

9 Trillingen en golven

havo

9.1 Wat is een trilling?

Trillingstijd, frequentie, uitwijking en amplitude

- 1***
- 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
 - 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

- 2***
- a** Bereken de trillingstijd.
 - $f = 650 \text{ Hz} \quad | \quad T = \dots \text{ s}$
 - $f = \frac{1}{T} \rightarrow T = \frac{1}{f}$
 - $T = \frac{1}{650} = 0,00154 \text{ s} \quad (3 \text{ sign. cijfers})$

- 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 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 $300/60 = 5$ steken per seconde
 - de machine heeft een frequentie van 5,00 Hz (3 sign. cijfers)
- b** Met welke frequentie draait de motor?
- 2400 toeren per minuut is $2400/60 = 40$ toeren per seconde
 - de motor heeft een frequentie van 40,00 Hz (4 sign. cijfers)

5**

- a** Hoeveel seconde duurt een stap?
- 120 stappen per minuut → 120 stappen in 60 seconden
 - één stap duurt $60/120 = 0,500 \text{ s}$ (3 sign. cijfers)
- 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: $\frac{10000}{1,6} = 6250 \text{ s}$
 - $t = 6250 \text{ s} = \frac{6250}{60} = 104,16667 = 1,0 \cdot 10^2 \text{ minuten}$ (2 sign. cijfers)

6**

- a** Bereken de trillingstijd.
- $f = 2,1 \cdot 10^4 \text{ Hz} \quad | \quad T = \dots \text{ s}$
 - $f = \frac{1}{T} \rightarrow T = \frac{1}{f} \rightarrow T = \frac{1}{2,1 \cdot 10^4} = 4,7619 \cdot 10^{-5} = 4,8 \cdot 10^{-5} \text{ s}$ (2 sign. cijfers)
- 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
 - aantal trillingen = $2,1 \cdot 10^4 \cdot 0,2 = 4,2 \cdot 10^3$

7**

- 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 $4 \cdot 0,2 = 0,8$ s
 - $T = 0,80$ s
 - $f = \frac{1}{T} \rightarrow f = \frac{1}{0,8} = 1,25 = 1,3$ Hz (2 sign. cijfers)

8**

- a Bereken de trillingstijd.
- 18 keer per minuut $\rightarrow$ 18 keer in 60 seconden
 - $T = \frac{60}{18} = 3,3333 = 3,3$ s (2 sign. cijfers)
- b Bereken de frequentie.
- $f = \frac{1}{T} \rightarrow f = \frac{1}{3,3333} = 0,30$ Hz (2 sign. cijfers)

9***

- 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

10**

- a Bepaal de amplitude.
- aflezen: maximale uitwijking $\rightarrow A = 0,45$ cm

b Bepaal de trillingstijd.

- aflezen: 4 trillingen in 21 seconden

- $T = \frac{21}{4} = 5,25 \text{ s}$

c Bepaal de frequentie.

- $f = \frac{1}{T} \rightarrow f = \frac{1}{5,25} = 0,190476 = 0,190 \text{ Hz}$

11**

a Bepaal de amplitude.

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

b Bepaal de trillingstijd.

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

- $T = \frac{56}{4} = 14 \text{ s}$

c Bepaal de frequentie.

- $f = \frac{1}{T} \rightarrow f = \frac{1}{14} = 0,07143 = 0,071 \text{ Hz}$

12**

a Bepaal de amplitude.

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

b Bepaal de trillingstijd.

- aflezen: 3 trillingen in $62,5 \mu\text{s}$ (microseconde)

- één trilling duurt $\frac{62,5 \cdot 10^{-6}}{3} = 20,8333 \cdot 10^{-6} = 20,8 \cdot 10^{-6} \text{ s}$

c Bepaal de frequentie.

- $f = \frac{1}{T} \rightarrow f = \frac{1}{20,8333 \cdot 10^{-6}} = 48000 = 4,80 \cdot 10^4 \text{ Hz}$

13***

a Bepaal de amplitude.

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

b Bepaal de trillingstijd.

- aflezen: 3 trillingen in 20 ms (milliseconden)

- één trilling duurt $0,020/3 = 0,006667 = 0,00667 \text{ s}$

c Bepaal de frequentie.

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

14***

a Bepaal de trillingstijd.

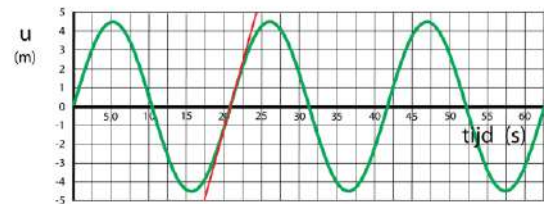
- aflezen: 3 trillingen in 62,5 seconde
- één trilling duurt $62,5/3 = 20,8333 = 20,8 \text{ s}$

b Bepaal de frequentie.

- $T = 20,8333 \text{ s}$
- $f = \frac{1}{T} \rightarrow f = \frac{1}{20,8333} = 0,0480 \text{ Hz}$

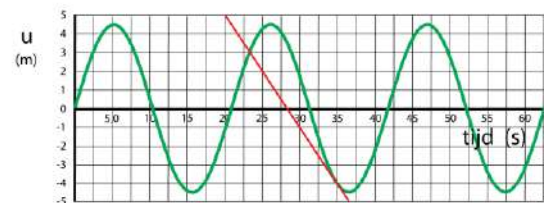
c Bepaal de maximale snelheid.

- teken raaklijn als de grafiek door de evenwichtsstand gaat
- richtingscoëfficiënt raaklijn: $v = \left(\frac{\Delta x}{\Delta t} \right)_{\text{raaklijn}}$
- $v = \frac{5 - (-5)}{24,5 - 17,5} = \frac{10}{7} = 1,4 \text{ m/s}$



d Bepaal de snelheid op $t = 35 \text{ s}$.

- teken raaklijn op $t = 35 \text{ s}$
- richtingscoëfficiënt raaklijn: $v = \left(\frac{\Delta x}{\Delta t} \right)_{\text{raaklijn}}$
- $v = \frac{-5 - 5}{36,5 - 20} = \frac{-10}{16,5} = -0,61 \text{ m/s}$



15***

a Bepaal de trillingstijd.

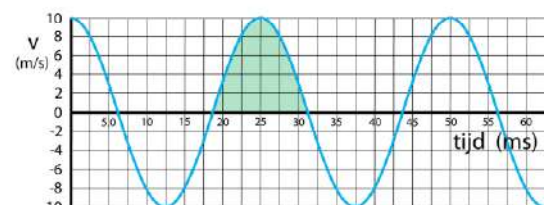
- aflezen: 2,5 trillingen in 62,5 milliseconde
- één trilling duurt $62,5/2,5 = 25 \text{ ms}$

b Bepaal de frequentie.

- $T = 25 \text{ ms} = 0,025 \text{ s} \quad | \quad f = \dots \text{ Hz}$
- $f = \frac{1}{T} \rightarrow f = \frac{1}{0,025} = 40 \text{ Hz}$

c Bepaal de amplitude.

- (v, t)-diagram $\rightarrow$ afstand is de oppervlakte onder de grafiek
- uiterste stand $\rightarrow v = 0$
- hokjes tellen onder de grafiek tussen 18,75 en 31,25 ms $\rightarrow 16$ hokjes
- één hokje $s_{\text{hokje}} = 2 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
- afstand: $16 \cdot 5,0 \cdot 10^{-3} = 0,080 \text{ m}$
- van uiterste stand naar uiterste stand is twee keer de amplitude
- $A = 0,08/2 = 0,040 \text{ m} \quad (= 4,0 \text{ cm})$



Trillingen waarnemen

16**

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 $140/1,5 = 93,333 = 93 \mu\text{s}$

b Bepaal de frequentie.

$$\bullet f = \frac{1}{T} \rightarrow f = \frac{1}{93,33 \cdot 10^{-6}} = 1.07143 \cdot 10^4 = 1.07 \cdot 10^4 \text{ Hz}$$

c Bepaal de amplitude.

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

17***

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 $50/1,5 = 33,333 = 33 \mu\text{s}$

b Bepaal de frequentie.

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

c Bepaal de amplitude.

- aflezen: maximale uitwijking $\rightarrow 2,0$ hokjes
- 1 hokje = $0,2 \text{ mV}$ $\rightarrow 2,0$ hokjes = $0,40 \text{ mV}$

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.

- de amplitude van $0,40 \text{ mV}$ moet in 5 hokjes worden weergegeven
- per hokje: $0,4 \text{ mV} / 5 = 0,08 \text{ mV} / \text{div}$

OOK GOED

- je moet de gevoeligheid 2,5 keer groter maken $0,2/2,5 = 0,08 \text{ mV} / \text{div}$

18***

a Bepaal de trillingstijd.

- aflezen: er is 1 trillingen in 3,8 hokjes
- 1 hokje = 50 ms $\rightarrow 1$ trilling duurt $3,8 \cdot 50 = 190 = 1,9 \cdot 10^2 \text{ ms}$

b Bepaal de frequentie.

