

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 grootte en eenheid van de trillingstijd aangegeven?

- grootte: 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 slingeren 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 slingeren is de slinger 20 keer in punt B geweest

c Hoe groot is de trillingstijd?

- 10 slingeren in 4,0 seconde → 1 slinging in 0,40 s

d Bereken de frequentie.

- $T = 0,40 \text{ s} \quad | \quad f = \dots \text{ Hz}$
- $f = \frac{1}{T} \rightarrow f = \frac{1}{0,4} = 2,5 \text{ Hz}$

4**

a Welke frequentie heeft deze machine?

- 300 steken per minuut is $\frac{300}{60} = 5,0$ steken per seconde
- de machine heeft een frequentie van 5,0 Hz

b Met welke frequentie draait de motor?

- 2400 toeren per minuut is $\frac{2400}{60} = 40$ 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 $\frac{60}{120} = 0,50 \text{ s}$

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: $\frac{10000}{1,6} = 6250 \text{ s}$
- $t = 6250 \text{ s} = \frac{6250}{60} = 104,16667 = 104 \text{ minuten}$

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

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

b Hoeveel trillingen bevat dit signaal?

- $t = 0,20 \text{ s} \quad | \quad f = 2,1 \cdot 10^4 \text{ Hz} \quad f \text{ is aantal trillingen per seconde}$
- $\text{aantal trillingen} = 2,1 \cdot 10^4 \cdot 0,2 = 4,2 \cdot 10^3$

- 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 $\frac{1}{4}$ trilling
- een hele trilling duurt $4 \cdot 0,2 = 0,8 \text{ s}$
- $T = 0,80 \text{ s}$
- $f = \frac{1}{T} \rightarrow f = \frac{1}{0,8} = 1,25 \text{ Hz}$

- 9**** a Bereken de trillingstijd.
- 18 keer per minuut $\rightarrow$ 18 keer in 60 seconden
 - $T = \frac{60}{18} = 3,333 \text{ s}$

b Bereken de frequentie.

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

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?

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

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?

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

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 $62,5 \mu\text{s}$ (microseconde)
- één trilling duurt $\frac{62,5 \cdot 10^{-6}}{3} = 20,8333 \cdot 10^{-6} \text{ s}$

c Hoe groot is de frequentie?

- $f = \frac{1}{T} \rightarrow f = \frac{1}{20,8333 \cdot 10^{-6}} = 48000 = 4,8 \cdot 10^4 \text{ Hz}$

14***

a Hoe groot is de amplitude?

- aflezen: maximale uitwijking $\rightarrow A = 14 \text{ cm}$

b Hoe groot is de trillingstijd?

- aflezen: 3 trillingen in 20 ms (milliseconden)
- één trilling duurt $\frac{0,020}{3} = 0,006667 \text{ s}$

c Hoe groot is de frequentie?

- $f = \frac{1}{T} \rightarrow f = \frac{1}{0,006667} = 150 \text{ Hz}$

Trillingen waarnemen

15**

a Bepaal de trillingstijd.

- aflezen: er zijn 1,5 trillingen in 7 hokjes
- 1 hokje = $20 \mu\text{s}$
- 1,5 trillingen in $7 \cdot 20 = 140 \mu\text{s}$
- 1 trilling in $\frac{140}{1,5} = 93,33 \mu\text{s}$

b Bepaal de frequentie.

- $f = \frac{1}{T} \rightarrow f = \frac{1}{93,33 \cdot 10^{-6}} = 10.714 \text{ Hz} \quad (1,07 \cdot 10^4 \text{ Hz})$

c Bepaal de amplitude.

- aflezen: maximale uitwijking $\rightarrow 4,2 \text{ hokjes}$
- 1 hokje = $0,5 \text{ V}$
- 4,2 hokjes is $4,2 \cdot 0,5 = 2,1 \text{ V}$

16***

a Bepaal de trillingstijd.

- aflezen: er zijn 1,5 trillingen in 10 hokjes
- 1 hokje = $5 \mu\text{s}$
- 1,5 trillingen in $10 \cdot 5 = 50 \mu\text{s}$
- 1 trilling duurt $\frac{50}{1,5} = 33,333 = 33 \mu\text{s}$

b Bepaal de frequentie.

- $T = 33,333 \mu\text{s} = 33,333 \cdot 10^{-6} \text{ s}$
- $f = \frac{1}{T} \rightarrow f = \frac{1}{33,333 \cdot 10^{-6}} = 3,0 \cdot 10^4 \text{ Hz}$

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 $3,8 \cdot 50 = 190 \text{ ms}$

b Bepaal de frequentie.

- $T = 190 \text{ ms} = 0,19 \text{ s}$
- $f = \frac{1}{T} \rightarrow f = \frac{1}{0,19} = 5,263 = 5,3 \text{ Hz}$

c Bepaal de amplitude.

- aflezen: maximale uitwijking $\rightarrow 4,3$ hokjes
- 1 hokje = 0,2 V
- 4,3 hokjes = $4,3 \cdot 0,2 = 0,86 \rightarrow A = 0,86 \text{ V}$

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
- $11,3 \cdot 0,02 = 0,226 \text{ s}$

b Hoeveel slagen geeft het hart per minuut?

