

10 Golven

VWO

10.1 Lopende golven

1**

- a** Leg uit of deze golf transversaal of longitudinaal is.
- de beweging van de mensen is verticaal en de golf beweegt horizontaal
 - het is een transversale golf
- b** Bereken de snelheid waarmee de golf beweegt.
- $s = 50 \text{ cm} = 0,50 \text{ m}$ | $t = 0,40 \text{ s}$ | $v_{\text{gem}} = \dots \text{ m/s}$
 - $s = v_{\text{gem}} \cdot t$
 - $v_{\text{gem}} = \frac{0,5}{0,4} = 1,25 \text{ m/s}$
- c** Bereken hoe lang de golf erover doet om één keer rond te gaan.
- $s = 400 \text{ m}$ | $v = 1,25 \text{ m/s}$ | $t = \dots \text{ s}$
 - $s = v_{\text{gem}} \cdot t \rightarrow 400 = 1,25 \cdot t \rightarrow t = 320 \text{ s}$

2*

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

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 → de energie in het koord blijft gelijk
- g** Leg uit of de amplitude waarmee punt C trilt groter, kleiner of gelijk is aan de amplitude van punt B.
- er is geen demping
 - alle punten van het koord hebben dezelfde amplitude
- h** Leg uit of de hoeveelheid energie in het koord groter wordt, kleiner wordt of gelijk blijft.
- er is demping
 - energie wordt omgezet in warmte → de energie in het koord wordt kleiner
- i** Leg uit of de amplitude waarmee punt C trilt groter, kleiner of gelijk is aan de amplitude van punt B.
- er is demping
 - grotere afstand van de trillingsbron
 - in de tijd waarin de golf van B naar C beweegt verliest het koord energie
 - C heeft een kleinere amplitude dan B

5****a** Hoe lang doet de golf erover om van het schip naar de oever te gaan?

- $v_{\text{golf}} = 2,3 \text{ m/s} \mid s = 46 \text{ m} \mid t = \dots \text{ s}$
- $s = v_{\text{gem}} \cdot t$ met $v_{\text{gem}} = v_{\text{golf}}$
- $46 = 2,3 \cdot t \rightarrow t = 20 \text{ s}$

b Bereken de golflengte van de golf.

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

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

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

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

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

b Bepaal de amplitude.

- aflezen: de amplitude is 4,5 m

c Hoe groot is de frequentie?

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

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

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

b Bepaal de amplitude.

- aflezen: de amplitude is 22,5 cm

c Hoe groot is de golfsnelheid?

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

8***

a Bepaal de golflengte.

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

b Bepaal de golfsnelheid.

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

c Bereken de frequentie.

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

d Hoe lang heeft punt A getrild?

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

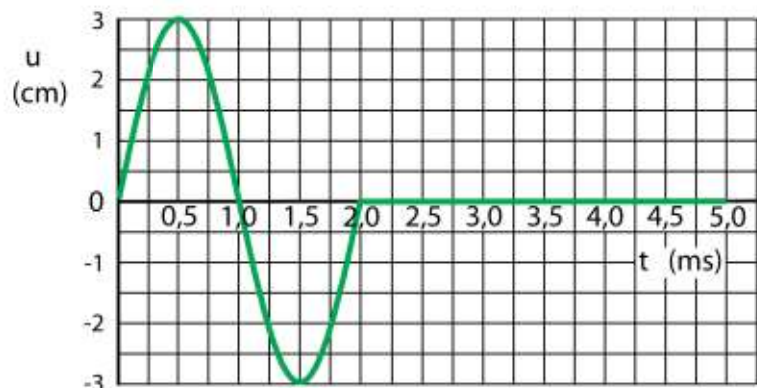
e Bepaal hoeveel tijd er is verstreken tussen het moment waarop A in trilling is gebracht en het moment waarop de onderste opname is gemaakt.

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

9***

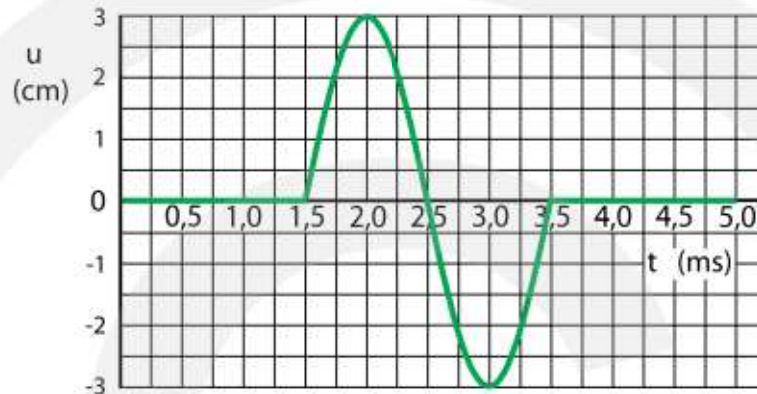
a Teken het (u, t) -diagram van de trilling van punt A tussen $t = 0$ en $5,0 \text{ ms}$.

- $T = \frac{1}{f} \rightarrow T = \frac{1}{500} = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ s} = 2,0 \text{ ms}$
- punt A begint op $t = 0$ aan beweging omhoog
- punt A voert 1 trilling uit en staat daarna stil
- amplitude is $3,0 \text{ cm}$



b Teken het (u, t)-diagram van de trilling van punt B tussen $t = 0$ ms en $t = 5,0$ ms.

- $T = \frac{1}{f} \rightarrow T = \frac{1}{500} = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ s} = 2,0 \text{ ms}$
- punt B begint op $\frac{3}{4}T = 0,75 \cdot 2,0 \cdot 10^{-3} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ s} = 1,5 \text{ ms}$ aan een beweging omhoog
- punt B voert 1 trilling uit en staat daarna stil
- amplitude is 3,0 cm



c Bepaal de golfsnelheid in het koord.

- opmeten in figuur: golflengte is 4,0 cm
- 15 keer verkleind $\rightarrow \lambda = 15 \cdot 4,0 = 60 \text{ cm}$
- $f = 500 \text{ Hz} \mid \lambda = 60 \text{ cm} = 0,60 \text{ m} \mid v_{\text{golf}} = \dots \text{ m/s}$
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$
- $v_{\text{golf}} = 500 \cdot 0,6 = 300 = 3,0 \cdot 10^2 \text{ m/s}$

d Bepaal het faseverschil tussen de punten A en B.

- $\Delta x = 15 \cdot 3,0 \text{ cm} \mid \lambda = 15 \cdot 4,0 \text{ cm} \mid \Delta \varphi = \dots$
- $\Delta \varphi = \frac{\Delta x}{\lambda} = \frac{3,0}{4,0} = 0,75$
- $\Delta x = 1,5 \text{ ms} \mid T = 2,0 \text{ ms} \mid \Delta \varphi = \dots$
- $\Delta \varphi = \frac{\Delta t}{T} = \frac{1,5}{2,0} = 0,75$

10 ***

a Leg uit of punt A op $t=0$ omhoog of omlaag begint te bewegen.

- kijk aan de linkerkant op $t=0$
- punt A begint omlaag te bewegen

b Leg uit of punt B omhoog of omlaag begint te bewegen.

- punt B volgt punt A
- punt B begint ook omlaag te bewegen

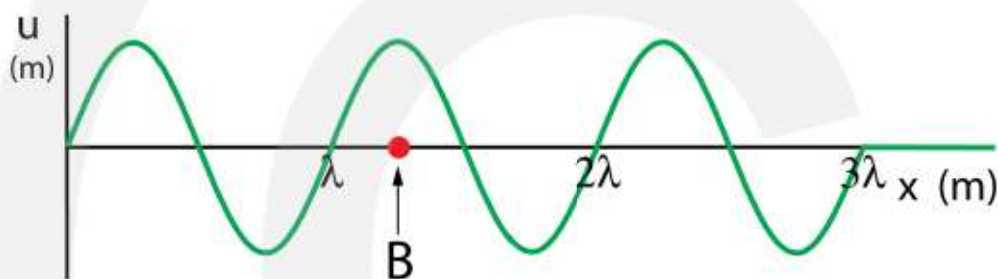
c Bepaal het faseverschil tussen de punten A en B.

- punt B begint na $1,25 \cdot T$ te trillen

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta t}{T} = \frac{1,25 T}{T} = 1,25$$

d Teken het (u, x) -diagram van het koord en geef daarin punt B aan.

- punt A begint omlaag te bewegen
- punt A heeft 3 hele trillingen uitgevoerd
- het koord heeft een lengte van $3,5 \lambda$
- laatste $0,5 \lambda$ van het koord is nog niet in trilling gebracht
- punt B heeft een faseachterstand van 1,25
- punt B heeft $3 - 1,25 = 1,75$ trillingen uitgevoerd
- meet vanaf rechts 1,75 golflengtes af



11 ****

a Bereken of A op $t=0$ omhoog of omlaag begon te bewegen.

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

b Bepaal de amplitude van de lopende golf.

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

c Bepaal de golflengte van de lopende golf.

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

d Bereken de snelheid van punt P als hij door de evenwichtsstand gaat.

- (u, t) -diagram van punt P is sinusvormig
- punt P voert harmonische trilling uit

- $A = 1,1 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ | $T = 3,75 \cdot 10^{-3} \text{ s}$ | $v_{\text{max}} = \dots \text{ m/s}$
- $v_{\text{max}} = \frac{2\pi \cdot A}{T}$
- $v_{\text{max}} = \frac{2\pi \cdot 1,1 \cdot 10^{-2}}{3,75 \cdot 10^{-3}} = 18,43 = 18 \text{ m/s}$

12 ****

a Bepaal de frequentie.

- aflezen figuur 1: $u = 0$ op $t = 1,5 \text{ ms}$ en op $t = 7,5 \text{ ms}$
- een halve trilling duurt $7,5 - 1,5 = 6,0 \text{ ms} = 6,0 \cdot 10^{-3} \text{ s}$
- $\frac{1}{2}T = 6,0 \cdot 10^{-3} \text{ s} \rightarrow T = 1,2 \cdot 10^{-2} \text{ s}$
- $f = \frac{1}{T} \rightarrow f = \frac{1}{1,2 \cdot 10^{-2}} = 83,333 = 83 \text{ Hz}$

b Bepaal de golfsnelheid.

- opmeten figuur 2: 2,5 keer de golflengte is 12 cm
- $\frac{12}{2,5} = 4,8 \text{ cm}$
- acht keer verkleind $\rightarrow \lambda = 8 \cdot 4,8 = 38,4 \text{ cm} = 0,384 \text{ m}$
- $v_{\text{golf}} = \frac{\lambda}{T}$
- $v_{\text{golf}} = \frac{0,384}{1,2 \cdot 10^{-2}} = 32 \text{ m/s}$

c Bepaal met behulp van figuur 1 het tijdstip waarop figuur 2 is opgenomen.

- aflezen in figuur 2: punt B is in de evenwichtsstand en gaat omhoog bewegen
- in figuur 1 voldoet alleen $t = 7,5 \text{ ms}$
- figuur 2 is opgenomen op $t = 7,5 \text{ ms}$

d Leg uit waarom figuur 1 niet bij punt C van het koord kan horen.

- aflezen in figuur 2: punt C heeft nog maar $\frac{1}{2}$ trilling uitgevoerd
- in figuur 1 zie je meer dan $\frac{1}{2}$ trilling
- figuur 1 kan niet bij punt C horen

e Bereken de fase van punt X op dat moment.

- X ligt op 50 cm van A | $\lambda = 38,4 \text{ cm}$
- faseverschil tussen A en X
- $\varphi = \frac{\Delta x}{\lambda}$
- $\varphi = \frac{50}{38,4} = 1,302 = 1,3$
- A is in trilling gebracht $\rightarrow$ fase X is kleiner dan fase van A
- $\varphi_x = 3,2 - 1,3 = 1,9$ (geen eenheid)

13 ****

a Bereken de golfsnelheid van de tsunami.

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

b Leg uit waarom de frequentie niet verandert.

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

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

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

d Bereken de golfsnelheid als het water bij de kust van Zuid-Amerika nog maar 10 m diep is.

- $v = C_1 \cdot \sqrt{d}$
- verhouding van golfsnelheid
- $\frac{v_1}{v_2} = \frac{C \cdot \sqrt{d_1}}{C \cdot \sqrt{d_2}} \rightarrow \frac{v_1}{v_2} = \frac{\sqrt{d_1}}{\sqrt{d_2}} \quad (C \text{ wegstrepen})$
- $\frac{v_1}{v_2} = \frac{\sqrt{5000}}{\sqrt{10}} = 22,361$
- v_{golf} wordt 22,361 keer kleiner
- $v_{\text{golf}} = \frac{200}{22,361} = 8,9443 = 8,9 \text{ m/s}$

e Bereken de amplitude van de tsunami als het water bij de kust van Zuid-Amerika nog maar 10 m diep is.