- $T = 190 \text{ ms} = 0,19 \text{ s}$
- $f = \frac{1}{T} \rightarrow f = \frac{1}{0,19} = 5,26316 = 5,3 \text{ Hz}$

c Bepaal de amplitude.

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

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

19***

a Hoeveel tijd zit er tussen de punten P en T?

- tussen de punten P en T zitten 11,3 hokjes
- $1 \text{ hokje} = 20 \text{ ms} = 0,020 \text{ s}$
- $11,3 \cdot 0,02 = 0,226 \text{ s}$

b Hoeveel slagen geeft het hart per minuut?

- tussen twee hoge pieken zitten 25 hokjes
- $1 \text{ hokje} = 20 \text{ ms} = 0,020 \text{ s}$
- $25 \cdot 0,02 = 0,50 \text{ s}$
- $1 \text{ hartslag duurt } 0,50 \text{ s} \rightarrow \text{aantal per minuut is } 60/0,5 = 120 \text{ hartslagen}$

c Hoeveel millivolt is het signaal bij punt R?

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

20****

a Hoe groot is de tijdbasis? (de tijd die hoort bij een klein hokje)

- 116 slagen per minuut $\rightarrow$ één hartslag duurt $\frac{60}{116} = 0,51724 \text{ s}$
 - tel 17,2 hokjes tussen de twee pieken
 - verhoudingstabel
- | | | | | |
|----------|--|---------|--|---|
| hokjes | | 17,2 | | 1 |
| seconden | | 0,51724 | | x |
- $x = \frac{0,51724}{17,2} = 0,030072 = 0,030 \text{ seconde per hokje}$

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

9.2 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: $\left(\frac{2}{2\pi}\right)^2 = \frac{m}{10} \rightarrow 0,10132 = \frac{m}{10}$
- $m = 0,10132 \cdot 10 = 1,0 \text{ kg}$

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: $\left(\frac{10}{2\pi}\right)^2 = \frac{10}{C} \rightarrow 2,533 = \frac{10}{C}$
- $C = \frac{10}{2,533} = 3,9478 = 3,9 \text{ N/m}$

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?

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

- 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 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.

- $F_z = m \cdot g \rightarrow F_z = 0,25 \cdot 9,81 = 2,4525 \text{ N}$
- $F = 2,4525 \text{ N} \quad | \quad u = 150 \text{ mm} = 0,15 \text{ m} \quad | \quad C = \dots \text{ N/m}$
- $F = C \cdot u \rightarrow 2,4525 = C \cdot 0,15 \rightarrow C = 16,35 = 16,4 \text{ N/m}$

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?

- $m = 0,25 \text{ kg} \quad | \quad C = 16,35 \text{ N/m} \quad | \quad T = \dots \text{ s}$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}} \rightarrow T = 2\pi\sqrt{\frac{0,25}{16,35}} \rightarrow T = 0,77695 = 0,777 \text{ s}$

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: $1,287 \cdot 60 = 77,225 = 77,2$ trillingen per minuut

f Hoe groot zullen de trillingstijd en de frequentie nu zijn?

- de trillingstijd en de frequentie zijn onafhankelijk van de amplitude
- $T = 0,777 \text{ s}$ en $f = 1,29 \text{ Hz}$

g Bereken de versnelling van het blokje onmiddellijk na het loslaten.

HINT vergeet de zwaartekracht niet.

- $C = 16,35 \quad | \quad u = 0,10 + 0,15 = 0,25 \text{ m} \quad | \quad F_{\text{veer}} = \dots \text{ N}$
- $F_{\text{veer}} = C \cdot u \rightarrow F = 16,35 \cdot 0,25 = 4,0875 \text{ N}$
- $F_{\text{res}} = F_{\text{veer}} - F_Z = 4,0875 - 2,4525 = 1,635 \text{ N}$
- $F_{\text{res}} = m \cdot a$
- $1,635 = 0,25 \cdot a \rightarrow a = 6,54 \text{ m/s}^2$

h Leg uit of de maximale snelheid bij een amplitude van 10 cm groter, kleiner of gelijk is aan de maximale snelheid bij een amplitude van 5,0 cm.

- als de trillingstijd gelijk blijft en de amplitude groter is moet het blokje in dezelfde tijd een grotere afstand afleggen
- de gemiddelde snelheid is groter bij een grotere amplitude

9**

a Leg uit of het blokje een harmonische trilling gaat uitvoeren.

- 1,0 cm bij 0,3 N $|$ 5,0 cm bij 2,0 N
- $5 \cdot 0,3 = 1,5 \text{ N}$ en dat is niet gelijk aan 2,0 N
- er is geen recht evenredig verband tussen de kracht en de uitrekking
- het blokje gaat geen harmonische trilling uitvoeren

10****

a Leg uit of de steen een harmonische trilling gaat uitvoeren.

- de grafiek voldoet aan: $F_{\text{res}} = -C \cdot u$
- recht-evenredig verband met negatieve richtingscoëfficiënt
- het blokje gaat een harmonische trilling uitvoeren

b Schets de (u, t)-grafiek van de steen.

- op $t=0$ is de uitrekking 5,0 cm
- teken één sinus met een periode van 2,0 s

c Schets de (F, t)-grafiek van de steen.

- op $t=0$ is de kracht -4,0 N
- teken één sinus met een periode van 2,0 s

d Schets de (v, t)-grafiek van de steen.

- op $t=0$ is de snelheid 0 m/s
- teken één sinus met een periode van 2,0 s

e Bereken de massa van het de steen.

- aflezen: $C = \frac{F}{u} \rightarrow C = \frac{4}{0,05} = 80 \text{ N/m}$
- $T = 2,0 \text{ s} \quad | \quad C = 80 \text{ N/m} \quad | \quad m = \dots \text{ kg}$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}}$

- $2 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{80}} \rightarrow \frac{2}{2\pi} = \sqrt{\frac{m}{80}} \rightarrow 0,31831^2 = \frac{m}{80}$
- $m = 0,31831^2 \cdot 80 = 8,1 \text{ kg}$

11**** a Geef het wiskundig verband tussen de resulterende kracht en de uitwijking.

- de dobber trilt harmonisch
- voor een harmonische trilling geldt: $F_{\text{res}} = -C \cdot u$

b Bereken de veerconstante.

- $u = 2,0 \text{ cm} = 0,020 \text{ m} \mid F = 0,028 \text{ N} \mid C = \dots \text{ N/m}$
- $C = \frac{F}{u} \rightarrow C = \frac{0,028}{0,02} = 1,4 \text{ N/m}$

c Hoeveel centimeter gaat de dobber naar beneden?

- $F = 0,028 \text{ N} \mid C = 1,4 \text{ N/m} \mid u = \dots \text{ m}$
- $F = C \cdot u \rightarrow u = \frac{F}{C}$
- $u = \frac{0,020}{1,4} = 0,01429 = 0,014 \text{ m} = 1,4 \text{ cm}$

d Hoeveel gram weegt de dobber?

- $C = 1,4 \text{ N/m} \mid T = 1,2 \text{ s} \mid m = \dots \text{ kg}$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}}$
- $1,2 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{1,4}} \rightarrow \frac{1,2}{2\pi} = \sqrt{\frac{m}{1,4}} \rightarrow 0,190986^2 = \frac{m}{1,4}$
- $m = 0,190986^2 \cdot 1,4 = 0,051 \text{ kg} = 51 \text{ gram}$

Slinger

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

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

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

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

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

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

b Bereken de lengte als $T = 1,6$ minuten.

- $T = 1,6$ minuten = 96 s | $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ | $\ell = \dots \text{ m}$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} \rightarrow 96 = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{9,81}} \rightarrow \frac{96}{2\pi} = \sqrt{\frac{\ell}{9,81}}$
- kwadrateren: $\left(\frac{96}{2\pi}\right)^2 = \frac{\ell}{9,81} \rightarrow 233,444 = \frac{\ell}{9,81}$
- $\ell = 233,444 \cdot 9,81 = 2290 = 2,3 \cdot 10^3 \text{ m}$ (2,3 km)

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

- $T = 25 \text{ ms} = 0,025 \text{ s}$ | $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ | $\ell = \dots \text{ m}$
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} \rightarrow 0,025 = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{9,81}} \rightarrow \frac{0,025}{2\pi} = \sqrt{\frac{\ell}{9,81}}$
- kwadrateren: $\left(\frac{0,025}{2\pi}\right)^2 = \frac{\ell}{9,81} \rightarrow 1,58314 \cdot 10^{-5} = \frac{\ell}{9,81}$
- $\ell = 1,58314 \cdot 10^{-5} \cdot 9,81 = 1,55306 \cdot 10^{-4} = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}$ (0,16 mm)

14****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

- 15**** a Bereken de trillingstijd van deze slinger.
- $\ell = 67 \text{ m} \mid g = 9,81 \text{ m/s}^2 \mid T = \dots \text{ s}$
 - $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} \rightarrow T = 2\pi\sqrt{\frac{67}{9,81}} = 16,42036 = 16 \text{ s}$