- tussen twee hoge pieken zitten 25 hokjes
- 1 hokje = 20 ms = 0,020 s

- $25 \cdot 0,02 = 0,50 \text{ s}$
 - 1 hartslag duur $0,50 \text{ s} \rightarrow$ 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
 - $1 \text{ hokje} = 200 \mu\text{s} = 200 \cdot 10^{-6} \text{ s}$
 - $12 \cdot 200 \cdot 10^{-6} = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ V} = 2,4 \text{ mV}$

7.2 Eigentrilling en resonantie

Massaveersysteem

1**

a Bereken de trillingstijd als $m = 400 \text{ g}$ en $C = 2,0 \text{ N/m}$.

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

b Bereken de trillingstijd als $m = 800 \text{ g}$ en $C = 2,0 \text{ N/m}$.

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

c Bereken de trillingstijd als $m = 400 \text{ g}$ en $C = 4,0 \text{ N/m}$.

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

2**

a Bereken de massa als $T = 1,0 \text{ s}$ en $C = 10 \text{ N/m}$.

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

b Bereken de massa als $T = 2,0 \text{ s}$ en $C = 10 \text{ N/m}$.

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

c Bereken de massa als $T = 1,0 \text{ s}$ en $C = 20 \text{ N/m}$.

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

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

3***

a Bereken de veerconstante als $T = 10 \text{ s}$ en $m = 5,0 \text{ kg}$.

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

b Bereken de veerconstante als $T = 20 \text{ s}$ en $m = 5,0 \text{ kg}$.

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

c Bereken de veerconstante als $T = 10 \text{ s}$ en $m = 10 \text{ kg}$.

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

4**

a Hoe groot is de trillingstijd van de auto?

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

b Hoe groot is de frequentie van de auto?

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

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

5***

a Bereken de massa van de stoel.

- $f = 1,0 \text{ Hz} \rightarrow T = \frac{1}{f} \rightarrow T = \frac{1}{1} = 1,0 \text{ s}$
- $T = 1,0 \text{ s} \mid C = 800 \text{ N/m} \mid m = \dots \text{ kg}$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}} \rightarrow 1 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{800}} \rightarrow \frac{1}{2\pi} = \sqrt{\frac{m}{800}}$
- kwadrateren: $\left(\frac{1}{2\pi}\right)^2 = \frac{m}{800} \rightarrow 0,02533 = \frac{m}{800}$
- $m = 0,02533 \cdot 800 = 20,264 = 20,3 \text{ kg}$

b Bereken de massa van de chauffeur.

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

6***

a Beredeneer met behulp van de formule van een massaveersysteem hoeveel extra massa je aan de veer moet hangen.

- T moet 2 keer zo groot worden
- $\sqrt{m}$ moet 2 keer zo groot worden $\rightarrow m$ 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.

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

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

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

8****

a Bereken de veerconstante van de spiraalveer.

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

b Hoe groot is de amplitude?

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

c Met welke trillingstijd gaat het blokje trillen?

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

d Hoe groot is de frequentie?

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

e Hoeveel trillingen zijn er per minuut?

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

Slinger

9**

a Bereken de trillingstijd als $\ell = 2,0$ m.

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

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

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

10**

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

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

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

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

- $T = 1,8$ minuten = 96 s | $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ | $\ell = \dots$ m
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} \rightarrow 96 = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{9,81}} \rightarrow \frac{96}{2\pi} = \sqrt{\frac{\ell}{9,81}}$
- kwadrateren: $\left(\frac{96}{2\pi}\right)^2 = \frac{\ell}{9,81} \rightarrow 233,444 = \frac{\ell}{9,81}$
- $\ell = 233,444 \cdot 9,81 = 2290$ m (2,29 km)

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

- $T = 25$ ms = $0,025$ s | $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ | $\ell = \dots$ 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: $\left(\frac{0,025}{2\pi}\right)^2 = \frac{\ell}{9,81} \rightarrow 1,583 \cdot 10^{-5} = \frac{\ell}{9,81}$
- $\ell = 1,583 \cdot 10^{-5} \cdot 9,81 = 1,553 \cdot 10^{-4}$ 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.
- $\ell = 67 \text{ m} \quad | \quad g = 9,81 \text{ m/s}^2 \quad | \quad T = \dots \text{ s}$
 - $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} \rightarrow T = 2\pi\sqrt{\frac{67}{9,81}} = 16,42 = 16 \text{ s}$
- 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 $1 : \sqrt{4} : \sqrt{9} = 1 : 2 : 3$

- 14******
- a** Bereken de lengte van de kabel.
- tussen het loslaten en het botsen tegen de muur voert de kogel voert $\frac{1}{4}$ trilling uit
 - $\frac{1}{4}T = 2,6 \text{ s} \rightarrow T = 10,4 \text{ s}$
 - $T = 10,4 \text{ s} \quad | \quad g = 9,81 \text{ m/s}^2 \quad | \quad \ell = \dots \text{ m}$