- $A = k / v$
- v wordt 22,361 keer kleiner $| \quad C_2$ blijft gelijk
- A wordt 22,361 keer groter
- $A = 22,361 \cdot 0,4 = 8,9444 = 8,9 \text{ m}$

f Bereken de golflengte van de tsunami tussen Hawaiï en Zuid-Amerika.

- $f = 5,0 \cdot 10^{-2} \text{ Hz} \quad | \quad v_{\text{golf}} = 200 \text{ m/s} \quad | \quad \lambda = \dots \text{ m}$
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$
- $200 = 5,0 \cdot 10^{-2} \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 4000 = 4,0 \cdot 10^3 \text{ m} \quad (4,0 \text{ km})$

g Bereken de golflengte van de tsunami bij de kust van Zuid-Amerika waar het water 10 m diep is.

- $f = 5,0 \cdot 10^{-2} \text{ Hz} \quad | \quad v_{\text{golf}} = 8,9443 \text{ m/s} \quad | \quad \lambda = \dots \text{ m}$
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$
- $8,9443 = 5,0 \cdot 10^{-2} \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 178,89 = 1,8 \cdot 10^2 \text{ m}$

10.2 Transport van energie

Bolvormige golven

1**

a Wat is het uitgestraalde vermogen van de schoolbel?

- $I = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ W/m}^2 \quad | \quad r = 15 \text{ m} \quad | \quad P_{\text{bron}} = \dots \text{ W}$

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

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

b Bereken 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 Bereken 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

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

2***

a Bereken het vermogen van de bron.

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

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

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

b Bereken de intensiteit die je vriend hoort.

- $I_1 = 1,0 \text{ W/m}^2 \quad | \quad r_1 = 10 \text{ m} \quad | \quad r_2 = 320 \text{ m} \quad | \quad I_2 = \dots \text{ W/m}^2$

- $I = \frac{P_{\text{bron}}}{4\pi \cdot r^2}$ P_{bron} verandert niet $\rightarrow$ bereken de verhouding

- $\frac{I_1}{I_2} = \frac{4\pi \cdot r_2^2}{4\pi \cdot r_1^2} \rightarrow \frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$

- $\frac{1,0}{I_2} = \frac{320^2}{10^2} \rightarrow 320^2 \cdot I_2 = 1,0 \cdot 10^2 = 100$

- $I_2 = \frac{100}{320^2} = 9,7656 \cdot 10^{-4} = 9,8 \cdot 10^{-4} \text{ W/m}^2$

c Is de knal op 100 km afstand nog hoorbaar?

- $I_1 = 1,0 \text{ W/m}^2$ | $r_1 = 10 \text{ m}$ | $r_2 = 1,0 \cdot 10^5 \text{ m}$ | $I_2 = \dots \text{ W/m}^2$
- $I = \frac{P_{\text{bron}}}{4\pi \cdot r^2}$ P_{bron} verandert niet $\rightarrow$ bereken de verhouding
- $\frac{I_1}{I_2} = \frac{4\pi \cdot r_2^2}{4\pi \cdot r_1^2} \rightarrow \frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$
- $\frac{1,0}{I_2} = \frac{(1,0 \cdot 10^5)^2}{10^2} \rightarrow (1,0 \cdot 10^5)^2 \cdot I_2 = 1,0 \cdot 10^2 = 100$
- $I_2 = \frac{100}{1,0 \cdot 10^{10}} = 1,0 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2$
- dit is meer dan $1,0 \cdot 10^{-10} \text{ W/m}^2$ dus op 100 km afstand is de knal nog hoorbaar

3***

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

- $I_1 = 0,5 \text{ W/m}^2$ | $r_1 = 2,0 \text{ m}$ | $I_2 = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ W/m}^2$ | $r_2 = \dots \text{ m}$
- $I = \frac{P_{\text{bron}}}{4\pi \cdot r^2}$ P_{bron} verandert niet $\rightarrow$ bereken de verhouding
- $\frac{I_1}{I_2} = \frac{4\pi \cdot r_2^2}{4\pi \cdot r_1^2} \rightarrow \frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$
- $\frac{0,5}{5 \cdot 10^{-3}} = \frac{r_2^2}{2^2} \rightarrow r_2^2 = 4 \cdot 100 = 400$
- $r_2 = \sqrt{400} = 20 \text{ m}$

OOK GOED

- bereken eerst P_{bron}
- $I_1 = 0,5 \text{ W/m}^2$ | $r_1 = 2,0 \text{ m}$ | $P_{\text{bron}} = \dots \text{ W/m}^2$
- $I = \frac{P_{\text{bron}}}{4\pi \cdot r^2}$
- $0,5 = \frac{P_{\text{bron}}}{4\pi \cdot 2^2} \rightarrow P_{\text{bron}} = 25,13274 \text{ W}$
- 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 Hoeveel W/m^2 wordt er door de oordopjes doorgelaten als je op een afstand van 2,0 m van de luidspreker staat?

- 98% van 500 mW/m^2 wordt tegengehouden $\rightarrow I_{\text{door}} = 0,98 \cdot 500 = 490 \text{ mW/m}^2$
- er wordt $500 - 490 = 10 \text{ mW/m}^2$ doorgelaten

c Op welke afstand van de luidspreker moet je met oordoppen in gaan staan om $5,0 \text{ mW/m}^2$ geluidsintensiteit te horen?

- $I_1 = 10 \cdot 10^{-3} \text{ W/m}^2 \quad | \quad r_1 = 2,0 \text{ m} \quad | \quad I_2 = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ W/m}^2 \quad | \quad r_2 = \dots \text{ m}$

- $I = \frac{P_{\text{bron}}}{4\pi \cdot r^2}$ P_{bron} verandert niet → bereken de verhouding

- $\frac{I_1}{I_2} = \frac{4\pi \cdot r_2^2}{4\pi \cdot r_1^2} \rightarrow \frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$

- $\frac{10 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^{-3}} = \frac{r_2^2}{2^2} \rightarrow r_2^2 = 4 \cdot 2 = 8$

- $r_2 = \sqrt{8} = 2,828 = 2,8 \text{ m}$

OOK GOED

- geluidsintensiteit moet 2 keer zo klein worden
- afstand moet $\sqrt{2} = 1,414$ keer zo groot worden
- $2,0 \cdot 1,414 = 2,828 = 2,8 \text{ meter}$
- je moet op 2,8 meter gaan staan

4 ****

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 80 dB te worden blootgesteld.

- $I_1 = 100 \cdot 10^{-3} \text{ W/m}^2 \quad | \quad r_1 = 1,5 \text{ m} \quad | \quad I_2 = 100 \cdot 10^{-6} \text{ W/m}^2 \quad | \quad r_2 = \dots \text{ m}$

- $I = \frac{P_{\text{bron}}}{4\pi \cdot r^2}$ P_{bron} verandert niet → bereken de verhouding

- $\frac{I_1}{I_2} = \frac{4\pi \cdot r_2^2}{4\pi \cdot r_1^2} \rightarrow \frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$

- $\frac{100 \cdot 10^{-3}}{100 \cdot 10^{-6}} = \frac{r_2^2}{1,5^2} \rightarrow r_2^2 = 1000 \cdot 1,5^2 = 2500$

- $r_2 = \sqrt{2500} = 47,434 \text{ m}$

- 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
- $1,5 \cdot 31,623 = 47,434 \text{ meter}$
- je moet op 48 meter gaan staan (naar boven afronden)

De decibelschaal

5***

a Bereken de intensiteit van het geluid van de fanfare op 5,0 m afstand.

- $L_p = 70 \text{ dB} \quad | \quad I = \dots \text{ W / m}^2$
- $L_p = 10 \cdot \log \frac{I}{10^{-12}}$
- $70 = 10 \cdot \log \frac{I}{10^{-12}} \rightarrow \log \frac{I}{10^{-12}} = 7 \quad (\text{links en rechts machtsverheffen})$
- $\frac{I}{10^{-12}} = 10^7 \rightarrow I = 10^7 \cdot 10^{-12} = 10^{-5} = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ W / m}^2$

b Bereken het geluidsniveau dat je dan hoort.

- $I = 2,0 \cdot 10^{-5} \text{ W / m}^2 \quad | \quad L_p = \dots \text{ dB}$
- $L_p = 10 \cdot \log \frac{I}{10^{-12}}$
- $L_p = 10 \cdot \log \frac{2 \cdot 10^{-5}}{10^{-12}} \rightarrow L_p = 73,0103 = 73 \text{ dB}$

c Hoeveel keer meer is de intensiteit van het geluid van 76 dB in vergelijking met de 70 dB die er eerst was?

- $L_p = 76 \text{ dB} \quad | \quad I = \dots \text{ W / m}^2$
- $L_p = 10 \cdot \log \frac{I}{10^{-12}}$
- $76 = 10 \cdot \log \frac{I}{10^{-12}} \rightarrow \log \frac{I}{10^{-12}} = 7,6 \quad (\text{links en rechts machtsverheffen})$
- $\frac{I}{10^{-12}} = 10^{7,6} \rightarrow I = 10^{7,6} \cdot 10^{-12} = 10^{-4,4} = 3,981 \cdot 10^{-5} \text{ W / m}^2$
- de intensiteit is $3,981 = 4,0$ keer zo groot geworden

6***

a Bereken hoeveel decibel de geluidssterkte nu is.

- $L_p = 80 \text{ dB} \quad | \quad I = \dots \text{ W / m}^2$
- $L_p = 10 \cdot \log \frac{I}{10^{-12}}$
- $80 = 10 \cdot \log \frac{I}{10^{-12}} \rightarrow \log \frac{I}{10^{-12}} = 8 \quad (\text{links en rechts machtsverheffen})$
- $\frac{I}{10^{-12}} = 10^8 \rightarrow I = 10^8 \cdot 10^{-12} = 10^{-4} = 1,0 \cdot 10^{-4} \text{ W / m}^2$
- 10 keer zo hard $\rightarrow I$ wordt $1,0 \cdot 10^{-3} \text{ W / m}^2$
- $I = 10^{-3} \text{ W / m}^2 \quad | \quad L_p = \dots \text{ dB}$
- $L_p = 10 \cdot \log \frac{I}{10^{-12}}$

- $L_p = 10 \cdot \log \frac{10^{-3}}{10^{-12}} \rightarrow L_p = 90 \text{ dB}$

b Bereken hoeveel decibel het geluidsniveau nu is.

- de geluidsintensiteit wordt $I = 0,5 \cdot 10^{-3} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ W/m}^2$
- $I = 5,0 \cdot 10^{-4} \text{ W/m}^2 \mid L_p = \dots \text{ dB}$
- $L_p = 10 \cdot \log \frac{I}{10^{-12}}$
- $L_p = 10 \cdot \log \frac{5 \cdot 10^{-4}}{10^{-12}} \rightarrow L_p = 86,9897 = 87 \text{ dB}$

7***

a Leg uit wie er gelijk heeft: Anna, Bea of Carla.

- $L_p = 35 \text{ dB} \mid I = \dots \text{ W/m}^2$
- $L_p = 10 \cdot \log \frac{I}{10^{-12}}$
- $35 = 10 \cdot \log \frac{I}{10^{-12}} \rightarrow \log \frac{I}{10^{-12}} = 3,5 \quad (\text{links en rechts machtsverheffen})$
- $\frac{I}{10^{-12}} = 10^{3,5} \rightarrow I = 10^{3,5} \cdot 10^{-12} = 10^{-8,5} = 3,1628 \cdot 10^{-9} \text{ W/m}^2$
- $L_p = 50 \text{ dB} \mid I = \dots \text{ W/m}^2$
- $50 = 10 \cdot \log \frac{I}{10^{-12}} \rightarrow \log \frac{I}{10^{-12}} = 5 \quad (\text{links en rechts machtsverheffen})$
- $\frac{I}{10^{-12}} = 10^5 \rightarrow I = 10^5 \cdot 10^{-12} = 10^{-7} = 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ W/m}^2$
- de intensiteit is $\frac{1,0 \cdot 10^{-7}}{3,1628 \cdot 10^{-9}} = 31,62 = 32$ keer groter geworden
- Carla heeft gelijk

b Bereken hoeveel decibel de boze leraar produceert.