- b Bereken de frequentie van deze slinger.
- $f = \frac{1}{T} \rightarrow f = \frac{1}{16,42} = 0,0609 = 0,061 \text{ Hz}$

- 16***** 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 $1 : \sqrt{4} : \sqrt{9} = 1 : 2 : 3$

- 17****** 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
 - $\frac{1}{4}T = 2,6 \text{ s} \rightarrow T = 10,4 \text{ s}$
 - $T = 10,4 \text{ s} \mid g = 9,81 \text{ m/s}^2 \mid \ell = \dots \text{ m}$
 - $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} \rightarrow 10,4 = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{9,81}} \rightarrow \frac{10,4}{2\pi} = \sqrt{\frac{\ell}{9,81}}$
 - 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

- 18**** 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

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

- $s = 10 \text{ m} \quad | \quad v_{\text{gem}} = 12 \text{ m/s} \quad | \quad t = \dots \text{ s}$
- $s = v_{\text{gem}} \cdot t \rightarrow 10 = 12 \cdot t \rightarrow t = 0,83333 \text{ s}$
- $T_{\text{aandrijf}} = T_{\text{eigen}} = 0,83333 \text{ s}$
- $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{C}}$
- $0,83333 = 2\pi \sqrt{\frac{m}{5,0 \cdot 10^4}} \rightarrow \frac{0,83333}{2\pi} = \sqrt{\frac{m}{5,0 \cdot 10^4}}$
- kwadrateren: $\left(\frac{0,83333}{2\pi}\right)^2 = \frac{m}{5,0 \cdot 10^4} \rightarrow 0,01759 = \frac{m}{5,0 \cdot 10^4}$
- $m = 0,01759 \cdot 5,0 \cdot 10^4 = 879,524 = 8,8 \cdot 10^2 \text{ kg}$

b Bereken bij welke snelheid er nu resonantie optreedt.

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

9.3 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.

- $s = 50 \text{ cm} = 0,50 \text{ m} \mid t = 0,40 \text{ s} \mid v_{\text{gem}} = \dots \text{ m/s}$
- $s = v_{\text{gem}} \cdot t$
- $v_{\text{gem}} = \frac{0,5}{0,4} = 1,25 = 1,3 \text{ m/s}$

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

- $s = 400 \text{ m} \mid v = 1,25 \text{ m/s} \mid t = \dots \text{ s}$
- $s = v_{\text{gem}} \cdot t \rightarrow 400 = 1,25 \cdot t \rightarrow t = 320 = 3,2 \cdot 10^2 \text{ s}$

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 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 $1\frac{3}{4}$ 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 $\rightarrow$ 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 $\rightarrow$ 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.

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

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
- $s = 4,9 \text{ cm}$ → 20 keer verkleind → $s = 20 \cdot 4,9 = 98 \text{ cm} = 0,98 \text{ m}$
- $s = 0,98 \text{ m}$ | $t = 0,40 \text{ s}$ | $v_{\text{gem}} = \dots \text{ m/s}$
- $s = v_{\text{gem}} \cdot t \rightarrow 0,98 = v_{\text{gem}} \cdot 0,4 \rightarrow v_{\text{gem}} = v_{\text{golf}} = 2,45 = 2,5 \text{ m/s}$

c Bereken de frequentie.

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

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

9***

a Bereken de golfsnelheid van de tsunami.

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

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 → v_{golf} wordt kleiner
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$
- v_{golf} wordt kleiner en f blijft constant → λ 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 $10,5 - 3 = 7,5 \text{ ms} \rightarrow T = \frac{7,5}{2} = 3,75 \text{ ms} = 0,00375 \text{ s}$

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

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

- $600 = 266,667 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 2,25 = 2,3 \text{ m}$

9.4 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

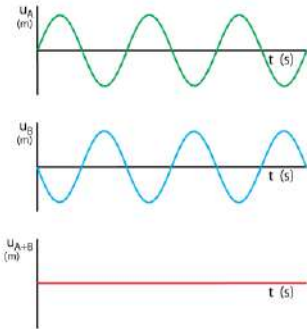
3***

- 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.



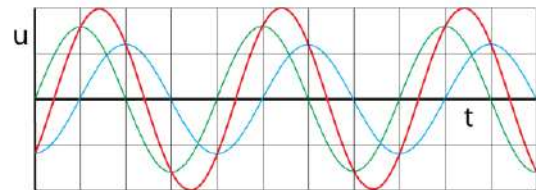
5****

- 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?

- $f = 500 \text{ Hz} \quad | \quad v_{\text{golf}} = 343 \text{ m/s} \quad | \quad \lambda = \dots \text{ m}$
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda \rightarrow 343 = 500 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 0,686 \text{ m}$
- 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

9.5 Watergolven, geluid en licht

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 Kun je de frequentie van het steken horen?

- 300 steken per minuut is $300/60 = 5,0$ steken per seconde
- de frequentie is $5,0 \text{ Hz}$ $\rightarrow$ deze frequentie kun je niet horen

b Welke frequentie hoor je in deze auto?

- 2400 toeren per minuut is $2400/60 = 40$ toeren per seconde
- de auto heeft een frequentie van 40 Hz deze frequentie kun je wel horen

3**

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

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

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 .

- $f = 261,63 \text{ Hz}$ | $v_{\text{geluid}} = 332 \text{ m/s}$ | $\lambda = \dots \text{ m}$

- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda \rightarrow \lambda = \frac{v_{\text{golf}}}{f}$
- $\lambda = \frac{332}{261,63} = 1,26897 = 1,27 \text{ m}$

4**

a Bereken de frequentie van de toon.

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

b Bereken de golflengte van deze toon in millimeter.

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

5**

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 $T = 20^\circ \text{C}$.

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

6**

a Bereken de frequentie van deze toon in kHz.

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

b Bereken de golflengte van een toon van 14 Hz bij $T = 40^\circ \text{C}$.

- $v_{\text{golf}} = 354 \text{ m/s} \mid f = 14 \text{ Hz} \mid \lambda = \dots \text{m}$
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda \rightarrow 354 = 14 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 25,286 = 25 \text{ m}$

7***

- 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.
- $s = 150 \text{ m} \quad | \quad v_{\text{golf lucht}} = 343 \text{ m/s} \quad | \quad v_{\text{golf ijzer}} = 5100 \text{ m/s} \quad | \quad t = \dots \text{ s}$
 - 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: $\Delta t = 0,43718 - 0,029412 = 0,407768 = 0,408 \text{ s}$
- 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
 - $f = 300 \text{ Hz} \quad | \quad v_{\text{golf ijzer}} = 5100 \text{ m/s} \quad | \quad \lambda = \dots \text{ m}$
 - $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda \rightarrow 5100 = 300 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 17,00 \text{ m}$
- e** Bereken de golflengte van de toon in lucht
- de frequentie van de boormachine is 300 Hz
 - $f = 300 \text{ Hz} \quad | \quad v_{\text{golf lucht}} = 343 \text{ m/s} \quad | \quad \lambda = \dots \text{ m}$
 - $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda \rightarrow 343 = 300 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 1,14333 = 1,14 \text{ m}$

8****

- 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
 - $s = 3000 \text{ m} \quad | \quad v_{\text{gem}} = 343 \text{ m/s} \quad | \quad t = \dots \text{ s}$
 - $s = v_{\text{gem}} \cdot t \rightarrow 3000 = 343 \cdot t \rightarrow t = 8,74636 = 8,7 \text{ s}$
- c** Bereken hoe lang de donder aanhoudt.
- grootste afstand tot de bliksem is 6,7082 km = 6708,2 m
 - $s = 6708,2 \text{ m} \quad | \quad v_{\text{gem}} = 343 \text{ m/s} \quad | \quad t = \dots \text{ s}$
 - $s = v_{\text{gem}} \cdot t \rightarrow 6708,2 = 343 \cdot t \rightarrow t = 19,5574 = 19,56 \text{ s}$
 - verschil in tijd $\Delta t = 19,5574 - 8,74636 = 10,811 = 11 \text{ s}$

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

Afstand tot de geluidsbron bij bolvormige golven

9**

a Bereken het vermogen van de schoolbel.

- $I = 0,19 \cdot 10^{-3} \text{ W / m}^2 \quad | \quad r = 15 \text{ m} \quad | \quad P_{\text{bron}} = \dots \text{ W}$

- $I = \frac{P_{\text{bron}}}{4\pi \cdot r^2}$

- $1,0 \cdot 10^{-3} = \frac{P_{\text{bron}}}{4\pi \cdot 15^2} \rightarrow P_{\text{bron}} = 2,82743 = 2,8 \text{ W}$

b Beredeneer hoe groot de intensiteit is op 30 m afstand?

- de afstand is 2 keer zo groot geworden
- de intensiteit is $2^2 = 4$ keer zo klein

- $I = \frac{1,0 \cdot 10^{-3}}{4} = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ W / m}^2$

c Beredeneer hoe groot de intensiteit is op 3,0 km afstand?