- $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} \rightarrow 10,4 = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{9,81}} \rightarrow \frac{10,4}{2\pi} = \sqrt{\frac{\ell}{9,81}}$
- 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 $\rightarrow$ het raam gaat met dezelfde frequentie meetrillen
 - de amplitude van het trillende raam wordt groot
 - grote amplitude $\rightarrow$ 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 $\rightarrow T_1 = T_2$
 - $2\pi\sqrt{\frac{\ell_1}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{\ell_2}{g}}$ 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.
- $s = 10 \text{ m} \mid v_{\text{gem}} = 12 \text{ m/s} \mid t = \dots \text{ s}$
 - $s = v_{\text{gem}} \cdot t \rightarrow 10 = 12 \cdot t \rightarrow t = 0,83333 \text{ s}$
 - $T_{\text{aandrijf}} = T_{\text{eigen}} = 0,83333 \text{ s}$
 - $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}}$
 - $0,83333 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{5,0 \cdot 10^4}} \rightarrow \frac{0,83333}{2\pi} = \sqrt{\frac{m}{5,0 \cdot 10^4}}$

- kwadrateren: $\left(\frac{0,83333}{2\pi}\right)^2 = \frac{m}{6,0 \cdot 10^4} \rightarrow 0,01759 = \frac{m}{5,0 \cdot 10^4}$
- $m = 0,01759 \cdot 5,0 \cdot 10^4 = 879,524 = 880 \text{ kg}$

b Bereken bij welke snelheid er nu resonantie optreedt.

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

7.3 Lopende golven

1* a Hoe groot is de frequentie?

- $f = \frac{1}{T} \rightarrow f = \frac{1}{5} = 0,20 \text{ Hz}$

b Hoe groot is de golfsnelheid?

- $f = 0,20 \text{ Hz} \mid \lambda = 7,5 \text{ m} \mid v_{\text{golf}} = \dots \text{ m/s}$
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$
- $v_{\text{golf}} = 0,2 \cdot 7,5 = 1,5 \text{ m/s}$

2** 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.

- $s = 50 \text{ cm} = 0,50 \text{ m} \mid t = 0,40 \text{ s} \mid v_{\text{gem}} = \dots \text{ m/s}$
- $s = v_{\text{gem}} \cdot t$
- $v_{\text{gem}} = \frac{0,5}{0,4} = 1,25 \text{ m/s}$

c Bereken hoe lang de golf erover doet om één keer rond te gaan.

- $s = 400 \text{ m} \mid v = 1,25 \text{ m/s} \mid t = \dots \text{ s}$
- $s = v_{\text{gem}} \cdot t \rightarrow 400 = 1,25 \cdot t \rightarrow t = 320 \text{ s}$

3** 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

4*** a Begint de trilling in punt A 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 $1\frac{3}{4}$ trilling
 - B heeft $1\frac{3}{4}$ trilling uitgevoerd
- c** Bepaal hoeveel trillingen C heeft uitgevoerd.
- kijk van rechts naar links (tegen de bewegingsrichting van de golf)
 - tel $\frac{1}{2}$ trilling
 - C heeft $\frac{1}{2}$ 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

5**

- a** Hoe lang doet de golf erover om van het schip naar de oever te gaan?
- $v_{\text{golf}} = 2,3 \text{ m/s}$ | $s = 46 \text{ m}$ | $t = \dots \text{ s}$
 - $s = v_{\text{gem}} \cdot t$ met $v_{\text{gem}} = v_{\text{golf}}$
 - $46 = 2,3 \cdot t \rightarrow t = 20 \text{ s}$

b Bereken de golflengte van de golf.

- $T = 0,80 \text{ s} \rightarrow f = \frac{1}{0,8} = 1,25 \text{ Hz}$
- $f = 1,25 \text{ Hz} \mid v_{\text{golf}} = 2,3 \text{ m/s} \mid \lambda = \dots \text{ m}$
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$
- $2,3 = 1,25 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 1,84 \text{ m}$

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

- $\lambda = 1,84 \text{ m} \mid s = 46 \text{ m} \mid \text{aantal golven} = \dots$
- $\text{aantal golven} = \frac{46}{1,84} = 25$

6**

a Bepaal de golflengte.

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

b Bepaal de amplitude.

- aflezen: de amplitude is 4,5 m

c Hoe groot is de frequentie?

- $v_{\text{golf}} = 840 \text{ m/s} \mid \lambda = 20 \text{ m} \mid f = \dots \text{ Hz}$
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda \rightarrow 840 = 20 \cdot f \rightarrow f = 42 \text{ Hz}$

7**

a Bepaal de golflengte.

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

b Bepaal de amplitude.

- aflezen: de amplitude is 22,5 cm

c Hoe groot is de golfsnelheid?

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

8***

a Bepaal de golflengte.

- je ziet één golf
- opmeten $\lambda = 2,9 \text{ cm}$
- 20 keer verkleind $\rightarrow \lambda = 20 \cdot 2,9 = 58 \text{ cm} = 0,58 \text{ m}$

b Bepaal de golfsnelheid.