- de intensiteit wordt 20 keer zo groot $\rightarrow I = 2,0 \cdot 10^{-6} \text{ W/m}^2$
- $I = 2,0 \cdot 10^{-6} \text{ W/m}^2 \mid L_p = \dots \text{ dB}$
- $L_p = 10 \cdot \log \frac{I}{10^{-12}}$
- $L_p = 10 \cdot \log \frac{2,0 \cdot 10^{-6}}{10^{-12}} \rightarrow L_p = 63 \text{ dB}$

c Bereken hoeveel decibel er nu aanwezig is.

- het geluidintensiteit wordt 10 keer kleiner
- het aantal dB neemt met 10 af
- de geluidsterkte is $35 - 10 = 25 \text{ dB}$

10.3 Interferentie

1**

- a** Leg uit wanneer twee trillingsbronnen coherent zijn.
- ze hebben dezelfde frequentie
 - ze hebben op iedere moment hetzelfde faseverschil
 - (op zelfde moment door evenwichtsstand omhoog)
- b** Bepaal het faseverschil tussen P_1 en trillingsbronnen A en B.
- P_1 heeft een fase-achterstand van 2,5 ten opzichte van A
 - P_1 heeft een fase-achterstand van 6,5 ten opzichte van B
- c** Leg uit of de golven uit A en B elkaar in P_1 versterken of verzwakken.
- het verschil in fase van de golf uit B en uit A is $6,5 - 2,5 = 4,0$ (eventueel minteken is onbelangrijk)
 - het verschil is een geheel getal
 - er treedt versterking op (constructieve interferentie)
- d** Bepaal het faseverschil tussen P_2 en trillingsbronnen A en B.
- P_2 heeft een fase-achterstand van 4,0 ten opzichte van A
 - P_2 heeft een fase-achterstand van 4,0 ten opzichte van B
- e** Leg uit of de golven uit A en B elkaar in P_2 versterken of verzwakken.
- het verschil in fase van de golf uit B en uit A is $4,0 - 4,0 = 0,0$
 - het verschil is een geheel getal
 - er treedt versterking op (constructieve interferentie)
- f** Bepaal het faseverschil tussen P_3 en trillingsbronnen A en B.
- P_3 heeft een fase-achterstand van 5,5 ten opzichte van A
 - P_3 heeft een fase-achterstand van 2,0 ten opzichte van B
- g** Leg uit of de golven uit A en B elkaar in P_3 versterken of verzwakken.
- het verschil in fase van de golf uit A en uit B is $5,5 - 2,0 = 3,5$ (eventueel minteken is onbelangrijk)
 - het verschil is $n + \frac{1}{2}$ met n een geheel getal
 - er treedt verzwakking op (destructieve interferentie)

2**

- a** Schets de buiklijnen in onderstaand figuur.
- buiklijnen: faseverschil is n met $n = 0, 1, 2, 3, \dots$
 - buiklijnen gaan door de snijpunten van twee groene getrokken cirkels en door de snijpunten van twee blauwe gestreepte cirkels
- b** Schets de knooplijnen in onderstaand figuur.
- knooplijnen: faseverschil is $n + \frac{1}{2}$ met $n = 0, 1, 2, 3, \dots$
 - 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 toeneemt en de golfsnelheid gelijk blijft.

- $v_{\text{golf}} = \lambda \cdot f$
- v_{golf} blijft gelijk en f neemt toe
- λ wordt kleiner
- afstand tussen buiklijnen en knooppunten neemt af

b Leg uit hoe het patroon verandert als de golfsnelheid toeneemt en de frequentie gelijk blijft.

- $v_{\text{golf}} = \lambda \cdot f$
- v_{golf} neemt toe en f blijft gelijk
- λ wordt groter
- afstand tussen buiklijnen en knooppunten neemt toe

4** a Leg uit waaruit blijkt dat de genummerde lijnen buiklijn zijn.

- buiklijnen: faseverschil van de golf uit A en uit B is een geheel getal
- de genummerde lijnen gaan door de snijpunten van twee getrokken en twee gestreepte cirkels

b Toon aan dat voor de punten op de buiklijn met nummer n geldt: $\Delta\phi = n$, waarbij $\Delta\phi$ het faseverschil is tussen de golven uit bron A en B.

- midden: faseverschil = 0 $\rightarrow \Delta\phi = n$ met $n = 0$
- daarnaast: faseverschil = 1 $\rightarrow \Delta\phi = n$ met $n = 1$ (– teken onbelangrijk)
- daarnaast: faseverschil = 2 $\rightarrow \Delta\phi = n$ met $n = 2$ (– teken onbelangrijk)

c Schets met de knooppunten tussen de buiklijnen en nummer ze vanaf het midden. De twee binnenste lijnen krijgen nummer 0.

- knooppunten: faseverschil van de golf uit A en uit B is $n + \frac{1}{2}$ getal
- knooppunten liggen tussen de buiklijnen

d Toon aan dat voor de punten op de buiklijn met nummer n geldt: $\Delta\phi = n + \frac{1}{2}$.

- naast midden: faseverschil = $\frac{1}{2}$ $\rightarrow \Delta\phi = n + \frac{1}{2}$ met $n = 0$
- daarnaast: faseverschil = $1 \frac{1}{2}$ $\rightarrow \Delta\phi = n + \frac{1}{2}$ met $n = 1$
- daarnaast: faseverschil = $2 \frac{1}{2}$ $\rightarrow \Delta\phi = n$ met $n = 2$

5*** a Bepaal het faseverschil van de golf A en de golf B op punt P.

- opmeten in figuur: 6 golven in 40 mm

- $\lambda = \frac{40}{6} = 6,6667 \text{ mm}$

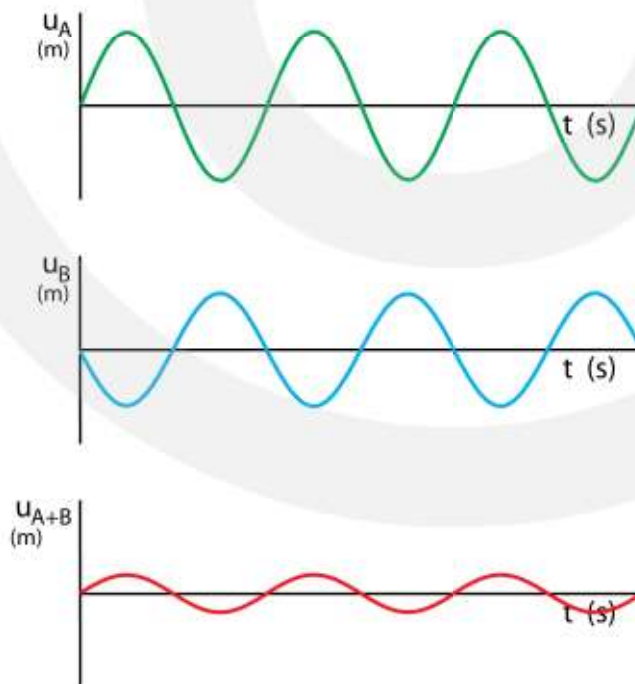
- afstand PB = 52 mm

- afstand PA = 70 mm

- $\Delta\varphi = \frac{\Delta x}{\lambda}$
 - $\Delta\varphi_{PB} = \frac{52}{6,6667} = 7,8$
 - $\Delta\varphi_{PA} = \frac{70}{6,6667} = 10,5$
 - faseverschil tussen de golven uit A en B is $10,5 - 7,8 = 2,7$
- b** Is er in punt P constructieve interferentie, destructieve interferentie, of geen van beide?
- het faseverschil is 2,7 → gereduceerd faseverschil is 0,7
 - gereduceerd faseverschil is niet 0 en niet 0,5 → geen van beide

6**

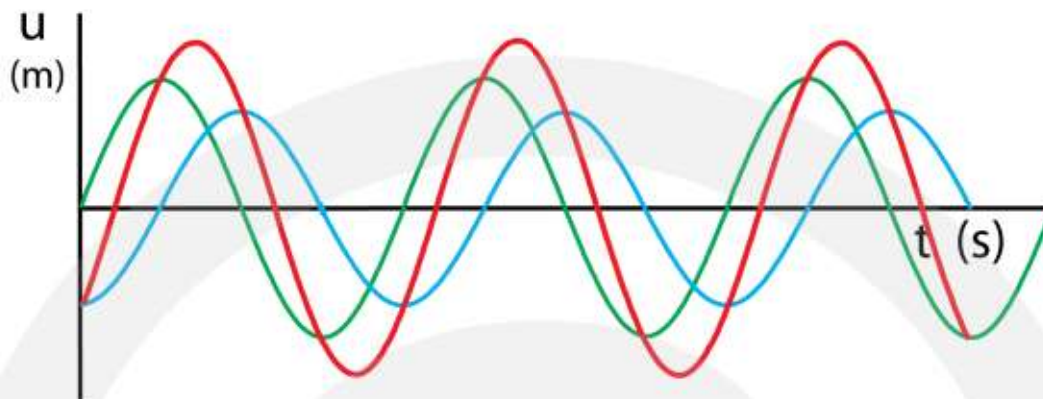
- a** Ligt punt P op een buiklijn of op een knooplijn of geen van beide?
- de golf uit B gaat omlaag als de golf uit A omhoog gaat
 - P ligt op een knooplijn
- b** Schets het (u, t)-diagram in punt P veroorzaakt door de bronnen A en B samen.



7***

- a** Leg uit of P op een buiklijn of op een knooplijn ligt.
- de golf uit A en B zijn niet in fase en ook niet in tegenfase
 - P ligt niet op een buiklijn en ook niet een knooplijn maar ergens tussenin

- 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



8****

- 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 m
- d** Hoe groot is het verschil in afstand als de golven elkaar uitdoven?
- bij uitdoving is het verschil in afstand de helft van de golflengte
 - bij uitdoving is het verschil in afstand $\frac{0,686}{2} = 0,343 \text{ m}$
- e** Hoever moet de linkerbuis worden uitgetrokken om voor de eerste keer uitdoving te krijgen?
- eerste uitdoving → verschil in afstand de helft van de golflengte → 0,343 m
 - de buis moet $\frac{0,343}{2} = 0,1715 = 0,17 \text{ m}$ worden uitgetrokken

- f** Hoever moet de linkerbuis worden uitgetrokken om voor de tweede keer uitdoving te krijgen?
- tweede keer uitdoving → het verschil in afstand is $1\frac{1}{2}$ keer de golflengte
 - $1,5 \cdot 0,686 = 1,029 \text{ m}$
 - de buis moet $\frac{1,029}{2} = 0,5145 = 0,51 \text{ m}$ worden uitgetrokken
- g** Leg uit of de frequentie van de toon verandert als de temperatuur toeneemt.
- de frequentie wordt veroorzaakt door de trillingsbron
 - f verandert niet als v_{golf} verandert
- h** Leg uit of de golflengte verandert als de temperatuur toeneemt.
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$
 - v_{golf} wordt groter bij hogere temperatuur | f blijft gelijk
 - λ wordt groter
- i** Bereken de frequentie van de toon.
- uitschuiven met 1 cm maakt weglengte 2 cm langer
 - 13,2 cm uitschuiven → weglengte wordt 26,4 cm langer
 - eerste keer uitdoving: verschil in weglengte is $\frac{1}{2}\lambda$
 - $\frac{1}{2}\lambda = 26,4 \text{ cm} \rightarrow \lambda = 52,8 \text{ cm} = 0,528 \text{ m}$
 - $v_{\text{golf}} = \lambda \cdot f$
 - $343 = 0,528 \cdot f \rightarrow f = 649,6212 = 650 \text{ Hz}$
- j** Leg uit of je de linker buis moet inschuiven of moet uitschuiven om te zorgen dat je opnieuw geen geluid meer opvangt.
- v_{golf} neemt toe bij hogere temperatuur | f blijft gelijk
 - $v_{\text{golf}} = \lambda \cdot f$
 - λ wordt groter
 - de buis moet worden uitgeschoven
- k** Bereken hoeveel je de linker buis moet in- of uitschuiven om opnieuw het geluid weer maximaal te verzwakken.
- $v_{\text{golf}} = 365 \text{ m/s}$ | $f = 650 \text{ Hz}$ | $\lambda = \dots \text{ m}$
 - $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$
 - $365 = 650 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 0,561538 \text{ m}$
 - volledige uitdoving: verschil in weglengte is $\frac{1}{2}\lambda$
 - $\frac{1}{2}\lambda = 0,5 \cdot 0,561538 = 0,280769 \text{ m}$
 - uitschuiven met 1 cm maakt weglengte 2 cm langer
 - buis moet $\frac{0,280769}{2} = 0,1403846 \text{ m}$ worden uitgetrokken
 - buis was 13,2 cm uitgeschoven
 - de buis moet $14,03846 - 13,2 = 0,83846 = 0,84 \text{ cm}$ worden uitgeschoven

10.4 Watergolven, geluid en licht

Oppervlaktgolven van water

Geluid

1**

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

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

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

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

2**

a Welke frequentie heeft deze machine?