- de afstand is 100 keer zo groot geworden als bij 30 meter
- de intensiteit is $100^2 = 10000$ keer zo klein

- $I = \frac{2,5 \cdot 10^{-4}}{10000} = 2,5 \cdot 10^{-8} \text{ W / m}^2$

10***

a Bereken het vermogen van de bron.

- $I = 1,0 \text{ W / m}^2 \quad | \quad r = 10 \text{ m} \quad | \quad P_{\text{bron}} = \dots \text{ W}$

- $I = \frac{P_{\text{bron}}}{4\pi \cdot r^2}$

- $1,0 = \frac{P_{\text{bron}}}{4\pi \cdot 10^2} \rightarrow P_{\text{bron}} = 1256,637 = 1,3 \cdot 10^3 \text{ W}$

b Bereken de intensiteit die je vriend hoort.

- $P_{\text{bron}} = 1256,637 \text{ W} \quad | \quad r = 350 \text{ m} \quad | \quad I = \dots \text{ W / m}^2$

- $I = \frac{P_{\text{bron}}}{4\pi \cdot r^2}$

- $I = \frac{1256,637}{4\pi \cdot 350^2} = 8,16326 \cdot 10^{-4} = 8,2 \cdot 10^{-4} \text{ W / m}^2$

c Is de knal op 100 km afstand nog hoorbaar?

- $P_{\text{bron}} = 1256,637 \text{ W} \quad | \quad r = 100 \cdot 10^3 \text{ m} \quad | \quad I = \dots \text{ W / m}^2$

- $I = \frac{P_{\text{bron}}}{4\pi \cdot r^2}$

- $I = \frac{1256,637}{4\pi \cdot (100 \cdot 10^3)^2} = 1,0 \cdot 10^{-8} \text{ W / m}^2$
- dit is meer dan $1,0 \cdot 10^{-10} \text{ W / m}^2$ dus op 100 km afstand is de knal nog hoorbaar

11***

- a** Bereken hoever je van de luidspreker moet gaan staan om geen gehoorbeschadiging op te lopen.
- bereken eerst P_{bron}
 - $I_1 = 0,5 \text{ W / m}^2 \quad | \quad r_1 = 2,0 \text{ m} \quad | \quad P_{\text{bron}} = \dots \text{ W / m}^2$
 - $I = \frac{P_{\text{bron}}}{4\pi \cdot r^2}$
 - $0,5 = \frac{P_{\text{bron}}}{4\pi \cdot 2^2} \rightarrow P_{\text{bron}} = 25,13274 \text{ W}$
 - P_{bron} verandert niet
 - $5 \cdot 10^{-3} = \frac{25,13274}{4\pi \cdot r_2^2} \rightarrow r_2^2 = 400$
 - $r_2 = \sqrt{400} = 20 \text{ m}$
- b** Bereken met hoeveel W/m^2 door de oordopjes wordt doorgelaten als je op een afstand van 2,0 m van de luidspreker staat.
- 98% van 500 mW/m^2 wordt tegengehouden $\rightarrow I_{\text{tegen}} = 0,98 \cdot 500 = 490 \text{ mW / m}^2$
 - er wordt $500 - 490 = 10 \text{ mW / m}^2$ doorgelaten
- c** Bereken hoe dicht je met oordoppen bij de luidspreker kunt gaan staan om $5,0 \text{ mW/m}^2$ geluidsintensiteit te horen.
- bereken eerst P_{bron}
 - $I_1 = 10 \cdot 10^{-3} \text{ W / m}^2 \quad | \quad r_1 = 2,0 \text{ m} \quad | \quad P_{\text{bron}} = \dots \text{ W}$
 - $I = \frac{P_{\text{bron}}}{4\pi \cdot r^2}$
 - $10 \cdot 10^{-3} = \frac{P_{\text{bron}}}{4\pi \cdot 2^2} \rightarrow P_{\text{bron}} = 0,502655 \text{ W / m}^2$
 - P_{bron} verandert niet
 - $5,0 \cdot 10^{-3} = \frac{0,502655}{4\pi \cdot r^2} \rightarrow r = 2,82843 = 2,8 \text{ m}$

OOK GOED

- geluidsintensiteit moet 2 keer zo klein worden
- afstand moet $\sqrt{2} = 1,41421$ keer zo groot worden
- $2,0 \cdot 1,41421 = 2,82843 = 2,8 \text{ m}$
- je moet op 2,8 meter gaan staan

12****

- a** Bereken hoeveel procent van de geluidsenergie de gehoorbescherming moet tegenhouden.
- 100 mW/m^2 wordt teruggebracht tot $100 \mu\text{W/m}^2$

- geluidsintensiteit wordt 1000 keer kleiner
- er blijft 1/1000 deel over
- 99,9% wordt tegengehouden

b Bereken op welke afstand je van de drillboor moet gaan staan om zonder gehoorbescherming ook aan maximaal $100 \mu\text{W}/\text{m}^2$ te worden blootgesteld.

- bereken eerst P_{bron}
- $I_1 = 100 \cdot 10^{-3} \text{ W}/\text{m}^2$ | $r_1 = 1,5 \text{ m}$ | $P_{\text{bron}} = \dots \text{ W}$
- $I = \frac{P_{\text{bron}}}{4\pi \cdot r^2}$
- $100 \cdot 10^{-3} = \frac{P_{\text{bron}}}{4\pi \cdot 1,5^2} \rightarrow P_{\text{bron}} = 2,82743 \text{ W}$
- P_{bron} verandert niet
- $100 \cdot 10^{-6} = \frac{2,82743}{4\pi \cdot r^2} \rightarrow r = 47,4342 \text{ m}$
- je moet op 48 meter gaan staan [naar boven afronden](#)
- je moet op 48 meter gaan staan [naar boven afronden](#)

OOK GOED

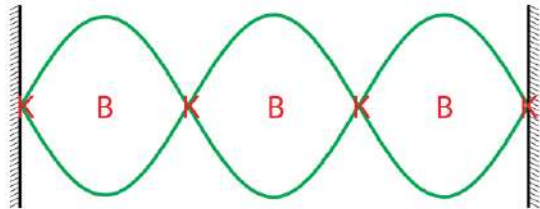
- geluidsintensiteit wordt 1000 keer minder
- afstand moet $\sqrt{1000} = 31,623$ keer zo groot worden
- $1,5 \cdot 31,623 = 47,4342 \text{ m}$
- je moet op 48 meter gaan staan [naar boven afronden](#)

9.6 Staande golven

Twee vaste uiteinden (snaarinstrumenten)

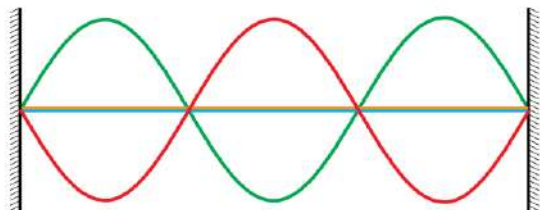
1**

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



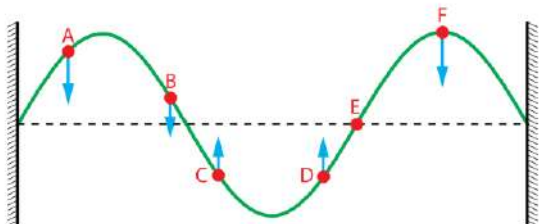
2**

- a Teken de stand van het koord op $t = \frac{1}{4} T$
- oranje lijn
- b Teken de stand van het koord op $t = \frac{1}{2} T$
- rode lijn
- c Teken de stand van het koord op $t = \frac{3}{4} T$
- blauwe lijn
- d Teken de stand van het koord op $t = T$
- groene lijn



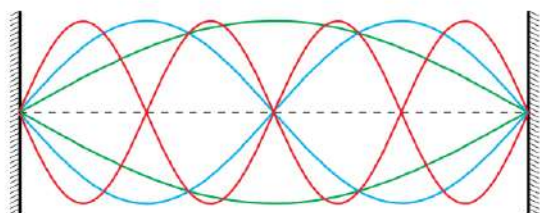
3**

- 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.
- $F \rightarrow A \rightarrow C \text{ \& } D \rightarrow B \rightarrow E$
- c Wie heeft er gelijk, Timo, Lucas of geen van beiden?
- bij de uiterste stand staan alle punten in het koord stil $\rightarrow$ 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 | $\ell = 0,75 - 0,25 = 0,50 \text{ m}$
 - $0,50 = \frac{1}{2}\lambda \rightarrow \lambda = 1,0 \text{ m}$
 - $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$
 - $420 = f \cdot 1,0 \rightarrow f = 420 = 4,2 \cdot 10^2 \text{ Hz}$
- 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
 - $f = 440 \text{ Hz}$ | $v_{\text{golf}} = 290 \text{ m/s}$ | $\lambda = \dots \text{ m}$
 - $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$
 - $290 = 440 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 0,659 \text{ m}$
 - 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?