- opmeten: afstand tussen voorkanten van de golf bij de bovenste en onderste foto
- $s = 4,9 \text{ cm} \rightarrow 20 \text{ keer verkleind} \rightarrow s = 20 \cdot 4,9 = 98 \text{ cm} = 0,98 \text{ m}$
- $s = 0,98 \text{ m} \quad | \quad t = 0,40 \text{ s} \quad | \quad v_{\text{gem}} = \dots \text{ m/s}$
- $s = v_{\text{gem}} \cdot t \rightarrow 0,98 = v_{\text{gem}} \cdot 0,4 \rightarrow v_{\text{gem}} = v_{\text{golf}} = 2,45 = 2,5 \text{ m/s}$

c Bereken de frequentie.

- $\lambda = 0,58 \text{ m} \quad | \quad v_{\text{golf}} = 2,45 \text{ m/s} \quad | \quad f = \dots \text{ Hz}$
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda \rightarrow 2,45 = f \cdot 0,58 \rightarrow f = 4,2241 = 4,2 \text{ Hz}$

d Hoelang heeft punt A getrild?

- er is één golf gemaakt
- A heeft één periode getrild
- $T = \frac{1}{f} \rightarrow T = \frac{1}{4,2241} = 0,2367 = 0,24 \text{ s}$

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
- $s = 9,7 \text{ cm} \quad | \quad 20 \text{ keer verkleind} \rightarrow s = 20 \cdot 9,7 = 194 \text{ cm} = 1,94 \text{ m}$
- $s = 1,94 \text{ m} \quad | \quad v_{\text{golf}} = v_{\text{gem}} = 2,45 \text{ m/s} \quad | \quad t = \dots \text{ s}$
- $s = v_{\text{gem}} \cdot t \rightarrow 1,94 = 2,45 \cdot t \rightarrow t = 0,79184 = 0,79 \text{ s}$

9***

a Bereken de golfsnelheid van de tsunami.

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

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.

- $v_{\text{golf}} = C \cdot \sqrt{d}$ d wordt kleiner en C blijft constant $\rightarrow v_{\text{golf}}$ wordt kleiner
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$
- 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 $t = 3,0 \text{ ms}$ 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: $A = 1,1 \text{ cm}$ (marge van $0,05 \text{ cm}$)

c Bepaal de golflengte van de lopende golf.

- in $3,0 \text{ ms}$ beweegt de golf van A naar punt P op $1,8 \text{ m}$ afstand

- $s = 1,8 \text{ m}$ | $t = 0,0030 \text{ s}$ | $v_{\text{gem}} = \dots \text{ m/s}$

- $s = v_{\text{gem}} \cdot t \rightarrow 1,8 = v_{\text{gem}} \cdot 0,003 \rightarrow v_{\text{gem}} = 600 \text{ m/s}$

- aflezen: 2 trillingen in $10,5 - 3 = 7,5 \text{ ms} \rightarrow T = \frac{7,5}{2} = 3,75 \text{ ms} = 0,00375 \text{ s}$

- $f = \frac{1}{T} \rightarrow f = \frac{1}{0,00375} = 266,667 \text{ Hz}$

- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$

- $600 = 266,667 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 2,25 \text{ m}$

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 de figuur in het werkboek.
- buiklijnen gaan door de snijpunten van twee groene getrokken cirkels en door de snijpunten van twee blauwe gestreepte cirkels
- b Schets de knooplijnen in de figuur in het werkboek.
- knooplijnen gaan door de snijpunten van een groene getrokken cirkel en een blauwe gestreepte cirkel

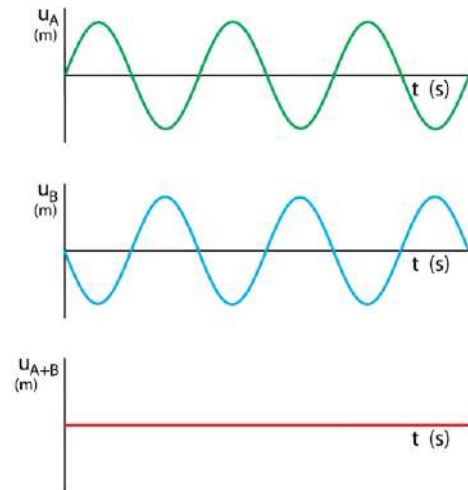
3***

- a Leg uit hoe het patroon verandert als de frequentie van de trillingsbronnen toeneemt en de golfsnelheid gelijk blijft.
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$
 - v_{golf} blijft gelijk | f neemt toe $\rightarrow \lambda$ 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.
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$
 - v_{golf} neemt toe | f blijft gelijk $\rightarrow \lambda$ 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.