- 300 steken per minuut is $\frac{300}{60} = 5,0$ steken per seconde
- de machine heeft een frequentie van 5,0 Hz
(deze frequentie kun je niet horen)

b Welke frequentie hoor je in deze auto?

- 2400 toeren per minuut is $\frac{2400}{60} = 40$ toeren per seconde
- de auto heeft een frequentie van 40 Hz
(deze frequentie kun je horen)

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

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

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.

- opzoeken: $v_{\text{geluid}} = 332 \text{ m/s}$
- $f = 261,63 \text{ Hz}$ | $v_{\text{geluid}} = 332 \text{ m/s}$ | $\lambda = \dots \text{ m}$
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda \rightarrow \lambda = \frac{v_{\text{golf}}}{f}$
- $\lambda = \frac{332}{261,63} = 1,26897 = 1,27 \text{ m}$

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

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

b Bereken de golflengte van de toon in millimeter.

- opzoeken: $v_{\text{geluid}} = 354 \text{ m/s}$
- $f = 439,74 \text{ Hz}$ | $v_{\text{geluid}} = 354 \text{ m/s}$ | $\lambda = \dots \text{ m}$
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda \rightarrow \lambda = \frac{v_{\text{golf}}}{f}$
- $\lambda = \frac{354}{439,74} = 0,80502 \text{ m} = 805 \text{ mm}$

5**

a Bereken de golflengte van deze toon in zeewater.

- $f = 800 \text{ Hz} \quad | \quad v_{\text{geluid}} = 1,51 \cdot 10^3 \text{ m/s} \quad | \quad \lambda = \dots \text{ m}$

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

- $\lambda = \frac{1,51 \cdot 10^3}{800} = 1,8875 \text{ m} = 1,89 \text{ m}$

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

- opzoeken lucht: $v_{\text{geluid}} = 343 \text{ m/s}$

- $f = 800 \text{ Hz} \quad | \quad v_{\text{geluid}} = 343 \text{ m/s} \quad | \quad \lambda = \dots \text{ m}$

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

- $\lambda = \frac{343}{800} = 0,42875 \text{ m} = 0,429 \text{ m}$

6**

a Bereken de frequentie van deze toon.

- $\lambda = 25 \text{ mm} = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ m} \quad | \quad v_{\text{golf}} = 1510 \text{ m/s} \quad | \quad f = \dots \text{ Hz}$

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

- $1510 = f \cdot 2,5 \cdot 10^{-2} \rightarrow f = 6,04 \cdot 10^4 = 6,0 \cdot 10^4 \text{ Hz}$

b Bereken de golflengte van een toon van 14 Hz.

- $f = 14 \text{ Hz} \quad | \quad v_{\text{golf}} = 343 \text{ m/s} \quad | \quad \lambda = \dots \text{ m}$

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

- $343 = 14 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 24,5 = 25 \text{ m}$

7***

a Bereken het tijdsvoordeel dat de buitenste atleet hierdoor krijgt.

- opzoeken $v_{\text{geluid}} = 343 \text{ m/s}$ (bij $20 \text{ }^\circ\text{C}$)

- verschil in afstand tussen de buitenste en de binnenste loper is 12 m

- $s = 12 \text{ m} \quad | \quad v_{\text{golf}} = 343 \text{ m/s} \quad | \quad t = \dots \text{ s}$

- $s = v_{\text{gem}} \cdot t$

- $12 = 343 \cdot t \rightarrow t = 3,49854 \cdot 10^{-2} = 3,5 \cdot 10^{-2} \text{ s}$

b Hoe groot moet de voorsprong zijn om een eerlijke race te krijgen?

- $s = 100 \text{ m} \quad | \quad t = 9,58 \text{ s} \quad | \quad v_{\text{gem}} = \dots \text{ m/s}$

- $s = v_{\text{gem}} \cdot t$

- $100 = v_{\text{gem}} \cdot 9,58 \rightarrow v_{\text{gem}} = 10,4384 \text{ s}$

- de buitenste atleet vertrekt $3,49854 \cdot 10^{-2} \text{ s}$ eerder dan de binnenste atleet

- $s = v_{\text{gem}} \cdot t \rightarrow s = 10,4384 \cdot 3,49854 \cdot 10^{-2} = 0,365192 = 0,365 \text{ m}$

- de binnenste atleet moet een voorsprong van 36,5 cm krijgen

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

- de geluidssnelheid is in ijzer groter dan in lucht
- het geluid door de rails is eerder bij Cato dan het geluid door de lucht
- Cato hoort eerst een klap van het geluid door de rails
- Cato hoort daarna een klap van het geluid door de lucht

b Bereken hoeveel tijd er zit tussen de klappen.

- $v_{\text{geluid ijzer}} = 5100 \text{ m/s}$ | $v_{\text{geluid 343}} = 343 \text{ m/s}$ | $s = 150 \text{ m}$ | $t = \dots \text{ s}$
- $s = v_{\text{gem}} \cdot t$
- ijzer: $150 = 5100 \cdot t \rightarrow t = 2,94118 \cdot 10^{-2} \text{ s}$
- lucht: $150 = 343 \cdot t \rightarrow t = 0,43732 \text{ s}$
- $\Delta t = 0,43732 - 2,94118 \cdot 10^{-2} = 0,407906 = 0,408 \text{ s}$

c Leg uit of Cato één of twee verschillende toonhoogten hoort.

- de frequentie wordt bepaald door de trillingsbron
- Cato hoort maar één toon

d Bereken de golflengte van de toon in ijzer.

- 18.000 toeren per minuut is $\frac{18000}{60} = 300$ toeren per seconden
- $f = 300 \text{ Hz}$ | $v_{\text{golf}} = 5100 \text{ m/s}$ | $\lambda = \dots \text{ m}$
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$
- $5100 = 300 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 17 \text{ m}$

e Bereken de golflengte van de toon in lucht

- $f = 300 \text{ Hz}$ | $v_{\text{golf}} = 343 \text{ m/s}$ | $\lambda = \dots \text{ m}$
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$
- $343 = 300 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 1,14333 = 1,14 \text{ m}$

9*****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
- $s = 3000 \text{ m}$ | $v_{\text{gem}} = 343 \text{ m/s}$ | $t = \dots \text{ s}$
- $s = v_{\text{gem}} \cdot t \rightarrow 3000 = 343 \cdot t \rightarrow t = 8,74636 = 8,75 \text{ s}$

c Bereken hoe lang de donder aanhoudt.

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

d Leg uit wat hiervan een reden kan zijn.

- het geluid kan tegen gebouwen of bergen kaatsen voordat het in het oor komt
- in dat geval legt het geluid een grotere afstand af zodat het langer aanhoudt

10****

a Leg uit waarom je het vliegtuig onder een andere hoek hoort dan ziet.

- bij A zendt het vliegtuig geluid uit
- het geluid heeft tijd nodig om bij jou te komen
- in deze tijd is het vliegtuig bij B aangekomen
- je ziet het vliegtuig bij B als je hem hoort bij A

b Bereken hoek α .

- $v_{\text{vliegtuig}} = \frac{900}{3,6} = 250 \text{ m/s} \quad | \quad v_{\text{geluid}} = 343 \text{ m/s} \quad | \quad s_{\text{geluid}} = s_A = \dots \text{ m}$
- $s = v_{\text{gem}} \cdot t$
- $s_A = 343 \cdot t \rightarrow t_{\text{geluid}} = \frac{s_A}{343}$
- in dezelfde tijd legt het vliegtuig afstand AB af
- $s_{AB} = 250 \cdot \frac{s_A}{343} \rightarrow \frac{s_{AB}}{s_A} = \frac{250}{343}$
- $\sin \alpha = \frac{s_{AB}}{s_A}$
- $\sin \alpha = \frac{250}{343} = 0,728863 \rightarrow \alpha = 46,79116 = 46,8^\circ$

c Bereken hoek α voor het tweede vliegtuig.

- in berekening bij b komt de hoogte s_B van het vliegtuig niet voor
- berekening blijft gelijk
- de hoek blijft gelijk $\rightarrow \alpha = 46,8^\circ$

Licht

10.5 Het dopplereffect

1**

- a** Bereken de frequentie van het geluid dat de motor produceert.
- 18000 toeren per minuut is $\frac{18000}{60} = 300$ toeren per seconde
 - $f = 300 \text{ Hz}$
- b** Breken de frequentie van de toon die wordt waargenomen wanneer de raceauto de microfoon nadert.
- $f_0 = 300 \text{ Hz} \quad | \quad v_{\text{bron}} = \frac{306}{3,6} = 85 \text{ m/s} \quad | \quad v_{\text{golf}} = 343 \text{ m/s} \quad | \quad f_w = \dots \text{ Hz}$
 - bewegende bron $\rightarrow f_w = \frac{v_{\text{golf}}}{v_{\text{golf}} + v_{\text{bron}}} \cdot f_{\text{bron}}$
 - afstand tot de bron wordt kleiner $\rightarrow v_{\text{bron}}$ is negatief $\rightarrow v_{\text{bron}} = -85 \text{ m/s}$
 - $f_w = \frac{343}{343 - 85} \cdot 300 \rightarrow f_w = 398,8372 = 399 \text{ Hz}$
- c** Breken de frequentie van de toon die wordt waargenomen wanneer de raceauto de microfoon is gepasseerd.
- afstand tot de bron wordt groter $\rightarrow v_{\text{bron}}$ is positief $\rightarrow v_{\text{bron}} = 85 \text{ m/s}$
 - $f_w = \frac{343}{343 + 85} \cdot 300 \rightarrow f_w = 240,42056 = 240 \text{ Hz}$

2**

- a** Beweegt in dit geval de trillingsbron of de waarnemer?
- de snelheid wordt gemeten ten opzichte van het medium
 - in dit geval is het medium de lucht
 - de waarnemer in de trein beweegt en de bel staat stil
- b** Horen de mensen in de trein een hogere toon, een lagere toon, of een toon van 740 Hz?
- de trein nadert de overweg $\rightarrow$ de waargenomen frequentie is hoger
 - de mensen horen een hogere frequentie dan 740 Hz.
- c** Klingelt voor de mensen in de trein de bel vaker, minder vaak of even vaak als voor iemand die bij de overweg staat?
- de trein nadert de overweg $\rightarrow$ de waargenomen frequentie is hoger
 - de mensen horen de bel vaker dan 2,0 keer per seconde klingelen
- d** Bereken de frequentie van de toon die de mensen in de trein waarnemen.
- $f_0 = 740 \text{ Hz} \quad | \quad v_w = \frac{140}{3,6} = 38,8889 \text{ m/s} \quad | \quad v_{\text{golf}} = 343 \text{ m/s} \quad | \quad f_w = \dots \text{ Hz}$

- bewegende waarnemer $\rightarrow f_w = \frac{v_{golf} - v_w}{v_{golf}} \cdot f_{bron}$
- afstand tot de bron wordt kleiner $\rightarrow v_w$ is negatief $\rightarrow v_w = -38,8889 \text{ m/s}$
- $f_w = \frac{343 + 38,8889}{343} \cdot 740 \rightarrow f_w = 823,9 = 824 \text{ Hz}$

e Bereken de klinkel-frequentie die de mensen in de trein waarnemen.

- $f_0 = 2,0 \text{ Hz} \quad | \quad v_w = \frac{140}{3,6} = 38,8889 \text{ m/s} \quad | \quad v_{golf} = 343 \text{ m/s} \quad | \quad f_w = \dots \text{ Hz}$
- bewegende waarnemer $\rightarrow f_w = \frac{v_{golf} - v_w}{v_{golf}} \cdot f_{bron}$
- afstand tot de bron wordt kleiner $\rightarrow v_w$ is negatief $\rightarrow v_w = -2,0 \text{ m/s}$
- $f_w = \frac{343 + 38,8889}{343} \cdot 2 \rightarrow f_w = 2,22676 = 2,2 \text{ Hz}$

3***

Je staat op een viaduct boven een snelweg. Een politieauto met sirene komt met hoge snelheid voorbij. Bij het naderen van de politieauto neem je een frequentie waar van 720 Hz. Als hij voorbij is gereden neem je een frequentie van 590 Hz waar.

a Toon dit aan.