- $f = 587 \text{ Hz}$ | $v_{\text{golf}} = 290 \text{ m/s}$ | $\lambda = \dots \text{ m}$
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$
- $290 = 587 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 0,494 \text{ m}$
- 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
- $v_{\text{golf}} = \sqrt{\frac{F_s \cdot \ell}{m}} \rightarrow F_s$ 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 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.

- 2^e boventoon: **B - K - B - K - B - K - B** **B K B K B K B** 3^e
- $\ell = 6 \cdot \frac{1}{4} \lambda = \frac{3}{2} \lambda \rightarrow \lambda = \frac{2}{3} \cdot \ell$
- 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: $f_0 = 300/3 = 100 \text{ Hz}$

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**
- 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.
- $f = 1318,5 \text{ Hz}$ | $v_{\text{golf}} = 343 \text{ m/s}$ | $\lambda = \dots \text{ m}$
 - $343 = 1318,5 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 0,26014 \text{ m}$
 - $\ell = \frac{1}{2}\lambda \rightarrow \ell = \frac{1}{2} \cdot 0,26014 = 0,13007 = 0,130 \text{ m}$
- 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

- 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
- $f_0 = \frac{1}{3} \cdot f_1 \rightarrow f_0 = \frac{1}{3} \cdot 300 = 100 \text{ Hz}$

K B K B K B K B 3^e

- 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 uiteinde

- 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
 - 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 $\ell = \frac{0,328}{4} = 0,082 \text{ m}$ (8,2 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
- $\ell = 3 \cdot \frac{1}{4} \lambda$
- $0,082 = \frac{3}{4} \lambda \rightarrow \lambda = \frac{4 \cdot 0,082}{3} = 0,10933 \text{ m}$
- $v_{\text{golf}} = 343 \text{ m/s} \mid \lambda = 0,10933 \text{ m} \mid f = \dots \text{ Hz}$
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$
- $343 = f \cdot 0,10933 \rightarrow f = 3137,2 = 3,14 \cdot 10^3 \text{ Hz}$ (muzieknoot 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.

- $f = 500 \text{ Hz} \mid v_{\text{golf}} = 343 \text{ m/s} \mid \lambda = \dots \text{ m}$
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda \rightarrow 343 = 500 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 0,686 \text{ m}$
- 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
- $x = \ell - 0,024 \rightarrow x = 0,5145 - 0,024 = 0,4905 \text{ m}$
- $x_{\text{nieuw}} - x_{\text{oud}} = 0,4905 - 0,1475 = 0,343 \text{ m}$

Examenvragen havo

Blokfluit

- 4p **1** Bereken de frequentie van de laagste toon.
- grondtoon: $B - K - B = \frac{1}{2}\lambda$ 1
 - $\frac{1}{2}\lambda = \ell + 0,30 \cdot d \rightarrow \lambda = 2 \cdot (0,325 + 0,3 \cdot 0,022) = 0,6632 \text{ m}$ 1
 - $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$ met $v_{\text{golf}} = 343 \text{ m/s}$ 1
 - $343 = f \cdot 0,6632 \rightarrow f = 517,189 = 517 \text{ Hz}$ 1
- 2p **2** Bereken de constante C in deze formule.
- $20^\circ\text{C} = 293,15 \text{ K}$ 1
 - $v_{\text{golf}} = C \cdot \sqrt{T} \rightarrow 343 = C \cdot \sqrt{293,15} \rightarrow C = 20,03315 = 20,0 \text{ m s}^{-1} \text{ K}^{-1}$ 1
- 3p **3** Leg uit of deze afstand groter dan wel kleiner moet worden gemaakt.
- $v_{\text{golf}} = C \cdot \sqrt{T} \rightarrow$ als de temperatuur stijgt wordt v groter 1
 - $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda \rightarrow v_{\text{golf}}$ wordt groter en f moet gelijk blijven $\rightarrow \lambda$ moet groter worden 1
 - $B - K - B = \frac{1}{2}\lambda \rightarrow$ de afstand van B_1 tot B_2 moet groter worden 1
- 5p **4** Breken hoever het mondstuk moet worden verschoven om ervoor te zorgen dat de laagste toon dezelfde frequentie behoudt.
- $T = 273,15 + 25 = 298,15 \text{ K} \mid C = 20,03315 \text{ m s}^{-1} \text{ K}^{-1} \mid v = \dots \text{ m/s}$
 - $v = C \cdot \sqrt{T} \rightarrow v = 20,03315 \cdot \sqrt{298,15} \rightarrow v = 345,9128 \text{ m/s}$ 1
 - $v_{\text{golf}} = 345,9128 \text{ m/s} \mid f = 517,189 \text{ Hz} \mid \lambda = \dots \text{ m}$
 - $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda \rightarrow 345,9128 = 517,189 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 0,6688325 \text{ m}$ 1
 - $\frac{1}{2}\lambda = \ell + 0,30 \cdot d \rightarrow 0,5 \cdot 0,6688325 = \ell + 0,3 \cdot 0,022$ 1
 - $0,5 \cdot 0,6688325 - 0,3 \cdot 0,022 = \ell \rightarrow \ell = 0,327816 \text{ m}$ 1
 - verschil $0,327816 - 0,325 = 2,81625 \cdot 10^{-3} = 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ (2,8 mm) 1

Gitaar

- 3p **1** Bereken de snelheid waarmee de trilling zich in de E-snaar voortplant als deze is aangeslagen.
- grondtoon: $K - B - K = \frac{1}{2}\lambda$ 1
 - gebruik $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$ met $\lambda = 2 \cdot 0,65 = 1,3 \text{ m}$ 1
 - $v_{\text{golf}} = 330 \cdot 1,3 = 429 \text{ m/s}$ 1
- 4p **2** Geef in figuur 1 met een pijl de fret aan die bij een toon van 494 Hz hoort. Licht je keuze toe met een berekening.
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda \rightarrow 429 = 494 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 0,868421 \text{ m}$ 1
 - knopen bij P en bij fret $\rightarrow$ afstand $K - \text{fret} = \frac{1}{2}\lambda = 0,4342105 \text{ m}$ 1

- opmeten afstand $P - Q = 8,7 \text{ cm} \rightarrow P - \text{fret} = \frac{0,43421}{0,65} \cdot 8,7 = 5,8116 \text{ cm}$ 1
- de juiste fret ligt in figuur 1 op 5,8 cm van punt P
- dit correspondeert met de 7^e fret van rechts (naast de aangegeven fret) 1

Aardbeving

- 2p **1** Noem het verschil tussen longitudinale en transversale golven.
- longitudinale golven: de trilling heeft dezelfde richting als de bewegingsrichting van de golf 1
 - transversale golf: de richting van de trilling staat loodrecht op de bewegingsrichting van de golf 1
- 3p **2** Bereken de golflengte van de transversale golven in dit gesteente.
- gebruik $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$ 1
 - omrekenen: $3,4 \text{ km/s} = 3400 \text{ m/s}$ 1
 - $3400 = 1,2 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 2833 = 2,8 \cdot 10^3 \text{ m} (= 2,8 \text{ km})$ 1
- 4p **3** Bereken de veerconstante van de veer.
- $T = \frac{1}{f} \rightarrow T = \frac{1}{0,37} = 2,7027 \text{ s}$ 1
 - gebruik: $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{C}}$ 1
 - $2,7027 = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{4,2}{C}} \rightarrow \left(\frac{2,7027}{2\pi}\right)^2 = \frac{4,2}{C}$ 1
 - $C = 22,699 = 23 \text{ N/m}$ 1
- 4p **4** Bepaal de gemiddelde snelheid van de longitudinale golven. Geef het antwoord in twee significante cijfers.
- de L-golven komt 3,5 minuten eerder aan dan de T-golven 1
 - T-golven: $s = v_{\text{gem}} \cdot t \rightarrow 2,3 \cdot 10^6 = 3,4 \cdot 10^3 \cdot t \rightarrow t = 676,47 \text{ s}$ 1
 - de L-golven doen er $676,47 - 3,5 \cdot 60 = 466,47 \text{ s}$ over 1
 - $s = v_{\text{gem}} \cdot t \rightarrow 2,3 \cdot 10^6 = v_{\text{golf L}} \cdot 466,47 \rightarrow v_{\text{golf L}} = 4,93 \cdot 10^3 = 4,9 \cdot 10^3 \text{ m/s}$ 1
(marge $0,3 \cdot 10^3 \text{ m/s}$)

Echoscopie

- 3p **1** Bepaal met behulp van figuur 2 de golflengte van dit ultrageluid in het vetweefsel. Geef de uitkomst in drie significante cijfers.
- aflezen: twee trillingen duren $1,00 \cdot 10^{-6} \text{ s} \rightarrow T = 1,0 \cdot 10^{-6} / 2 = 5,00 \cdot 10^{-7} \text{ s}$ 1
 - $T = 5,0 \cdot 10^{-7} \mid v_{\text{golf}} = 1450 \text{ m/s} \mid \lambda = \dots \text{ m}$
 - $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda \rightarrow \lambda = v_{\text{golf}} \cdot T$ 1
 - $\lambda = 1450 \cdot 5,0 \cdot 10^{-7} = 7,25 \cdot 10^{-4} \text{ m}$ 1