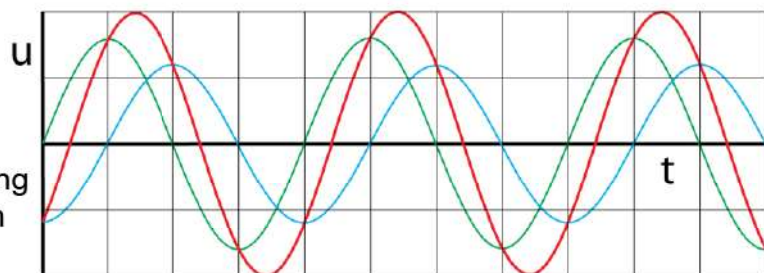


5****

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

- 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 → $0,343 \text{ m}$
 - de buis moet $\frac{0,343}{2} = 0,1715 = 0,172 \text{ m}$ 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 $1\frac{1}{2}$ keer de golflengte
 - $1,5 \cdot 0,686 = 1,029 \text{ m}$
 - de buis moet $\frac{1,029}{2} = 0,5145 = 0,515 \text{ m}$ worden uitgetrokken

7.5 Geluid

1**

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

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

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

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

2**

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

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

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 .

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

3**

a Bereken de frequentie van de toon.

- $v_{\text{geluid}} = 343 \text{ m/s}$ | $\lambda = 780 \text{ mm} = 0,78 \text{ m}$ | $f = \dots \text{ Hz}$

- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda \rightarrow f = \frac{v_{\text{golf}}}{\lambda}$
- $f = \frac{343}{0,78} = 439,74 = 440 \text{ Hz}$

b Bereken de golflengte van dezelfde toon in millimeter.

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

4**

a Bereken de golflengte van deze toon in zeewater.

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

b Bereken de golflengte van deze toon in lucht als $T = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

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

5**

a Bereken de frequentie van deze toon.

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

b Bereken de golflengte van een toon van 14 Hz .

- $v_{\text{golf}} = 343 \text{ m/s} \mid f = 14 \text{ Hz} \mid \lambda = \dots \text{ m}$
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda \rightarrow 343 = 14 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 24,5 \text{ m}$

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 Hoeveel tijd er zit tussen de klappen die Cato hoort?.

- $s = 150 \text{ m} \mid v_{\text{golf lucht}} = 343 \text{ m/s} \mid v_{\text{golf ijzer}} = 5100 \text{ m/s} \mid t = \dots \text{ s}$
- door de lucht: $s = v_{\text{gem}} \cdot t \rightarrow 150 = 343 \cdot t \rightarrow t = 0,43718 \text{ s}$

- door het ijzer: $s = v_{\text{gem}} \cdot t \rightarrow 150 = 5100 \cdot t \rightarrow t = 0,029412 \text{ s}$
- verschil: $\Delta t = 0,43718 - 0,029412 = 0,407768 = 0,41 \text{ s}$

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
- $f = 300 \text{ Hz} \mid v_{\text{golf ijzer}} = 5100 \text{ m/s} \mid \lambda = \dots \text{ m}$
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda \rightarrow 5100 = 300 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 17 \text{ m}$

e Bereken de golflengte van de toon in lucht

- de frequentie van de boormachine is 300 Hz
- $f = 300 \text{ Hz} \mid v_{\text{golf lucht}} = 343 \text{ m/s} \mid \lambda = \dots \text{ m}$
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda \rightarrow 343 = 300 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 1,14333 = 1,14 \text{ m}$

7****

a Bereken de afstand van Vera tot de onweerswolk.

- verticale afstand is 6,0 km $\mid$ 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
- $s = 3000 \text{ m} \mid v_{\text{gem}} = 343 \text{ m/s} \mid t = \dots \text{ s}$
- $s = v_{\text{gem}} \cdot t \rightarrow 3000 = 343 \cdot t \rightarrow t = 8,74636 = 8,75 \text{ s}$

c Bereken hoe lang de donder aanhoudt.

- grootste afstand tot de bliksem is 6,7082 km = 6708,2 m
- $s = 6708,2 \text{ m} \mid v_{\text{gem}} = 343 \text{ m/s} \mid t = \dots \text{ s}$
- $s = v_{\text{gem}} \cdot t \rightarrow 6708,2 = 343 \cdot t \rightarrow t = 19,5574 = 19,56 \text{ s}$
- verschil in tijd $\Delta t = 19,5574 - 8,74636 = 10,811 = 10,8 \text{ s}$

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 $\rightarrow$ 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 drillboor 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 geluidsterkte
- 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 geluidsterkte 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 geluidsterkte 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

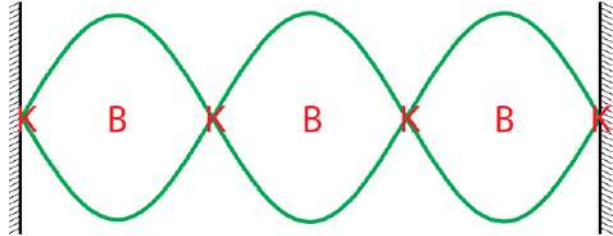
Twee vaste uiteinden (snaarinstrumenten)

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 $\frac{1}{4}\lambda$
- $\ell = 6 \cdot \frac{1}{4}\lambda = \frac{3}{2}\lambda$
- $2,4 = \frac{3}{2}\lambda \rightarrow \lambda = \frac{2 \cdot 2,4}{3} = 1,6 \text{ m}$



