarrow \; f_2 = 5 \cdot f_0 \quad \rightarrow \quad f_2 = 5 \cdot 100 = 500\,Hz$
- 3ᵉ boventoon: golflengte is 7 keer zo klein $\rightarrow \; f_2 = 7 \cdot f_0 \quad \rightarrow \quad f_2 = 7 \cdot 100 = 700\,Hz$
- 4ᵉ boventoon: golflengte is 9 keer zo klein $\rightarrow \; f_2 = 7 \cdot f_0 \quad \rightarrow \quad f_2 = 9 \cdot 100 = 900\,Hz$

14** **a** Heeft deze luchtkolom twee open uiteinden of een open en een dicht uiteinde?
- evenveel knopen als buiken is
- er is een open en een dicht uitende

b Welke boventoon is aanwezig in de buis?
- grondtoon: K – B
- 1^e boventoon: K – B – K – B
- 2^e boventoon: K – B – K – B – K – B
- de tweede boventoon is aanwezig

15*** **a** Bereken de frequentie van de tweede boventoon in de buis.
- grondtoon: K – B
- 1^e boventoon: K – B – K – B
- 2^e boventoon: K – B – K – B – K – B
- $\ell = 5 \cdot \frac{1}{4}\lambda$
- $0{,}60 = \frac{5}{4}\lambda \rightarrow \lambda = \dfrac{4 \cdot 0{,}6}{5} = 0{,}48\text{ m}$
- $v_{golf} = 343\text{ m/s} \;|\; \lambda = 0{,}48\text{ m} \;|\; f = \ldots\text{Hz}$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- $343 = f \cdot 0{,}48 \rightarrow f = 714{,}58 = 715\text{ Hz}$

b Geef met letter B de plaatsen van de buiken en met letter K de plaatsen van de knopen aan voor de 4^e boventoon.
- 4^e boventoon heeft 5 buiken en 5 knopen
- 4^e boventoon: K – B – K – B – K – B – K – B – K – B

c Bereken de frequentie van de vierde boventoon in de buis.
- $\ell = 9 \cdot \frac{1}{4}\lambda$
- $0{,}60 = \frac{9}{4}\lambda \rightarrow \lambda = \dfrac{4 \cdot 0{,}6}{9} = 0{,}2667\text{ m}$
- $v_{golf} = 343\text{ m/s} \;|\; \lambda = 0{,}2667\text{ m} \;|\; f = \ldots\text{Hz}$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- $343 = f \cdot 0{,}26667 \rightarrow f = 1286{,}25 = 1{,}29 \cdot 10^3\text{ Hz}$

16*** **a** Hoe lang is de buis van een hoorn?
- $v_{golf} = 343\text{ m/s} \;|\; f = 61{,}74\text{ Hz} \;|\; \lambda = \ldots\text{m}$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- $343 = 61{,}74 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 5{,}5556\text{ m}$
- grondtoon: K – B
- $\ell = \frac{1}{4}\lambda$
- $\ell = \frac{1}{4} \cdot 5{,}5556 \rightarrow \lambda = \dfrac{5{,}5556}{4} = 1{,}38889 = 1{,}39\text{ m}$

b Bereken de frequentie van de eerste boventoon.

- grondtoon: K – B
- 1^e boventoon: K – B – K – B
- $\ell = 3 \cdot \frac{1}{4}\lambda$
- $1{,}38889 = \frac{3}{4}\lambda \quad \rightarrow \quad \lambda = \dfrac{4 \cdot 1{,}38889}{3} = 1{,}85185\ \text{m}$
- $v_{golf} = 343\ \text{m/s} \quad | \quad \lambda = 1{,}85185\ \text{m} \quad | \quad f = \ldots\ \text{Hz}$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- $343 = f \cdot 1{,}85185 \quad \rightarrow \quad f = 185{,}22 = 185\ \text{Hz}$

c Leg uit of de toon hierdoor lager of hoger wordt.

- de luchtkolom wordt korter $\rightarrow$ de golflengte wordt kleiner
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- v_{golf} blijft gelijk , λ wordt kleiner $\rightarrow$ f wordt groter
- de toon wordt hoger

d Leg uit of de toon hierdoor lager of hoger wordt.

- bij een hogere temperatuur wordt v_{golf} groter
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- v_{golf} wordt groter , λ blijft gelijk $\rightarrow$ f wordt groter

17**** **a** Bereken de frequentie van de grondtoon bij kamertemperatuur.

- grondtoon: K – B
- $\ell = \frac{1}{4}\lambda$
- $0{,}328 = \frac{1}{4}\lambda \quad \rightarrow \quad \lambda = 4 \cdot 0{,}328 = 1{,}312\ \text{m}$
- $v_{golf} = 343\ \text{m/s} \quad | \quad \lambda = 1{,}312\ \text{m} \quad | \quad f = \ldots\ \text{Hz}$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- $343 = f \cdot 1{,}312 \quad \rightarrow \quad f = 261{,}43 = 261\ \text{Hz}$

b Zoek op welke muzieknoot dit is.