- 3p **2** Bepaal met behulp van figuur 2 hoe dik het vetweefsel is tussen de probe en de baarmoederwand.
- aflezen bij voorkanten van golven: om het weefsel 2 keer te passeren (heen en terug) heeft het geluid $21 \cdot 10^{-6}$ s nodig 1
 - $v_{\text{golf}} = 1450 \text{ m/s} \quad | \quad t = 21 \cdot 10^{-6} \text{ s} \quad | \quad s = \dots \text{ m}$
 - $s = v_{\text{gem}} \cdot t$ 1
 - $s = 1450 \cdot 21 \cdot 10^{-6} = 3,045 \cdot 10^{-2} \text{ m}$
 - dikte vetlaag: $\frac{1}{2}s = 0,5 \cdot 3,045 \cdot 10^{-2} = 1,5225 \cdot 10^{-2} = 1,52 \cdot 10^{-2} \text{ m} \quad (1,52 \text{ cm})$ 1

Kerkorgel (aangepast)

- 4p **1** Bepaal de frequentie van deze toon.
- aflezen: 4 trillingen in 42 ms (minimaal 3 perioden gebruiken) 1
 - $T = \frac{42}{4} = 10,5 \text{ ms} = 10,5 \cdot 10^{-3} \text{ s} \quad (\text{marge } 0,2 \text{ ms})$ 1
 - gebruik: $f = \frac{1}{T}$ 1
 - $f = \frac{1}{10,5 \cdot 10^{-3}} = 95,238 = 95 \text{ Hz}$ 1
- 2p **2** Wie van hen heeft gelijk? Licht je mening toe.
- de sinus van de grondtoon wordt door de boventonen vervormd 1
 - Nynke heeft gelijk 1
- 4p **3** Bereken met deze gegevens de geluidssnelheid in lucht.
- inzicht: $\ell = \frac{1}{4}\lambda$ 1
 - $\lambda = 4 \cdot \ell \rightarrow \lambda = 4 \cdot 0,387 = 1,548 \text{ m}$ 1
 - gebruik $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$ 1
 - $v_{\text{golf}} = 220 \cdot 1,548 = 340,56 = 341 \text{ m/s}$ 1
- 3p **4** Leg uit welke van de drie open pijpen A, B of C dezelfde grondtoon heeft als de gesloten pijp.
- inzicht: λ is voor beide pijpen hetzelfde (want v_{golf} en f zijn hetzelfde) 1
 - inzicht: $\lambda = 4 \cdot \ell_{\text{gesloten}}$ en $\lambda = 2 \cdot \ell_{\text{open}} \rightarrow \ell_{\text{open}} = 2 \cdot \ell_{\text{gesloten}}$ 1
 - pijp C is twee keer zo lang als de gesloten pijp, dus pijp C geeft dezelfde grondtoon 1

Echoput

- 4p **1** Toon aan dat deze meting bevestigt dat het wateroppervlak zich 86 m onder de rand van de put bevindt. Neem aan dat de temperatuur van de lucht in de put 20°C is.
- tijdsverschil tussen klap en echo: $\Delta t = 0,55 - 0,05 = 0,50 \text{ s}$ 1
 - opzoeken $v_{\text{geluid}} = 343 \text{ m/s}$ 1

- $s = v_{\text{gem}} \cdot t \rightarrow s = 343 \cdot 0,5 = 171,5 \text{ m}$ 1
 - Δx is 2 keer de diepte $\rightarrow$ diepte is $171,5/2 = 85,75 = 86 \text{ m}$ 1
- 4p 2 Bereken de tijd tussen het loslaten van de steen en het horen van de plons. Verwaarloos de luchtwrijving op de steen.
- steen maakt een vrije val over 85,75 m
 - $v_{\text{eind}} = a \cdot t \rightarrow v_{\text{gem}} = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t$
 - $s = v_{\text{gem}} \cdot t \rightarrow s = \frac{1}{2} a \cdot t^2$ met $a = 9,81 \text{ m/s}^2$ 1
 - $85,75 = \frac{1}{2} \cdot 9,81 \cdot t^2 \rightarrow t = 4,181167 \text{ s}$ 1
 - het geluid moet 85,75 m afleggen en dit duurt 0,25 s (zie figuur) 1
 - totale tijd: $4,181167 + 0,25 = 4,431167 = 4,4 \text{ s}$ 1
- 3p 3 Leg uit welke van deze twee uitspraken, de onderste of de bovenste, het beste "ezel" als antwoord geeft.
- nadat Nienke is uitgesproken hoort ze nog gedurende 0,50 s de echo 1
 - in de bovenste registratie duurt "ezel" ongeveer 0,50 s en in de onderste veel langer 1
 - bij de bovenste uitspraak hoort Nienke dus "ezel" 1
- 4p 4 Geef hiervoor een verklaring. Bereken daartoe eerst de frequentie van de grondtoon van deze 'orgelpijp'.
- grondtoon $\rightarrow$ knoop op de bodem en een buik boven $\rightarrow K - B = \ell = \frac{1}{4} \lambda$ 1
 - $\frac{1}{4} \lambda = \ell \rightarrow \lambda = 4 \cdot 85,75 = 343 \text{ m}$ 1
 - $v_{\text{golf}} = 343 \text{ m/s} \rightarrow \lambda = 343 \text{ m} \mid f = \dots \text{ Hz}$
 - $343 = f \cdot 343 \rightarrow f = 1,0 \text{ Hz}$ 1
 - lager dan 20 Hz kan een mens niet horen $\rightarrow$ kan 1,0 Hz niet horen 1

Buis van Rubens

- 1p 1 Welke van de afstanden, x of y, is gelijk aan één hele golflengte?
- afstand $B - K = \frac{1}{4} \lambda$
 - afstand $y = 4 \cdot \frac{1}{4} \lambda = \lambda$ 1
- 4p 2 Bepaal de voortplantingssnelheid van het geluid in aardgas.
- opmeten in figuur 1: $3 \cdot \lambda = 8,5 \text{ cm} \rightarrow \lambda = \frac{8,5}{3} = 2,83 \text{ cm}$ 1
 - opmeten in figuur 1: $11,2 \text{ cm} \leftrightarrow 202 \text{ cm} \rightarrow 1,0 \text{ cm} = \frac{202}{11,2} = 18,0 \text{ cm}$
 - $\lambda = 18 \cdot 2,83 = 51 \text{ cm} = 0,51 \text{ m}$ 1
 - $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$ 1
 - $v_{\text{golf}} = 890 \cdot 0,51 = 453,9 = 454 \text{ m/s}$ (marge 20 m/s) 1
- 4p 3 Beantwoord de volgende vragen:
- Geef een verklaring voor het verdwijnen van de resonantie.

- Moet Marc een grotere of juist een kleinere frequentie instellen om hetzelfde golfpatroon weer terug te krijgen? Licht je antwoord toe.
- als de vlammetjes een tijdje branden stijgt de temperatuur van het gas 1
- de golflengte past dan niet meer bij de lengte van de buis 1
- de golflengte moet kleiner worden 1
- de frequentie moet groter worden 1

Rugzakgenerator

- 3p **1** Bepaal met behulp van figuur 1 het verschil tussen de maximale en minimale zwaarte-energie van de rugzak.
- aflezen: $\Delta h = 1,167 - 1,113 = 0,054 \text{ m}$ 1
 - $\Delta E_z = m \cdot g \cdot \Delta h$ 1
 - $\Delta E_z = 29 \cdot 9,81 \cdot 0,054 = 15,36 = 15 \text{ J}$ 1
- 3p **2** Bepaal met behulp van figuur 1 de horizontale snelheid van de wandelaar in km/h.
- aflezen: één stap duurt 0,52 s 1
 - $v_{\text{gem}} = \frac{s}{t}$ 1
 - $v_{\text{gem}} = \frac{0,7}{0,52} = 1,346 \text{ m/s} = 1,346 \cdot 3,6 = 4,846 = 4,8 \text{ km/h}$ 1
- 2p **3** Bepaal met behulp van figuur 3 de grootte van de amplitude A. Licht toe hoe je de grootte van A hebt bepaald.
- de amplitude is gelijk aan de maximale afstand tussen de grafieken van de rugzak en het frame
 - aflezen: $A = 2,4 \text{ cm}$ (marge 0,2 cm)
- 3p **4** Bereken de hoeveelheid energie die is opgewekt na 3,5 uur lopen.
- $t = 3,5 \cdot 3600 = 12600 \text{ s}$ 1
 - $E = P \cdot t$ 1
 - $E = 3,7 \cdot 12600 = 46620 = 4,7 \cdot 10^4 \text{ J}$ 1
- 3p **5** Bereken de eigenfrequentie van de rugzak.
- $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{C}}$ 1
 - $T = 2\pi \sqrt{\frac{29}{4,1 \cdot 10^3}} = 0,52843 \text{ s}$ 1
 - $f = \frac{1}{T} \rightarrow f = \frac{1}{0,52843} = 1,8924 = 1,9 \text{ Hz}$ 1
- 2p **6** Moet hij daarvoor de massa groter of kleiner maken? Licht je antwoord toe.
- stapfrequentie wordt groter $\rightarrow T_{\text{eigen}}$ moet kleiner worden 1
 - $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{C}} \rightarrow m$ moet kleiner worden 1