- naderen $f_{w \text{ naderen}} = \frac{v_{golf}}{v_{golf} - v_{bron}} \cdot f_{bron}$
- verwijderen $f_{w \text{ verwijderen}} = \frac{v_{golf}}{v_{golf} + v_{bron}} \cdot f_{bron}$
- verhouding $\frac{f_{w \text{ naderen}}}{f_{w \text{ verwijderen}}} = \frac{\left(\frac{v_{golf}}{v_{golf} - v_{bron}} \cdot f_{bron} \right)}{\left(\frac{v_{golf}}{v_{golf} + v_{bron}} \cdot f_{bron} \right)}$
- verhouding $\frac{f_{w \text{ naderen}}}{f_{w \text{ verwijderen}}} = \frac{v_{golf} + v_{bron}}{v_{golf} - v_{bron}}$

b Bereken de snelheid van de politieauto.

- $f_{w \text{ naderen}} = 720 \text{ Hz} \quad | \quad f_{w \text{ verwijderen}} = 590 \text{ Hz} \quad | \quad v_{golf} = 343 \text{ m/s} \quad | \quad v_{bron} = \dots \text{ m/s}$
- $\frac{f_{w \text{ naderen}}}{f_{w \text{ verwijderen}}} = \frac{v_{golf} + v_{bron}}{v_{golf} - v_{bron}}$
- $\frac{720}{590} = \frac{343 + v_{bron}}{343 - v_{bron}}$ kruislings vermenigvuldigen
- $590 \cdot (343 + v_{bron}) = 720 \cdot (343 - v_{bron})$
- $2,0237 \cdot 10^5 + 590 \cdot v_{bron} = 2,4696 \cdot 10^5 - 720 \cdot v_{bron}$

- $(590 + 720) \cdot v_{\text{bron}} = 2,4696 \cdot 10^5 - 2,0237 \cdot 10^5$
- $1310 \cdot v_{\text{bron}} = 4,459 \cdot 10^4 \rightarrow v_{\text{bron}} = 34,03817 = 34 \text{ m/s}$

c Bereken de frequentie van het geluid dat de sirene uitzendt.

- naderen
- $f_w = 720 \text{ Hz} \quad | \quad v_{\text{bron}} = 34,03817 \text{ m/s} \quad | \quad v_{\text{golf}} = 343 \text{ m/s} \quad | \quad f_0 = \dots \text{ Hz}$
- bewegende bron $\rightarrow f_w = \frac{v_{\text{golf}}}{v_{\text{golf}} + v_{\text{bron}}} \cdot f_{\text{bron}}$
- afstand tot de bron wordt kleiner $\rightarrow v_{\text{bron}}$ is negatief $\rightarrow v_{\text{bron}} = -34,03817 \text{ m/s}$
- $720 = \frac{343}{343 - 34,03817} \cdot f_{\text{bron}} \rightarrow f_{\text{bron}} = 648,5496 = 649 \text{ Hz}$

4 ****

a Beredeneer of de ontvanger een grotere of een kleinere frequentie meet?

- bij de heengaande golven ontvangt de vrachtauto een hogere frequentie
- deze frequentie kaatst de vrachtauto terug
- de vrachtauto is een bewegende bron die dichterbij komt
- de ontvanger meet een grotere frequentie

b Bewijs deze formule.

- heengaande golven $\rightarrow$ bewegende waarnemer $\rightarrow f_w = \frac{v_{\text{golf}} - v_w}{v_{\text{golf}}} \cdot f_{\text{bron}}$
- teruggekaatste golven $\rightarrow$ bewegende bron $\rightarrow f_w = \frac{v_{\text{golf}}}{v_{\text{golf}} + v_{\text{bron}}} \cdot f_{\text{bron}}$
- f_w van de bewegende waarnemer is gelijk aan f_{bron} van de teruggekaatste golven
- $f_w = \left(\frac{v_{\text{golf}}}{v_{\text{golf}} + v_{\text{bron}}} \right) \cdot \left(\frac{v_{\text{golf}} - v_w}{v_{\text{golf}}} \cdot f_{\text{bron}} \right)$ (v_{golf} wegstrepen)
- $f_w = \frac{v_{\text{golf}} - v}{v_{\text{golf}} + v} \cdot f_{\text{bron}}$

c Bereken de snelheid van de vrachtauto.

- $f_{\text{bron}} = 1000 \text{ Hz} \quad | \quad f_w = 850 \text{ Hz} \quad | \quad v_{\text{golf}} = 343 \text{ m/s} \quad | \quad v = \dots \text{ m/s}$
- $f_w = \frac{v_{\text{golf}} - v}{v_{\text{golf}} + v} \cdot f_{\text{bron}}$
- $850 = \frac{343 - v}{343 + v} \cdot 1000 \rightarrow 850 \cdot (343 + v) = 1000 \cdot (343 - v)$
- $2,9155 \cdot 10^5 + 850 \cdot v = 3,43 \cdot 10^5 - 1000 \cdot v$
- $1850 \cdot v = 5,145 \cdot 10^4 \rightarrow v = 27,81081 = 27,8 \text{ m/s} \quad (= 100 \text{ km/h})$

5

- a Leg uit waarom we in de formule $v \cdot \cos \alpha$ moeten gebruiken in plaats van v .
- het dopplereffect wordt alleen veroorzaakt door de component van de snelheid in de richting van de golven
 - voor deze component van v geldt: $v_{\text{richting golf}} = v \cdot \cos \alpha$

b Leg uit waarom dit nodig is.

- de uitgezonden golven hebben een ordegrrootte van 10 MHz (10^7 Hz)
- de verschuiving heeft ordegrrootte 0,1 kHz (10^2 Hz)
- het verschil is 5 ordegrroottes
- minimaal 5 significante cijfers zijn nodig om 5 ordegrroottes te omvatten

c Bereken de stroomsnelheid van het bloed.

- opzoeken geluidssnelheid in water van 40 °C: $v_{\text{geluid}} = 1529 \text{ m/s}$
- $f_{\text{bron}} = 7,0 \cdot 10^6 \text{ Hz}$ | $f_w = 7,0047 \cdot 10^6 \text{ Hz}$ | $v_{\text{golf}} = 1529 \text{ m/s}$ | $\alpha = 35^\circ$
- $f_w = \frac{v_{\text{golf}} - v \cdot \cos \alpha}{v_{\text{golf}} + v \cdot \cos \alpha} \cdot f_{\text{bron}}$
- $7,0047 \cdot 10^6 = \frac{1529 - v \cdot \cos 35}{1529 + v \cdot \cos 35} \cdot 7,0 \cdot 10^6$
- $7,0047 \cdot 10^6 \cdot (1529 + v \cdot \cos 35) = 7,0 \cdot 10^6 \cdot (1529 - v \cdot \cos 35)$
- $1,0710186 \cdot 10^{10} + 5,7379143 \cdot v = 1,0703 \cdot 10^{10} - 5,7340643 \cdot v$
- $1,14719786 \cdot 10^7 \cdot v = -7,186 \cdot 10^6 \rightarrow v = 0,626396 = 0,63 \text{ m/s}$

c Bereken met deze formule opnieuw de stroomsnelheid van het bloed en vergelijk dit met je antwoord op vraag b.

- $f_w - f_{\text{bron}} = \frac{2 \cdot v}{v_{\text{golf}}} \cdot f_{\text{bron}} \cdot \cos \alpha$
- $4,7 \cdot 10^3 = \frac{2 \cdot v}{1529} \cdot 7,0 \cdot 10^6 \cdot 0,819152 \rightarrow v = 0,626632 = 0,63 \text{ m/s}$

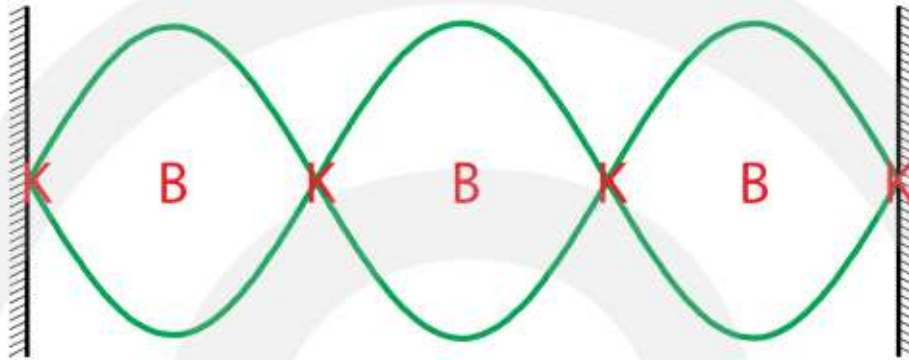
e Bereken de procentuele afwijking tussen de antwoorden bij vraag c en bij vraag d.

- antwoord vraag c : $v = 0,626396 \text{ m/s}$
- antwoord vraag d : $v = 0,626632 \text{ m/s}$
- procentuele afwijking: $\frac{0,626632 - 0,626396}{0,626396} \cdot 100\% = 0,03768 = 0,038\%$

10.6 Staande golven

Twee vaste uiteinden (snaarinstrumenten)

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



- b Bepaal de golflengte van de staande golf.

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

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

- oranje lijn

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

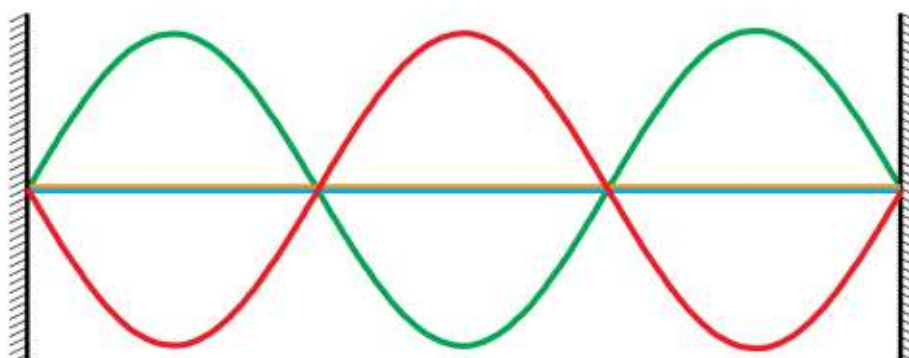
- rode lijn

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

- blauwe lijn

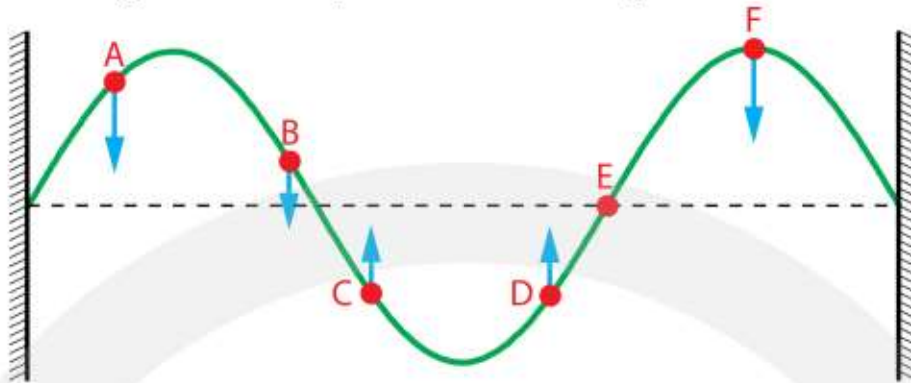
- d Teken de stand van het koord op $t = T$ (één trillingstijd later).

- groene lijn



3***

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



b Zet de punten A t/m F in volgorde van snelheid. Ga 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
- Timo heeft gelijk

4***

a Teken in onderstaande figuur een staande golf met 1 buik.

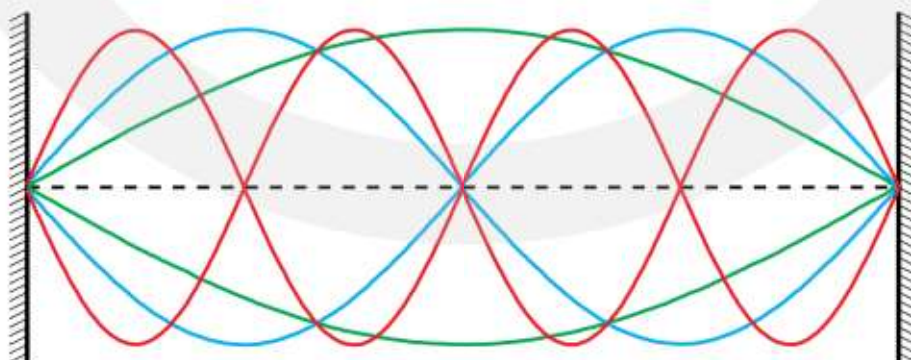
- groene lijn

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 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.

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

c Bereken de frequentie van de tweede boventoon.