2**

a Teken de stand van het koord op $t = \frac{1}{4} T$ (een kwart trillingstijd later)

- oranje lijn

b Teken de stand van het koord op $t = \frac{1}{2} T$ (een halve trillingstijd later)

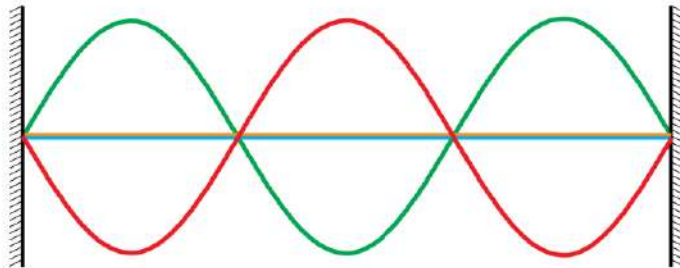
- rode lijn

c Teken de stand van het koord op $t = \frac{3}{4} T$ ($\frac{3}{4}$ trillingstijd later)

- blauwe lijn

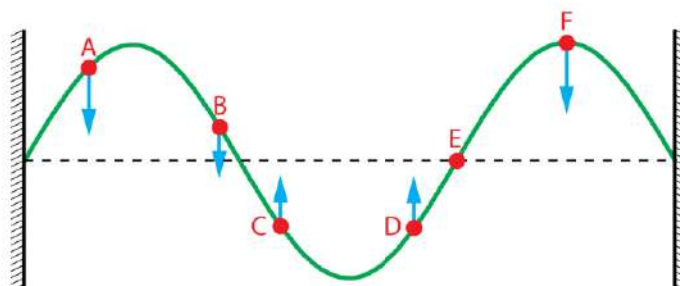
d Teken de stand van het koord op $t = T$ (één trillingstijd later)

- 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 de hoogste naar de laagste snelheid.

- $F \rightarrow A \rightarrow C \& D \rightarrow B \rightarrow E$

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.

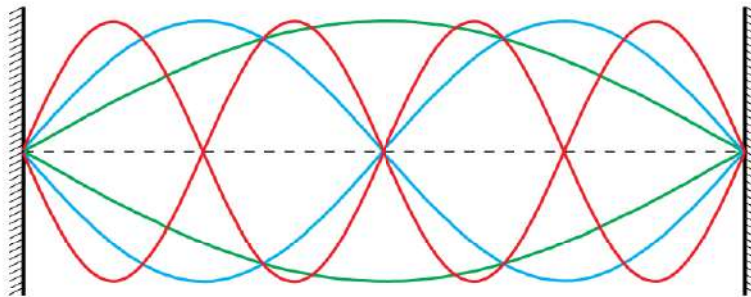
- groene lijn

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
- 1^e boventoon: K – B – K – B – K
- 2^e boventoon: K – B – K – B – K – B – K
- 3^e boventoon: K – B – K – B – K – B – K – B – K
- 4^e boventoon: K – B – K – B – K – B – K – B – K – B – K
- de snaar trilt in de 4^e 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 $1000 = 1,00 \cdot 10^3 \text{ Hz}$

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.

- $f = 300 \text{ Hz} \quad | \quad \lambda = 1,2 \text{ m} \quad | \quad v_{\text{golf}} = \dots \text{ m/s}$
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$
- $v_{\text{golf}} = 300 \cdot 1,2 = 360 = 3,6 \cdot 10^2 \text{ m/s}$

c Bereken de frequentie van de tweede 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 $\lambda_2 = \frac{1}{3} \lambda_0 \rightarrow f_2 = 3 \cdot f_0 \rightarrow f_2 = 3 \cdot 300 = 900 \text{ Hz}$
- 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 $1800 = 1,80 \cdot 10^3 \text{ Hz}$

7****

a Waarom 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**
- $\ell = 2 \cdot \frac{1}{4} \lambda = \frac{1}{2} \lambda$
- $0,75 = \frac{1}{2} \lambda \rightarrow \lambda = 1,5 \text{ m}$
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$
- $v_{\text{golf}} = 280 \cdot 1,5 = 420 \text{ m/s}$
- MET CAPO v_{golf} blijft gelijk $| \quad \ell = 0,75 - 0,25 = 0,50 \text{ m}$
- $0,50 = \frac{1}{2} \lambda \rightarrow \lambda = 1,0 \text{ m}$
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$
- $420 = f \cdot 1,0 \rightarrow f = 420 = 4,2 \cdot 10^2 \text{ Hz}$

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

- v_{golf} blijft gelijk
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$
- $420 = 500 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 0,84 \text{ m}$
- 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
- $f = 440 \text{ Hz} \quad | \quad v_{\text{golf}} = 290 \text{ m/s} \quad | \quad \lambda = \dots \text{ m}$
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$
- $290 = 440 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 0,659 \text{ m}$
- 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 $\rightarrow \lambda$ 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?