Loopbrug

- 2p **1** Bepaal de amplitude van de trilling die de voet van de professor uitvoert.
- aflezen: maximum: $s_{\max} = 1,16 \text{ m}$ | minimum: $s_{\min} = 0,43 \text{ m}$
 - verschil: $s_{\max} - s_{\min} = 1,16 - 0,43 = 0,73 \text{ m}$ 1
 - amplitude: $A = \frac{s_{\max} - s_{\min}}{2} = \frac{0,73}{2} = 0,365 = 0,37 \text{ m}$ (marge 0,01 m) 1
- 2p **2** Bepaal de frequentie van de trilling die de voet van de professor uitvoert.
- aflezen drie trillingen: $T = \frac{14,3 - 8,9}{3} = 1,8 \text{ s}$ 1
 - $f = \frac{1}{T} \rightarrow f = \frac{1}{1,8} = 0,5555 = 0,56 \text{ Hz}$ 1
- 4p **3** Bepaal maximale snelheid van de voet van de professor.
- de snelheid correspondeert met de steilheid van de raaklijn aan de grafiek 1
 - de snelheid is maximaal als de voet door de evenwichtsstand gaat 1
 - teken een lange raaklijn en lees Δs en Δt af 1
 - $v_{\max} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{1,20 - 0,30}{10,55 - 9,85} = 1,3 \text{ m/s}$ (marge 0,2 m/s) 1
- OOK GOED
- de grafiek is sinusvormig $\rightarrow$ de trilling is harmonisch 1
 - $v_{\max} = \frac{2\pi \cdot A}{T}$ 1
 - $A = 0,37 \text{ m}$ | $T = 1,8 \text{ s}$ 1
 - $v_{\max} = \frac{2\pi \cdot 0,37}{1,8} = 1,2915 = 1,3 \text{ m/s}$ 1
- 3p **4** Bereken de voortplantingssnelheid van de lopende golven in de brug.
- aflezen in figuur 2: $\lambda = 28 \text{ m}$ 1
 - $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$ 1
 - $v_{\text{golf}} = 0,56 \cdot 28 = 15,68 = 16 \text{ m/s}$ 1
- 3p **5** Teken in figuur 3 de uiterste standen van de staande golf die bij deze frequentie in de brug ontstaat. Licht je tekening toe met een berekening of een redenering.
- verhouding $\frac{f_{\text{nieuw}}}{f_{\text{oud}}} = \frac{0,84}{0,56} = 1,5$ 1
 - $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$, v_{golf} verandert niet, f wordt 1,5 keer groter $\rightarrow \lambda$ wordt 1,5x kleiner 1
 - teken de uiterste standen van de staande golf 1



OOK GOED

- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$ | $v_{\text{golf}} = 15,68 \text{ m/s}$ (verandert niet)
- $15,68 = 0,84 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 18,666 \text{ m}$ 1

- $1,5 \cdot 18,666 = 28$, λ_{nieuw} past anderhalf keer in de lengte van de brug 1
- teken de uiterste standen van de staande golf 1

- 1p 6 Leg uit waarom dat een goed advies is.
- als de stapfrequentie in de buurt ligt van een eigenfrequentie van de brug komt de brug in resonantie en wordt de amplitude heel groot waardoor de brug kan instorten 1

Harp

- 3p 1 Bereken de frequentie van de grondtoon van deze snaar.

- grondtoon: **K – B – K**
- $\ell = 2 \cdot \frac{1}{4} \lambda = \frac{1}{2} \lambda$
- $0,45 = \frac{1}{2} \lambda \rightarrow \lambda = 0,90 \text{ m}$ 1
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$ 1
- $4,0 \cdot 10^2 = f \cdot 0,90 \rightarrow f = 444,44 = 4,4 \cdot 10^2 \text{ Hz}$ 1

- 2p 2 Leg uit of een langere snaar een hogere of een lagere grondtoon geeft.

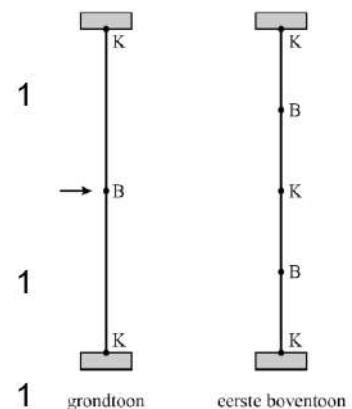
- de golflengte wordt groter bij een langere snaar 1
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$: λ wordt groter $\rightarrow f$ wordt kleiner $\rightarrow$ toon wordt lager 1

- 3p 3 Voer de volgende opdrachten uit:

– Geef in figuur 3 de plaats van de knoop/knopen (K) en buik/buiken (B) aan bij een snaar die trilt in de grondtoon.

- grondtoon: twee knopen en één buik op de juiste plaats 1
- Geef in figuur 3 de plaats van de knoop/ knopen (K) en buik/buiken (B) aan bij een snaar die trilt in de eerste boventoon.

- 1^e boventoon: drie knopen en twee buiken op de juiste plaats 1
- Geef in de tekening van de grondtoon met een pijltje aan waar de harpist de snaar licht gedempt heeft.
- pijltje halverwege de snaar in de grondtoon 1



- 3p 4 Laat zien dat $\sqrt{\frac{F_s \cdot \ell}{m}}$ dezelfde eenheid heeft als v .

- eenheid spankracht $N = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ 1

- eenheid: $\left[\frac{F_s \cdot \ell}{m} \right] = \frac{\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m}}{\text{kg}} = \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$ 1

- eenheid: $\sqrt{\frac{F_s \cdot \ell}{m}} = \frac{\text{m}}{\text{s}}$ 1

- 3p **5** Welke snaar geeft de hoogste toon? Licht je antwoord toe.
- de massa van een nylon snaar is kleiner dan die van een stalen snaar 1
 - de golfsnelheid in de nylon snaar is groter dan die in de stalen snaar 1
 - λ blijft gelijk $\rightarrow v_{\text{golf}}$ wordt groter $\rightarrow f$ wordt groter $\rightarrow$ nylon heeft de hoogste toon 1

- 2p **6** Beantwoord nu de volgende vragen:
- Op welk natuurkundig verschijnsel is deze demonstratie gebaseerd?
 - Wat is de rol van de houten stok bij deze demonstratie?
 - de demonstratie is gebaseerd op resonantie 1
 - de houten stok geeft de trilling van de piano door aan de harp 1

Parasaurolophus

- 1p **1** Op welk natuurkundig verschijnsel is dit gebaseerd?
- op resonantie 1
- 3p **2** Toon met een berekening aan dat de grondtoon die de dino met deze hoorn kon laten horen een frequentie had van 48 Hz.
- grondtoon: K – B
 - $\ell = 1 \cdot \frac{1}{4} \lambda \rightarrow 1,8 = \frac{1}{4} \lambda \rightarrow \lambda = 7,2 \text{ m}$ 1
 - $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$ met $v_{\text{golf}} = 343 \text{ m/s}$ 1
 - $343 = f \cdot 7,2 \rightarrow f = 47,64 = 48 \text{ Hz}$ 1
- 3p **3** Beredeneer of dit de eerste, de tweede, de derde, de vierde of de vijfde boventoon is.
- $\frac{f_{\text{boventoon}}}{f_{\text{grondtoon}}} = \frac{240}{48} = 5$ 1
 - grondtoon: K – B $\ell = 1 \cdot \frac{1}{4} \lambda \rightarrow \lambda = \frac{4}{1} \cdot \ell$
 - 1^e boventoon: K – B – K – B $\ell = 3 \cdot \frac{1}{4} \lambda \rightarrow \lambda = \frac{4}{3} \cdot \ell$
 - 2^e boventoon: K – B – K – B – K – B $\ell = 5 \cdot \frac{1}{4} \lambda \rightarrow \lambda = \frac{4}{5} \cdot \ell$
 - bij open–gesloten verhouden de frequenties zich als 1 : 3 : 5 1
 - het gaat om de tweede boventoon 1
- 2p **4** Leg uit of de grondtoon van een vrouwelijke Parasaurolophus hoger, lager of even hoog was als die van een mannelijk dier.
- de hoorn van een vrouwelijke Parasaurolophus is korter $\rightarrow \lambda$ is kleiner 1
 - $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$: λ wordt kleiner $\rightarrow f$ wordt groter $\rightarrow$ toon wordt hoger 1
- 3p **5** Beredeneer of voor deze dieren de grondtoon of juist de boventonen het meest geschikt waren om in bossen te communiceren.
- de grondtoon heeft een grotere golflengte dan een boventoon 1
 - de golflengte moet groter zijn dan de breedte van de boom 1
 - de grondtoon is meer geschikt om in bossen te communiceren 1