- grondtoon $f_0 = 200 \text{ Hz}$
- 1^e boventoon $\lambda_1 = \frac{1}{2}\lambda_0 \rightarrow f_1 = 2 \cdot f_0 \rightarrow f_1 = 2 \cdot 200 = 400 \text{ Hz}$
- 2^e boventoon $\lambda_2 = \frac{1}{3}\lambda_0 \rightarrow f_2 = 3 \cdot f_0 \rightarrow f_2 = 3 \cdot 200 = 600 \text{ Hz}$
- de 2^e boventoon heeft een frequentie van 600 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 $\lambda_5 = \frac{1}{6}\lambda_0 \rightarrow f_5 = 6 \cdot f_0 \rightarrow f_5 = 6 \cdot 300 = 1800 \text{ Hz}$
- de 5^e boventoon heeft een frequentie van 1800 Hz

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

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

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

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

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

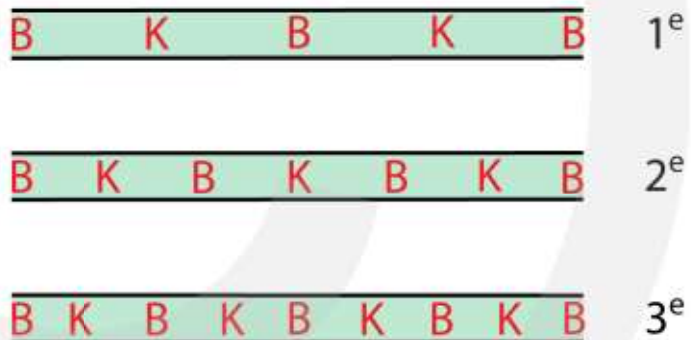
c Leg uit wie er gelijk heeft, Victor, Mats of geen van beiden.

- 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 Bereken de frequentie van de grondtoon.

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

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

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

11 ***

- a** Leg uit waarom je door alle gaatjes dicht te maken de laagste toon krijgt.
- als alle gaatjes dicht zijn heeft de luchtkolom de grootste lengte
 - grootste lengte $\rightarrow$ grootste golflengte
 - $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$
 - hoe groter λ is hoe kleiner f wordt
 - alle gaatjes dicht geeft de kleinste frequentie en dus de laagste toon
- b** Bereken hoe lang de fluit is van de inkeping tot het uiteinde aan de rechterkant.
- grondtoon: **B – K – B**
 - $f = 523 \text{ Hz} \mid v_{\text{golf}} = 343 \text{ m/s} \mid \lambda = \dots \text{ m}$
 - $343 = 523 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 0,65583 \text{ m}$
 - $\ell = \frac{1}{2} \lambda \rightarrow \ell = \frac{1}{2} \cdot 0,65583 = 0,3279 = 0,328 \text{ m}$
- c** Welke gaatjes moet je dicht houden als je een G speelt met een frequentie van 784 Hz?
- $f = 784 \text{ Hz} \mid v_{\text{golf}} = 343 \text{ m/s} \mid \lambda = \dots \text{ m}$
 - $343 = 784 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 0,4375 \text{ m}$
 - $\ell = \frac{1}{2} \lambda \rightarrow \ell = \frac{1}{2} \cdot 0,4375 = 0,21875 = 0,219 \text{ m}$
 - gebruik de verhouding: $\frac{0,219}{0,328} = 0,667$ van de lengte van de fluit
 - bij de g heeft de luchtkolom een lengte van $\frac{2}{3}$ van de fluit
 - opmeten lengte fluit vanaf de inkeping is 13 cm
 - lengte luchtkolom is $\frac{2}{3} \cdot 13 = 8,667 \text{ cm}$
 - er moet een buik komen bij het vijfde gaatje
 - je moet de bovenste 4 gaatjes dicht houden
 - *(door de bouw van het instrument moet je in werkelijkheid de bovenste 3 gaatjes dichthouden om een buik bij het 5^e gaatje te laten ontstaan)*

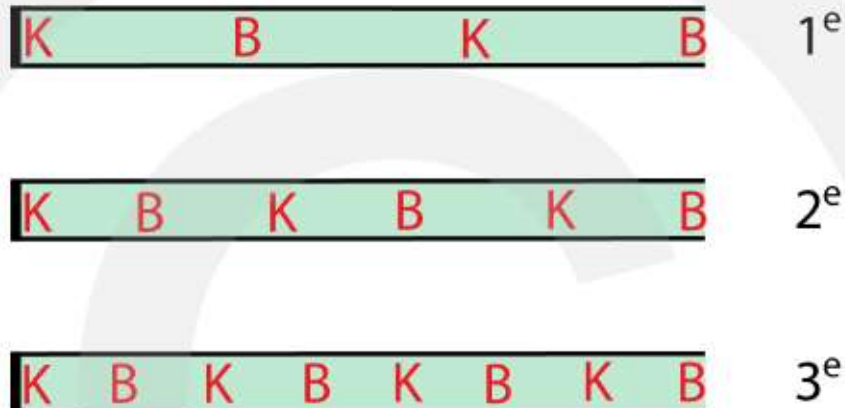
12 ***

- a** Leg uit of je deze toon kunt horen.
- de frequentie is kleiner dan 20 Hz
 - de toon is niet te horen
 - *(je kunt de luchttrilling wel voelen)*
- b** Bereken de lengte van de langste orgelpijp van de inkeping tot het uiteinde.
- $f = 16,35 \text{ Hz} \mid v_{\text{golf}} = 343 \text{ m/s} \mid \lambda = \dots \text{ m}$
 - $343 = 16,35 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 20,9786 \text{ m}$
 - $\ell = \frac{1}{2} \lambda \rightarrow \ell = \frac{1}{2} \cdot 20,9786 = 10,489 = 10,5 \text{ m}$
- c** Bereken de lengte van de kortste orgelpijp van de inkeping tot het uiteinde.
- $f = 1318,5 \text{ Hz} \mid v_{\text{golf}} = 343 \text{ m/s} \mid \lambda = \dots \text{ m}$
 - $343 = 1318,5 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 0,26014 \text{ m}$
 - $\ell = \frac{1}{2} \lambda \rightarrow \ell = \frac{1}{2} \cdot 0,26014 = 0,13007 = 0,130 \text{ m}$

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

Een vast en een los uiteinde

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



- b Bereken de frequentie van de grondtoon.

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

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

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

- 14** a Heeft deze luchtkolom twee open uiteinden of een open en een dicht uiteinde?
- evenveel knopen als buiken is
 - er is een open en een dicht 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
- $\ell = 5 \cdot \frac{1}{4} \lambda$
- $0,60 = \frac{5}{4} \lambda \rightarrow \lambda = \frac{4 \cdot 0,6}{5} = 0,48 \text{ m}$
- $v_{\text{golf}} = 343 \text{ m/s} \mid \lambda = 0,48 \text{ m} \mid f = \dots \text{ Hz}$
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$
- $343 = f \cdot 0,48 \rightarrow f = 714,58 = 715 \text{ Hz}$

b Geef met letter B de plaatsen van de buiken en met letter K de plaatsen van de knopen aan voor de 4^e boventoon.

- 4^e boventoon heeft 5 buiken en 5 knopen
- 4^e boventoon: K – B – K – B – K – B – K – B – K – B

c Bereken de frequentie van de vierde boventoon in de buis.

- $\ell = 9 \cdot \frac{1}{4} \lambda$
- $0,60 = \frac{9}{4} \lambda \rightarrow \lambda = \frac{4 \cdot 0,6}{9} = 0,2667 \text{ m}$
- $v_{\text{golf}} = 343 \text{ m/s} \mid \lambda = 0,2667 \text{ m} \mid f = \dots \text{ Hz}$
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$
- $343 = f \cdot 0,26667 \rightarrow f = 1286,25 = 1,29 \cdot 10^3 \text{ Hz}$

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
- $\ell = \frac{1}{4} \lambda \rightarrow \ell = \frac{1}{4} \cdot 5,5556 \rightarrow \lambda = \frac{5,5556}{4} = 1,38889 = 1,39 \text{ m}$

b Bereken de frequentie van de eerste boventoon.

- grondtoon: K – B
- 1^e boventoon: K – B – K – B

- $\ell = 3 \cdot \frac{1}{4} \lambda$
- $1,38889 = \frac{3}{4} \lambda \rightarrow \lambda = \frac{4 \cdot 1,38889}{3} = 1,85185 \text{ m}$
- $v_{\text{golf}} = 343 \text{ m/s} \mid \lambda = 1,85185 \text{ m} \mid f = \dots \text{ Hz}$
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$
- $343 = f \cdot 1,85185 \rightarrow f = 185,22 = 185 \text{ Hz}$

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 $\ell = \frac{0,328}{4} = 0,082 \text{ m} \quad (8,2 \text{ cm})$

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

- grondtoon: **K** – **B**
- 1^e boventoon: **K** – **B** – **K** – **B**
- $\ell = 3 \cdot \frac{1}{4} \lambda$

- $0,328 = \frac{3}{4}\lambda \rightarrow \lambda = \frac{4 \cdot 0,328}{3} = 0,43733 \text{ m}$
- $v_{\text{golf}} = 343 \text{ m/s} \mid \lambda = 0,43733 \text{ m} \mid f = \dots \text{ Hz}$
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$
- $343 = f \cdot 0,43733 \rightarrow f = 784,3 = 784 \text{ Hz}$

e Zoek op welke muzieknoot dit is.

- opzoeken: 784 Hz is muzieknoot G2

f Bereken de frequentie van de eerste boventoon van het kortste buisje.

- grondtoon: K – B
- 1^e boventoon: K – B – K – B
- $\ell = 3 \cdot \frac{1}{4}\lambda$
- $0,082 = \frac{3}{4}\lambda \rightarrow \lambda = \frac{4 \cdot 0,082}{3} = 0,10933 \text{ m}$
- $v_{\text{golf}} = 343 \text{ m/s} \mid \lambda = 0,10933 \text{ m} \mid f = \dots \text{ Hz}$
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$
- $343 = f \cdot 0,10933 \rightarrow f = 3137,2 \text{ Hz}$ (muzieknoot G4)

18****

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

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

19 ***

a Zijn er twee gesloten uiteinden, twee open uiteinden, één open en één gesloten uiteinde, of geen van drie?

- 2x gesloten → grond: K – B – K 1^e boventoon: K – B – K – B – K
- $f_1 = 2 \cdot f_0$
- 2x open → grond: B – K – B 1^e boventoon: B – K – B – K – B
- $f_1 = 2 \cdot f_0$
- 1x open en 1x gesloten → grond: K – B 1^e boventoon: K – B – K – B
- $f_1 = 3 \cdot f_0$
- er is één open en één gesloten uiteinde

b Zijn er twee gesloten uiteinden, twee open uiteinden, één open en één gesloten uiteinde, of geen van drie?

- 2^e boventoon dicht–dicht: K – B – K – B – K – B – K
- 2^e boventoon open–open: B – K – B – K – B – K – B
- 2^e boventoon dicht–open: K – B – K – B – K – B
- bij open–open en bij dicht–dicht geldt: $f_2 = 3 \cdot f_0$
- bij dicht–open geldt: $f_2 = 5 \cdot f_0$
- f_2 is nooit 4 keer zo groot als f_0
- geen van drie is mogelijk

Examenvragen havo

Blokfluit

- 4p **a** 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 **b** 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 **c** 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 **d** 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 **a** 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 **b** 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 **a** 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 **b** 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 **c** 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 **d** 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: $s = v_{\text{gem}} \cdot t \rightarrow 2,3 \cdot 10^6 = 3,4 \cdot 10^3 \cdot t \rightarrow t = 647 \text{ s}$ 1
 - de L-golven doen er $647 - 3,5 \cdot 60 = 437 \text{ s}$ over 1
 - $s = v_{\text{gem}} \cdot t \rightarrow 2,3 \cdot 10^6 = v_{\text{golf L}} \cdot 437 \rightarrow v_{\text{golf L}} = 5,263 \cdot 10^3 = 5,3 \cdot 10^3 \text{ m/s}$ 1
(marge 0,3 km/s)

Echoscopie

- 3p **a** 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 $1,00 \cdot 10^{-8} \text{ s} \rightarrow T = \frac{1,0 \cdot 10^{-8}}{2} = 5,00 \cdot 10^{-7} \text{ s}$ 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 **b** 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 $21 \cdot 10^{-6} \text{ s}$ 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 **a** 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 **b** 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 **c** Bereken met deze gegevens de geluidssnelheid in lucht.