- $f = 587 \text{ Hz} \quad | \quad v_{\text{golf}} = 290 \text{ m/s} \quad | \quad \lambda = \dots \text{ m}$
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$
- $290 = 587 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 0,494 \text{ m}$
- 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
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$
- f moet groter worden, λ blijft gelijk $\rightarrow v_{\text{golf}}$ moet groter worden

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

- v_{golf} moet groter worden

- $v_{\text{golf}} = \sqrt{\frac{F_s \cdot \ell}{m}} \rightarrow F_s \text{ moet groter worden} \rightarrow \text{Mats heeft gelijk}$

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 1^e de 2^e en de 3^e boventoon.

B K B K B 1^e

B K B K B K B 2^e

- b Bereken de frequentie van de grondtoon.

B K B K B K B K B 3^e

- 2^e boventoon: B - K - B - K - B - K - B
- $\ell = 6 \cdot \frac{1}{4} \lambda = \frac{3}{2} \lambda \rightarrow \lambda = \frac{2}{3} \cdot \ell$
- 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 2^e boventoon
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$
- v_{golf} blijft gelijk, λ wordt 3x groter $\rightarrow f$ wordt 3x kleiner
- grondtoon: $f_0 = \frac{300}{3} = 100 \text{ Hz}$

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

- grondtoon: B - K - B
- 1^e boventoon: B - K - B - K - B
- 3^e boventoon: B - K - B - K - B - K - B - K - B
- 1^e boventoon: golflengte 2x zo klein $\rightarrow$ frequentie 2x zo groot
- $f_0 = 100 \text{ Hz} \rightarrow f_1 = 2 \cdot 100 = 200 \text{ Hz}$
- 3^e 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
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$
- 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
- $f = 523 \text{ Hz} \mid v_{\text{golf}} = 343 \text{ m/s} \mid \lambda = \dots \text{ m}$
- $343 = 523 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 0,65583 \text{ m}$

- $\ell = \frac{1}{2}\lambda \rightarrow \ell = \frac{1}{2} \cdot 0,65583 = 0,3279 = 0,328 \text{ m}$
- c** Welke gaatjes moet je dicht houden als je een G speelt met een frequentie van 784 Hz?
- $f = 784 \text{ Hz} \mid v_{\text{golf}} = 343 \text{ m/s} \mid \lambda = \dots \text{ m}$
 - $343 = 784 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 0,4375 \text{ m}$
 - $\ell = \frac{1}{2}\lambda \rightarrow \ell = \frac{1}{2} \cdot 0,4375 = 0,21875 = 0,219 \text{ m}$
 - 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 $\frac{2}{3}$ van de fluit
 - opmeten lengte fluit vanaf de inkeping is 13 cm
 - lengte luchtkolom is $\frac{2}{3} \cdot 13 = 8,667 \text{ cm}$
 - 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 5^e 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.
- $f = 16,35 \text{ Hz} \mid v_{\text{golf}} = 343 \text{ m/s} \mid \lambda = \dots \text{ m}$
 - $343 = 16,35 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 20,9786 \text{ m}$
 - $\ell = \frac{1}{2}\lambda \rightarrow \ell = \frac{1}{2} \cdot 20,9786 = 10,489 = 10,5 \text{ m}$
- c** Bereken de lengte van de kortste orgelpijp van de inkeping tot het uiteinde.
- $f = 1318,5 \text{ Hz} \mid v_{\text{golf}} = 343 \text{ m/s} \mid \lambda = \dots \text{ m}$
 - $343 = 1318,5 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 0,26014 \text{ m}$
 - $\ell = \frac{1}{2}\lambda \rightarrow \ell = \frac{1}{2} \cdot 0,26014 = 0,13007 = 0,130 \text{ m}$
- 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 1^e de 2^e en de 3^e boventoon.

K **B** **K** **B** 1^e

K **B** **K** **B** **K** **B** 2^e

K **B** **K** **B** **K** **B** **K** **B** 3^e

b Bereken de frequentie van de grondtoon.

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

c Bereken de frequenties van de 2^e, de 3^e en de 4^e boventoon.

- grondtoon: **K** – **B**
- 1^e boventoon: **K** – **B** – **K** – **B**
- 2^e boventoon: **K** – **B** – **K** – **B** – **K** – **B**
- 3^e boventoon: **K** – **B** – **K** – **B** – **K** – **B** – **K** – **B**
- 4^e boventoon: **K** – **B** – **K** – **B** – **K** – **B** – **K** – **B** – **K** – **B**
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$ | v_{golf} blijft gelijk
- 2^e boventoon: golflengte is 5 keer zo klein $\rightarrow f_2 = 5 \cdot f_0 \rightarrow f_2 = 5 \cdot 100 = 500 \text{ Hz}$
- 3^e boventoon: golflengte is 7 keer zo klein $\rightarrow f_2 = 7 \cdot f_0 \rightarrow f_2 = 7 \cdot 100 = 700 \text{ Hz}$
- 4^e boventoon: golflengte is 9 keer zo klein $\rightarrow f_2 = 9 \cdot f_0 \rightarrow f_2 = 9 \cdot 100 = 900 \text{ Hz}$

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**

- $\ell = 5 \cdot \frac{1}{4} \lambda$
- $0,60 = \frac{5}{4} \lambda \rightarrow \lambda = \frac{4 \cdot 0,6}{5} = 0,48 \text{ m}$
- $v_{\text{golf}} = 343 \text{ m/s} \mid \lambda = 0,48 \text{ m} \mid f = \dots \text{ Hz}$
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$
- $343 = f \cdot 0,48 \rightarrow f = 714,58 = 7,1 \cdot 10^2 \text{ Hz}$

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.