- opzoeken: 261,63 Hz is muzieknoot C1

c Bereken de lengte van het kortste buisje.

- frequentie 4 keer zo groot
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- golflengte 4x zo klein
- grondtoon: K – B
- buisje 4 keer zo kort $\ell = \dfrac{0{,}328}{4} = 0{,}082\ \text{m} \quad (8{,}2\ \text{cm})$

d Bereken de frequentie van de eerste boventoon van het langste buisje.
- grondtoon: K – B
- 1[e] boventoon: K – B – K – B
- $\ell = 3 \cdot \frac{1}{4}\lambda$
- $0{,}328 = \frac{3}{4}\lambda \quad \rightarrow \quad \lambda = \dfrac{4 \cdot 0{,}328}{3} = 0{,}43733\ \text{m}$
- $v_{golf} = 343\ \text{m/s} \quad | \quad \lambda = 0{,}43733\ \text{m} \quad | \quad f = \ldots \text{Hz}$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- $343 = f \cdot 0{,}43733 \quad \rightarrow \quad f = 784{,}3 = 784\ \text{Hz}$

e Zoek op welke muzieknoot dit is.
- opzoeken: 784 Hz is muzieknoot G2

f Bereken de frequentie van de eerste boventoon van het kortste buisje.
- grondtoon: K – B
- 1[e] boventoon: K – B – K – B
- $\ell = 3 \cdot \frac{1}{4}\lambda$
- $0{,}082 = \frac{3}{4}\lambda \quad \rightarrow \quad \lambda = \dfrac{4 \cdot 0{,}082}{3} = 0{,}10933\ \text{m}$
- $v_{golf} = 343\ \text{m/s} \quad | \quad \lambda = 0{,}10933\ \text{m} \quad | \quad f = \ldots \text{Hz}$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- $343 = f \cdot 0{,}10933 \quad \rightarrow \quad f = 3137{,}2\ \text{Hz}$ (muzieknoot G4)

18**** **a** Zijn er twee gesloten uiteinden, twee open uiteinden, één open en één gesloten uiteinde, of geen van drie?
- 2x gesloten → grond: K – B – K 1[e] boventoon: K – B – K – B – K
- $f_1 = 2 \cdot f_0$
- 2x open → grond: B – K – B 1[e] boventoon: B – K – B – K – B
- $f_1 = 2 \cdot f_0$
- 1x open en 1x gesloten → grond: K – B 1[e] boventoon: K – B – K – B
- $f_1 = 3 \cdot f_0$
- er is één open en één gesloten uiteinde

b Zijn er twee gesloten uiteinden, twee open uiteinden, één open en één gesloten uiteinde, of geen van drie?
- 2[e] boventoon dicht–dicht: K – B – K – B – K – B – K
- 2[e] boventoon open–open: B – K – B – K – B – K – B
- 2[e] boventoon dicht–open: K – B – K – B – K – B
- bij open–open en bij dicht–dicht geldt: $f_2 = 3 \cdot f_0$
- bij dicht–open geldt: $f_2 = 5 \cdot f_0$
- f_2 is nooit 4 keer zo groot als f_0
- geen van drie is mogelijk

19⁺ **a** Bereken de kleinste afstand x waarbij resonantie optreedt. Geef de uitkomst in drie cijfers achter de komma.

- $f = 500\,\text{Hz}$ | $v_{golf} = 343\,\text{m/s}$ | $\lambda = \ldots\,\text{m}$
- $v_{golf} = f \cdot \lambda$
- $343 = 500 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 0{,}686\,\text{m}$
- grondtoon: K – B
- $\ell = \frac{1}{4}\lambda$
- $\ell = \frac{1}{4} \cdot 0{,}686 = 0{,}1715\,\text{m}$
- buik ligt 2,4 cm boven de rand
- $x = \ell - 0{,}024 \rightarrow x = 0{,}1715 - 0{,}024 = 0{,}1475 = 0{,}148\,\text{m}$

b Bereken hoeveel cm het waterniveau hierbij is gedaald.

- 1^e boventoon dicht–open: K – B – K – B
- $\ell = 3 \cdot \frac{1}{4}\lambda$
- $\ell = \frac{3}{4} \cdot 0{,}686 = 0{,}5145\,\text{m}$
- buik ligt 2,4 cm boven de rand
- $x = \ell - 0{,}024 \rightarrow x = 0{,}5145 - 0{,}024 = 0{,}4905\,\text{m}$
- $x_{nieuw} - x_{oud} = 0{,}4905 - 0{,}1475 = 0{,}343\,\text{m}$