- inzicht: $\ell = \frac{1}{4} \lambda$ 1
- $\lambda = 4 \cdot \ell \rightarrow \lambda = 4 \cdot 0,387 = 1,548 \text{ m}$
- gebruik $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$ 1
- $v_{\text{golf}} = 220 \cdot 1,548 = 340,56 = 341 \text{ m/s}$ 1

3p **d** 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 **a** 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 $\frac{171,5}{2} = 85,75 = 86 \text{ m}$ 1
- 4p **b** 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 **c** 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 **d** 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 **a** 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 **b** 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 **c** 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

Loopbrug

- 2p **a** Bepaal de amplitude van de trilling die de voet van de professor uitvoert.
- aflezen: maximum: $s_{\text{max}} = 1,16 \text{ m}$; minimum: $s_{\text{min}} = 0,43 \text{ m}$
 - verschil: $s_{\text{max}} - s_{\text{min}} = 1,16 - 0,43 = 0,73 \text{ m}$ 1
 - amplitude: $A = \frac{s_{\text{max}} - s_{\text{min}}}{2} = \frac{0,73}{2} = 0,365 = 0,37 \text{ m}$ (marge 0,01 m) 1
- 2p **b** 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 **c** 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
 - $v_{\text{max}} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{1,20 - 0,30}{10,55 - 9,85} = 1,3 \text{ m/s}$ (marge 0,2 m/s) 1

OOK GOED

- de grafiek is sinusvormig $\rightarrow$ de trilling is harmonisch 1
- $v_{\text{max}} = \frac{2\pi \cdot A}{T}$ 1
- $A = 0,37 \text{ m}$; $T = 1,8 \text{ s}$ 1
- $v_{\text{max}} = \frac{2\pi \cdot 0,37}{1,8} = 1,2915 = 1,3 \text{ m/s}$ 1

- 3p **d** 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 **e** 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) 1
 - $15,68 = 0,84 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 18,666 \text{ m}$ 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 **f** 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 **a** 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 **b** 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

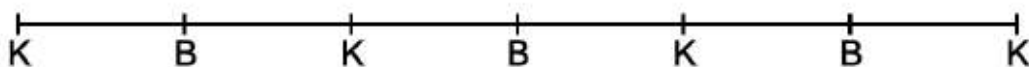
- 3p **c** Voer de volgende opdrachten uit:
- Geef in figuur 3 de plaats van de knoop/knopen (K) en buik/buiken (B) aan bij een snaar die trilt in de grondtoon. 1
 - grondtoon: twee knopen en één buik op de juiste plaats
 - Geef in figuur 3 de plaats van de knoop/knopen (K) en buik/buiken (B) aan bij een snaar die trilt in de eerste boventoon. 1
 - 1^e boventoon: drie knopen en twee buiken op de juiste plaats
 - Geef in de tekening van de grondtoon met een pijltje aan waar de harpist de snaar licht gedempt heeft. 1
 - pijltje halverwege de snaar in de grondtoon
- grondtoon
eerste boventoon
- 3p **d** 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 **e** 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 **f** Beantwoord nu de volgende vragen:
- Op welk natuurkundig verschijnsel is deze demonstratie gebaseerd? 1
 - Wat is de rol van de houten stok bij deze demonstratie? 1
 - de demonstratie is gebaseerd op resonantie 1
 - de houten stok geeft de trilling van de piano door aan de harp 1

Parasaurolophus

- 1p **a** Op welk natuurkundig verschijnsel is dit gebaseerd? 1
- op resonantie
- 3p **b** Toon met een berekening aan dat de grondtoon die de dino met deze hoorn kon laten horen een frequentie had van 48 Hz. 1
- 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 **c** Beredeneer of dit de eerste, de tweede, de derde, de vierde of de vijfde boventoon is. 1
- $\frac{f_{\text{boventoon}}}{f_{\text{grondtoon}}} = \frac{240}{48} = 5$
 - 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 **d** Leg uit of de grondtoon van een vrouwelijke Parasaurolophus hoger, lager of even hoog was als die van een mannelijk dier. 1
- 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 **e** Beredeneer of voor deze dieren de grondtoon of juist de boventonen het meest geschikt waren om in bossen te communiceren. 1
- 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

Vleugel

- 2p **a** Geef in figuur 2 de plaats van de knopen en de buiken op deze snaar aan als de snaar trilt in de tweede boventoon. 1
- 4 knopen en 3 buiken afwisselend 1
 - afstand tussen K en B is constant



- 1p **b** Welke boventoon klinkt dan niet mee? 1
- B zevende boventoon

- 3p **c** 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 **d** 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	

- 4p **e** 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 **f** 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

Examenvragen vwo

Geluidsanalyse (aangepast)

- 4p **a** Welke informatie uit figuur 1 ondersteunt conclusie 1 en welke ondersteunt conclusie 2? Geef een toelichting.
- conclusie 1
 - voor aan twee kanten ingeklemde snaar geldt
$$f_1 = 2 \cdot f_0 \quad f_2 = 3 \cdot f_0 \quad f_3 = 4 \cdot f_0 \quad f_4 = 5 \cdot f_0 \quad \text{etc}$$
 - dit patroon komt zowel bij Maarten als bij Zohra overeen met de metingen
 - conclusie 2
 - f_0 van Maarten is kleiner dan f_0 van Zohra
 - bij dezelfde spankracht en dikte zijn de stembanden van Maarten langer

- 2p **b** Bereken het vermogen van de geluidsbron die het spinnen veroorzaakt.

- $I = 6,3 \cdot 10^{-5} \text{ W/m}^2 \quad | \quad r = 3,0 \cdot 10^{-2} \text{ m} \quad | \quad P_{\text{bron}} = \dots \text{ W}$
- bolvormige golf $\rightarrow I = \frac{P_{\text{bron}}}{4\pi \cdot r^2}$
- $6,3 \cdot 10^{-5} = \frac{P_{\text{bron}}}{4\pi \cdot (3,0 \cdot 10^{-2})^2} \rightarrow P_{\text{bron}} = 7,125132 \cdot 10^{-7} = 7,1 \cdot 10^{-7} \text{ W}$

- 2p **c** Bereken tot op welke afstand van het strottenhoofd de grondtoon nog te horen is.

- $I = \frac{P_{\text{bron}}}{4\pi \cdot r^2} \rightarrow \frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$
- $\frac{6,3 \cdot 10^{-5}}{6,3 \cdot 10^{-7}} = \frac{r_2^2}{(3,0 \cdot 10^{-2})^2} \rightarrow r_2^2 = 9,0 \cdot 10^{-2} \rightarrow r_2 = 0,30 \text{ m}$

OOK GOED

- $I = 6,3 \cdot 10^{-7} \text{ W/m}^2 \quad | \quad P_{\text{bron}} = 7,12513 \cdot 10^{-7} \text{ W} \quad | \quad r = \dots \text{ m}$
- bolvormige golf $\rightarrow I = \frac{P_{\text{bron}}}{4\pi \cdot r^2}$
- $6,3 \cdot 10^{-7} = \frac{7,12513 \cdot 10^{-7}}{4\pi \cdot r^2} \rightarrow r^2 = 9,0 \cdot 10^{-2} \rightarrow r = 0,30 \text{ m}$

Bewegingssensor (aangepast)

- 3p **a** Leg uit of de sensor een te grote of een te kleine afstand berekent als de temperatuur tijdens de meting hoger is dan 20 °C.
- in de berekening wordt door de sensor $v_{\text{geluid}} = 343 \text{ m/s}$ gebruikt
 - deze waarde van v is te klein, want voor $T > 20 \text{ °C}$ is $v_{\text{geluid}} > 343 \text{ m/s}$
 - $s = v_{\text{geluid}} \cdot t$ geeft een te kleiner waarde voor de afstand

- 2p **b** Bereken hoeveel keer kleiner de geluidsintensiteit is van een puls die 6,0 m aflegt ten opzichte van een puls die 1,5 m aflegt.
- de afstand wordt 4 keer groter 1
 - de intensiteit wordt $4^2 = 16$ keer kleiner 1
- 3p **c** Leg uit hoe s met behulp van figuur 3 kan worden bepaald. Je hoeft de berekening niet uit te voeren.
- de richtingscoëfficiënt van de (x, t) -grafiek is gelijk aan v_{gem} 1
 - $s = v_{\text{gem}} \cdot t$ en $t = 2,5$ s 1
 - hiermee kan de afstand s worden berekend 1
- 4p **d** Bereken de pulsduur Δt_p .
- inzicht dat op 40 cm van de muur komt de echo van het begin van de puls binnenkomt, terwijl de sensor nog bezig is met het uitzenden van het einde van dezelfde puls 2
 - gebruik $s = v_{\text{gem}} \cdot t$ met $s = 2 \cdot 0,40 = 0,80$ m en $v_{\text{gem}} = 343$ m/s 1
 - $0,8 = 343 \cdot t \rightarrow t = \Delta t_p = 2,33236 \cdot 10^{-3} = 2,3 \cdot 10^{-3}$ s 1

Klarinet (aangepast)

- 3p **a** Bepaal de grondfrequentie van de laagste toon van de klarinet.
- aflezen grondtoon: 7 trillingen in $0,050 - 0,002 = 0,048$ s 1
 - $T = \frac{0,048}{7} = 6,85714 \cdot 10^{-3}$ s 1
 - $f = \frac{1}{T} \rightarrow f = \frac{1}{6,85714 \cdot 10^{-3}} = 145,8333 = 146$ Hz 1
- 3p **b** Leg uit of de kant van het riet opgevat kan worden als een gesloten of een open uiteinde.
- aflezen 1^e boventoon: 21 trillingen in $0,050 - 0,002 = 0,048$ s 1
 - $T = \frac{0,048}{21} = 2,2857 \cdot 10^{-3}$ s $\rightarrow f = \frac{1}{2,2857 \cdot 10^{-3}} = 437,5 = 438$ Hz 1
 - 1^e boventoon $\rightarrow f$ is met een factor 3 toegenomen $f_1 = 3 \cdot f_0$ en dit geldt voor een buis die aan één kant open is en aan de andere kant gesloten 1
- 3p **c** Laat met behulp van een berekening zien of het verschil van 3 Hz het gevolg zou kunnen zijn van een eventueel temperatuurverschil tussen beide dagen.
- $v_{\text{geluid}} = 343$ m/s ($T = 293$ K) | $f_1 = 437,5$ Hz | $\lambda = \dots$ m
 - $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda \rightarrow 343 = 437,5 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 0,784$ m 1
 - f_1 wordt 434,5 Hz en λ blijft gelijk $\rightarrow v_{\text{golf}} = 434,5 \cdot 0,784 = 340,648$ m/s 1
 - verandering van 3 m/s wordt veroorzaakt door een paar graden lagere temperatuur en dat is op twee verschillende dagen best mogelijk 1

- 3p **d** Bereken het geluidsintensiteit op 1,50 meter van de beker.
- $I = \frac{P_{\text{bron}}}{4\pi \cdot r^2} \rightarrow \frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$ 1
 - $\frac{3,16 \cdot 10^{-5}}{I_2} = \frac{1,5^2}{0,30^2}$ 1
 - $I_2 = \frac{3,16 \cdot 10^{-5} \cdot 0,30^2}{1,5^2} = 1,264 \cdot 10^{-8} = 1,3 \cdot 10^{-8} \text{ W / m}^2$ 1

Ding-dong (aangepast)