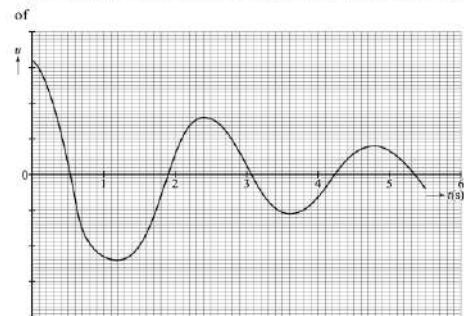
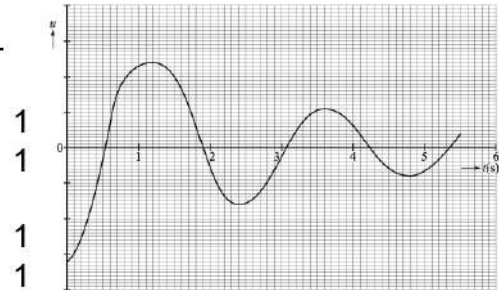
Railbaan

2p **1** Leg uit welk tijdsinterval overeenkomt met de trillingstijd van deze beweging.

- na 1,2 s in het hoogste punt rechts en na 2,4 s weer in hoogste punt links 1
- D komt overeen met de trillingstijd 1

4p **2** Schets in figuur 3 het (u,t)-diagram van deze beweging tussen $t = 0$ s en $t = 5,5$ s. De schaalverdeling op de verticale as is niet van belang.

- de amplitude neemt af
- de trillingstijd verandert niet gedurende 5,5 s
- de uitwijking is maximaal (of minimaal) als de hoogte boven de rail maximaal is
- juiste nulpunten



5p **3** Voer de volgende opdrachten uit:

- Construeer in figuur 4 de component van de zwaartekracht langs de railbaan.
- Bepaal met behulp van figuur 4 de grootte van de wrijvingskracht (in Newton) langs de railbaan op het moment van de foto.

- $F_z = 5,4$ cm en $F_z = 31 \cdot 9,81 = 304,11$ N
1 cm = 56,32 N
- teken vanuit F_z de lijn loodrecht op de raaklijn om $F_{z, \parallel}$ te bepalen
- $F_w = F_{z, \parallel} - F_{\text{res}}$
- lengte $F_w = 1,4$ cm (marge 0,2 cm)
- komt overeen met $1,4 \cdot 56,32 = 78,8 = 79$ N

1
1
1
1
1



3p **4** Bepaal met behulp van figuur 5 de afstand die hij dan langs de baan heeft afgelegd.

- afgelegde afstand is de oppervlakte onder de (v, t)-grafiek
- oppervlakte bepalen tussen $t = 0$ en $t = 1,2$ s
- afstand is 2,5 m (marge 0,4 m)

1
1
1

Slinger van Wilberforce

3p **1** Bereken de kracht van de veer die dan op het blok werkt.

- zwaartekracht: $F_z = m \cdot g \rightarrow F_z = 2,8 \cdot 9,81 = 27,468$ N 1
- 9,0 cm omlaag trekken: $F_{\text{veer}} = C \cdot u \rightarrow F_{\text{veer}} = 49 \cdot 0,09 = 4,41$ N 1
- $F = F_z + F_{\text{veer}} \rightarrow F = 27,468 + 4,41 = 31,878 = 32$ N 1

3p **2** Toon dit aan met behulp van een berekening.

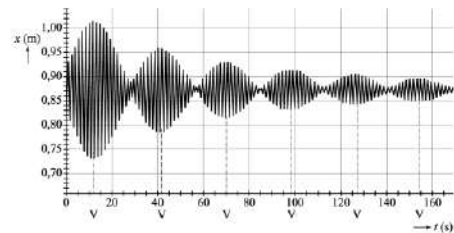
- gebruik: $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}}$ 1
- $T = 2\pi\sqrt{\frac{2,8}{49}} \rightarrow T = 1,50197 \text{ s}$ 1
- $f = \frac{1}{T} \rightarrow f = \frac{1}{1,50197} = 0,6658 = 0,67 \text{ Hz}$ 1

1p **3** Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de afstand van de onderkant van het blok tot de sensor, als het blok tot stilstand is gekomen.

- aflezen: 0,87 m (marge 0,5 cm) 1

2p **4** Geef in figuur 3 met de letter V alle tijdstippen aan waarop het blok alléén verticaal op en neer beweegt en niet draait.

- het gewicht beweegt alleen verticaal als de uitwijking maximaal is 1
- alle 6 tijdstippen juist aangegeven 1



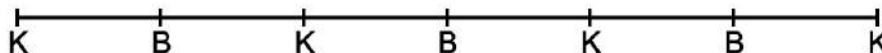
4p **5** Beantwoord nu de volgende vragen:

- Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de draaifrequentie van de slinger van Wilberforce. Licht je antwoord toe.
- Leg uit of er bij de slinger van Wilberforce sprake is van resonantie.
- aflezen: het gewicht draait 20 keer in 30 seconden $\rightarrow T = 1,5 \text{ s}$ 1
- (minstens 5 trillingen aflezen)
- $f = \frac{1}{T} \rightarrow f = \frac{1}{1,5} = 0,6667 = 0,67 \text{ Hz}$ 1
- de draaifrequentie is gelijk aan de frequentie waarmee de veer op en neer gaat 1
- er is dus sprake van resonantie 1

Vleugel

2p **1** Geef in figuur 2 de plaats van de knopen en de buiken op deze snaar aan als de snaar trilt in de tweede boventoon.

- 4 knopen en 3 buiken afwisselend 1
- afstand tussen K en B is constant 1



1p **2** Welke boventoon klinkt dan niet mee?

- B zevende boventoon 1

3p **3** Toon met een berekening aan dat de lengte die de langste snaar dan zou moeten hebben niet in een vleugel past.

- inzicht $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$ met $v_{\text{golf}} = \text{constant}$ 1
- inzicht ℓ is recht evenredig met λ 1

- $f = \frac{4186}{32,70} = 128$ keer zo klein $\rightarrow$ lengte is $128 \cdot 0,4 = 51,2$ m dus te lang 1

OOK GOED

- vast-vast $\rightarrow \lambda = 2 \cdot 0,4 = 0,80$ m 1
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda \rightarrow v_{\text{golf}} = 4186 \cdot 0,8 = 3348$ m/s 1
- $3348 = 32,7 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 102,41$ m $\rightarrow \ell = \frac{\lambda}{2} = 51,2$ m dus te lang 1

- 2p 4 Geef van elke bewering aan of deze bewering juist of onjuist is.
- 1 punt per goed antwoord

	bewering	juist	onjuist
1	De grondtoon van een snaar wordt lager als je de snaar strakker spant.		x
2	Als een snaar van roestvrij staal vervangen wordt door een snaar van koper, wordt de grondtoon lager. (De spankracht en de diameter veranderen niet.)	x	

Aan de formule zie je dat als F_s groter wordt v_{golf} ook groter wordt. Omdat $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$ én λ gelijk blijft wordt f groter. De grondtoon wordt dus hoger als je de snaar strakker spant.

Koper heeft een grotere dichtheid dan roestvrij staal. $\rho_{\text{koper}} = 8,96 \cdot 10^3$ kg m⁻³ en $\rho_{\text{roestvrij staal}} = 7,8 \cdot 10^3$ kg m⁻³. Als je een snaar van roestvrij staal vervangt door een snaar van koper neemt bij gelijke lengte de massa toe. Hierdoor wordt v_{golf} kleiner en omdat $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$ én λ gelijk blijft wordt f kleiner. De grondtoon wordt dus lager.

- 4p 5 Bereken de spankracht in deze snaar.
- $\lambda = 2 \cdot 0,9 = 1,80$ m 1
 - $v_{\text{golf}} = 220 \cdot 1,8 = 396$ m/s 1
 - gebruik $v = \sqrt{\frac{F_s \cdot \ell}{m}}$ met m in kg 1
 - $396 = \sqrt{\frac{F_s \cdot 0,90}{5,7 \cdot 10^{-3}}} \rightarrow F_s = 993,168 = 9,9 \cdot 10^2$ N 1

- 4p 6 Ga met een berekening na welke noot van de vleugel bij deze snaar hoort.
- opzoeken roestvrij staal: $\rho = 7,8 \cdot 10^3$ kg/m³ 1
 - gebruik $F_s = \pi \rho \ell^2 d^2 f^2$ 1
 - $949 = \pi \cdot 7,8 \cdot 10^3 \cdot 0,8^2 \cdot (0,94 \cdot 10^{-3})^2 \cdot f^2 \rightarrow f = 261,7$ Hz 1
 - dit is c1 op de vleugel 1