- $\ell = 9 \cdot \frac{1}{4} \lambda$
- $0,60 = \frac{9}{4} \lambda \rightarrow \lambda = \frac{4 \cdot 0,6}{9} = 0,2667 \text{ m}$
- $v_{\text{golf}} = 343 \text{ m/s} \mid \lambda = 0,2667 \text{ m} \mid f = \dots \text{ Hz}$
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$
- $343 = f \cdot 0,26667 \rightarrow f = 1286,25 = 1,3 \cdot 10^3 \text{ Hz}$

16* a** Hoe lang is de buis van een hoorn?

- $v_{\text{golf}} = 343 \text{ m/s} \mid f = 61,74 \text{ Hz} \mid \lambda = \dots \text{ m}$
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$
- $343 = 61,74 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 5,5556 \text{ m}$
- grondtoon: **K – B**
- $\ell = \frac{1}{4} \lambda \rightarrow \ell = \frac{1}{4} \cdot 5,5556 \rightarrow \lambda = \frac{5,5556}{4} = 1,3889 = 1,39 \text{ m}$

b Bereken de frequentie van de eerste boventoon.

- grondtoon: **K – B**
- 1^e boventoon: **K – B – K – B**
- $\ell = 3 \cdot \frac{1}{4} \lambda$
- $1,3889 = \frac{3}{4} \lambda \rightarrow \lambda = \frac{4 \cdot 1,3889}{3} = 1,85185 \text{ m}$
- $v_{\text{golf}} = 343 \text{ m/s} \mid \lambda = 1,85185 \text{ m} \mid f = \dots \text{ Hz}$
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$
- $343 = f \cdot 1,85185 \rightarrow f = 185,22 = 185 \text{ Hz}$

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

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

- d** Leg uit of de toon hierdoor lager of hoger wordt.
- bij een hogere temperatuur wordt v_{golf} groter
 - $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$
 - v_{golf} wordt groter, λ blijft gelijk $\rightarrow$ f wordt groter

17****

a Bereken de frequentie van de grondtoon bij kamertemperatuur.

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

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

d Bereken de frequentie van de eerste boventoon van het langste buisje.

- grondtoon: **K** – **B**
- 1^e boventoon: **K** – **B** – **K** – **B**
- $\ell = 3 \cdot \frac{1}{4}\lambda$
- $0,328 = \frac{3}{4}\lambda \rightarrow \lambda = \frac{4 \cdot 0,328}{3} = 0,43733 \text{ m}$
- $v_{\text{golf}} = 343 \text{ m/s} \mid \lambda = 0,43733 \text{ m} \mid f = \dots \text{ Hz}$
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$
- $343 = f \cdot 0,43733 \rightarrow f = 784,3 = 784 \text{ Hz}$

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**
- $\ell = 3 \cdot \frac{1}{4}\lambda$
- $0,082 = \frac{3}{4}\lambda \rightarrow \lambda = \frac{4 \cdot 0,082}{3} = 0,10933 \text{ m}$

- $v_{\text{golf}} = 343 \text{ m/s} \quad | \quad \lambda = 0,10933 \text{ m} \quad | \quad f = \dots \text{ Hz}$
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$
- $343 = f \cdot 0,10933 \rightarrow f = 3137,2 = 3,14 \cdot 10^3 \text{ Hz} \quad (\text{muzieknoet G4})$

- 18******
- a** Zijn er twee gesloten uiteinden, twee open uiteinden, één open en één gesloten uiteinde, of geen van drie?
- 2x gesloten $\rightarrow$ grond: **K** – **B** – **K** 1^e boventoon: **K** – **B** – **K** – **B** – **K**
 - $f_1 = 2 \cdot f_0$
 - 2x open $\rightarrow$ grond: **B** – **K** – **B** 1^e boventoon: **B** – **K** – **B** – **K** – **B**
 - $f_1 = 2 \cdot f_0$
 - 1x open en 1x gesloten $\rightarrow$ 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.
- $f = 500 \text{ Hz} \quad | \quad v_{\text{golf}} = 343 \text{ m/s} \quad | \quad \lambda = \dots \text{ m}$
 - $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda \rightarrow 343 = 500 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 0,686 \text{ m}$
 - 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
 - $x = \ell - 0,024 \rightarrow x = 0,5145 - 0,024 = 0,4905 \text{ m}$
 - $x_{\text{nieuw}} - x_{\text{oud}} = 0,4905 - 0,1475 = 0,343 \text{ m}$