- 3p **a** Bereken de voortplantingssnelheid van de golven in deze klankstaaf.
- vast in P en Q $\rightarrow$ er zijn knopen bij P en Q $\rightarrow P-Q = \frac{1}{2}\lambda$ 1
 - gebruik $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$ met $\lambda = 2 \cdot 7,5 = 15 \text{ cm}$ 1
 - $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda \rightarrow v_{\text{golf}} = 392 \cdot 0,15 = 58,8 = 59 \text{ m / s}$ 1
- 3p **b** Beredeneer of de voortplantingssnelheid van de transversale golven in een dunne klankstaaf groter of kleiner is dan in een dikke klankstaaf.
- afstand PQ is hetzelfde $\rightarrow$ golflengte in beide staven is hetzelfde 1
 - linkerstaaf klinkt lager $\rightarrow$ lagere frequentie 1
 - $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda \rightarrow f$ wordt kleiner en λ blijft gelijk $\rightarrow v_{\text{golf}}$ linkerstaaf is kleiner 1
- 4p **c** Bereken de tijd dat S minimaal ingedrukt moet zijn om de ijzeren pen 25 mm omhoog te brengen. Verwaarloos hierbij de vrijgekomen veerenergie.
- $m = 12 \cdot 10^{-3} \mid h = 25 \cdot 10^{-3} \mid E_z = \dots \text{ J}$
 - $E_z = m \cdot g \cdot h \rightarrow E_z = 12 \cdot 10^{-3} \cdot 9,81 \cdot 25 \cdot 10^{-3} = 2,943 \cdot 10^{-3} \text{ J}$ 1
 - $E_{\text{el}} = U \cdot I \cdot t \rightarrow E_{\text{el}} = 6 \cdot 0,25 \cdot t \rightarrow E_{\text{el}} = 1,5 \cdot t$ 1
 - $\eta = \frac{E_{\text{nut}}}{E_{\text{in}}} \cdot 100\% \rightarrow 4 = \frac{E_z}{E_{\text{el}}} \cdot 100\% \rightarrow 4 = \frac{2,943 \cdot 10^{-3}}{1,5 \cdot t} \cdot 100\%$ 1
 - $4 = \frac{2,943 \cdot 10^{-3}}{1,5 \cdot t} \cdot 100 \rightarrow 6 \cdot t = 2,943 \cdot 10^{-3} \cdot 100 \rightarrow t = 0,04905 = 0,05 \text{ s}$ 1
- 3p **d** Bereken de trillingstijd van de trilling die de ijzeren pen uitvoert.
- $F_{\text{veer}} = C \cdot u$ en $F_{\text{veer}} = F_z = m \cdot g \rightarrow m \cdot g = C \cdot u$ 1
 - $m = 12 \cdot 10^{-3} \mid u = 4,0 \cdot 10^{-3} \text{ m} \mid C = \dots \text{ N / m}$
 - $m \cdot g = C \cdot u \rightarrow 12 \cdot 10^{-3} \cdot 9,81 = C \cdot 4,0 \cdot 10^{-3} \rightarrow C = 29,43 \text{ N / m}$ 1
 - $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{C}} \rightarrow T = 2\pi \sqrt{\frac{12 \cdot 10^{-3}}{29,43}} \rightarrow T = 0,12687 = 0,13 \text{ s}$ 1

Xylofoon (aangepast)

- 3p **a** Bereken de voortplantingssnelheid van de transversale golven in deze staaf.
- er zijn knopen bij P en Q $\rightarrow P - Q = \frac{1}{2}\lambda$ 1
 - gebruik $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$ met $\lambda = 2 \cdot 0,195 = 0,39 \text{ m}$ 1
 - $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda \rightarrow v_{\text{golf}} = 440 \cdot 0,39 = 171,6 = 172 \text{ m/s}$ 1
- 3p **b** Bereken de lengte van de resonantiebuys die onder de klankstaaf van 440 Hz hangt.
- $v_{\text{golf}} = 343 \text{ m/s} \mid f = 440 \text{ Hz} \mid \lambda = \dots \text{ m}$
 - $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda \rightarrow 343 = 440 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 0,779545 \text{ m}$ 1
 - open – dicht $\rightarrow K - B = \frac{1}{4}\lambda \rightarrow \ell + 0,013 = \frac{1}{4}\lambda$ 1
 - $\ell + 0,013 = \frac{0,779545}{4} \rightarrow \ell = 0,181886 = 0,182 \text{ m}$ 1
- 3p **c** Bereken hoeveel decibel het geluidsniveau toeneemt door de resonantiebuys.
- $L_P = 10 \cdot \log \frac{I}{10^{-12}}$
 - $L_{P \text{ zonder}} = 10 \cdot \log \frac{1,0 \cdot 10^{-6}}{10^{-12}} \rightarrow L_{P \text{ zonder}} = 60 \text{ dB}$ 1
 - $L_{P \text{ met}} = 10 \cdot \log \frac{5,0 \cdot 10^{-5}}{10^{-12}} \rightarrow L_{P \text{ met}} = 76,9897 \text{ dB}$ 1
 - verschil $L_{P \text{ met}} - L_{P \text{ zonder}} = 76,9897 - 60 = 16,9897 = 17 \text{ dB}$ 1

Onderwatergeluid (aangepast)

- 3p **a** Bereken de afstand van het schip tot de rots.
- opzoeken zeewater: $v_{\text{geluid}} = 1,51 \cdot 10^3 \text{ m/s}$ 1
 - $v_{\text{gem}} = 1,51 \cdot 10^3 \mid t = 4,35 \text{ s} \mid s = \dots \text{ m}$
 - $s = v_{\text{gem}} \cdot t \rightarrow s = 1,51 \cdot 10^3 \cdot 4,35 = 6568,5 \text{ m}$ 1
 - afstand tot de rots $\rightarrow \frac{1}{2}s = \frac{6568,5}{2} = 3284,25 = 3,28 \cdot 10^3 \text{ m}$ 1
- 2p **b** Leg met een berekening uit waarom deze vissen slecht met deze sonar kunnen worden gedetecteerd.
- $v_{\text{golf}} = 1,51 \cdot 10^3 \mid f = 2000 \text{ Hz} \mid \lambda = \dots \text{ m}$
 - $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda \rightarrow 1,51 \cdot 10^3 = 2000 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 0,755 \text{ m}$ 1
 - λ is groter dan 0,5 m $\rightarrow$ vissen kleiner dan 0,5 m die alleen zwemmen kunnen niet worden waargenomen 1

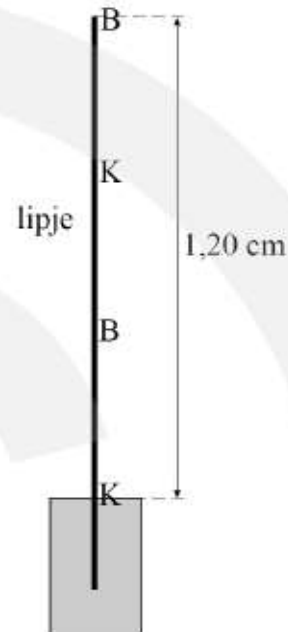
- 3p **c** Bereken het vermogen van deze geluidsbron er van uitgaande dat in alle richtingen even sterk wordt uitgezonden. (In werkelijkheid wordt er maar in een zeer beperkte richting uitgezonden.)
- $L_p = 10 \cdot \log \frac{I}{10^{-12}} \rightarrow 160 = 10 \cdot \log \frac{I}{10^{-12}} \rightarrow I = 1,0 \cdot 10^4 \text{ W/m}^2$ 1
 - $I = \frac{P_{\text{bron}}}{4\pi \cdot r^2}$ met $r = 30 \text{ m}$ 1
 - $1,0 \cdot 10^4 = \frac{P_{\text{bron}}}{4\pi \cdot 30^2} \rightarrow P_{\text{bron}} = 1,13097 \cdot 10^8 = 1,1 \cdot 10^8 \text{ W}$ 1
- 4p **d** Laat met behulp van een berekening zien of deze dieren op $1,0 \cdot 10^3 \text{ km}$ afstand last hebben van bovengenoemde geluidsbron. Verwaarloos daarbij de afname van de sterkte van het geluid door andere oorzaken dan de toegenomen afstand.
- $I = \frac{P_{\text{bron}}}{4\pi \cdot r^2} \rightarrow \frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$ 1
 - $\frac{1,0 \cdot 10^4}{I_2} = \frac{(1,0 \cdot 10^6)^2}{30^2} \rightarrow I_2 = 9,0 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2$ 1
 - $L_p = 10 \cdot \log \frac{I}{10^{-12}} \rightarrow L_p = 10 \cdot \log \frac{9,0 \cdot 10^{-8}}{10^{-12}} \rightarrow L_p = 69,5424 \text{ dB}$ 1
 - L_p is meer dan 50 dB dus de dieren hebben er last van 1
- OOK GOED
- $P_{\text{bron}} = 1,13097 \cdot 10^8 \text{ W} \mid r = 1,0 \cdot 10^3 \text{ m} \mid I = \dots \text{ W/m}^2$
 - $I = \frac{P_{\text{bron}}}{4\pi \cdot r^2}$ met $r = 1,0 \cdot 10^6 \text{ m}$ 1
 - $I = \frac{1,13097 \cdot 10^8}{4\pi \cdot (1,0 \cdot 10^6)^2} \rightarrow I = 9,0 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2$ 1
 - $L_p = 10 \cdot \log \frac{I}{10^{-12}} \rightarrow L_p = 10 \cdot \log \frac{9,0 \cdot 10^{-8}}{10^{-12}} \rightarrow L_p = 69,5424 \text{ dB}$ 1
 - L_p is meer dan 50 dB dus de dieren hebben er last van 1

Mondharmonica

- 3p **a** Leg uit welke van deze figuren correspondeert met gat A.
- in fig. 3 zijn minder trillingen dan in fig. 2 $\rightarrow$ de frequentie in fig. 3 is lager 1
 - lipje bij gat A is langer dan lipje bij gat B en trilt dus met een lagere frequentie 1
 - gat A hoort bij figuur 3 1
- 3p **b** Bepaal welke toon in figuur 2 weergegeven is. Gebruik Binas. Geef je antwoord met een letter en een cijfer zoals in Binas.
- aflezen figuur 2: 8 trillingen in 18,1 ms (minimaal 5 trillingen gebruiken) 1
 - $T = \frac{18,1 \cdot 10^{-3}}{8} = 2,2625 \cdot 10^{-3} \text{ s} \rightarrow f = \frac{1}{T} \rightarrow f = \frac{1}{2,2625 \cdot 10^{-3}} = 442 \text{ Hz}$ 1
 - dit is de frequentie van muzieknoot a1 (wel met kleine afwijking) 1

- 3p **c** Bereken de voortplantingssnelheid van de golven in het lipje.
- los – vast $\rightarrow K-B = \frac{1}{4}\lambda \rightarrow \ell = \frac{1}{4}\lambda$ 1
 - $f = 392 \text{ Hz} \mid \lambda = 4 \cdot 0,012 = 0,048 \text{ m} \mid v_{\text{golf}} = \dots \text{ m/s}$ 1
 - $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda \rightarrow v_{\text{golf}} = 392 \cdot 0,048 = 18,816 = 18,8 \text{ m/s}$ 1

- 2p **d** Geef in figuur 4 de plaatsen aan van de buiken en de knopen in het lipje als het trilt in de eerste boventoon.



Radarcontrole

- 3p **a** Bereken de frequentie van de uitgezonden radargolven.
- opzoeken: $v_{\text{golf}} = c = 2,9979 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ 1
 - $v_{\text{golf}} = c = 2,9979 \cdot 10^8 \text{ m/s} \mid \lambda = 9,0 \cdot 10^{-3} \text{ m} \mid f = \dots \text{ Hz}$ 1
 - $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$ 1
 - $2,9979 \cdot 10^8 = f \cdot 9 \cdot 10^{-3} \rightarrow f = 3,331 \cdot 10^{10} = 3,3 \cdot 10^{10} \text{ Hz}$ 1

- 2p **b** Geef voor beide veranderingen de oorzaak.
- amplitude klein: 1
 - slechts een klein deel van de uitgezonden radargolven raakt de auto
 - slechts een klein deel van de teruggekaatste radargolven bereik de detector
 - een deel van de radargolven wordt door de auto geabsorbeerd
 - golflengte klein: 1
 - naderende auto veroorzaakt dopplereffect waarbij de frequentie hoger wordt $\rightarrow$
 - $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda \rightarrow v_{\text{golf}}$ blijft gelijk en f wordt groter $\rightarrow \lambda$ wordt kleiner

- 4p **c** Bepaal met behulp van figuur 2 de snelheid van de naderende auto in km h^{-1} .
- aflezen: $\Delta T = 180 \cdot 10^{-6} \text{ s}$ (marge $4 \cdot 10^{-6} \text{ s}$) 1
 - $\Delta f = \frac{1}{\Delta T} \rightarrow \Delta f = \frac{1}{180 \cdot 10^{-6}} = 5555,55 \text{ Hz}$ 1

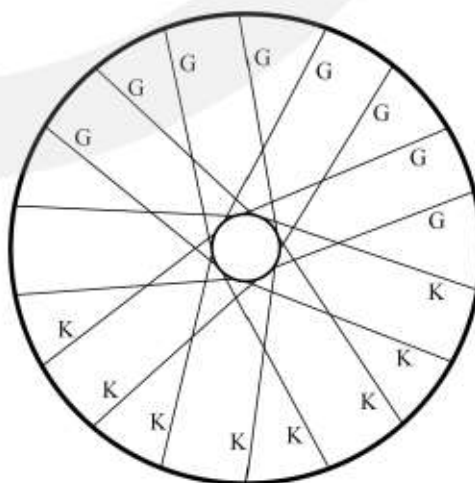
- $\Delta f = \frac{2 \cdot v}{\lambda} \rightarrow 5555,55 = \frac{2 \cdot v}{9,0 \cdot 10^{-3}} \rightarrow 2 \cdot v = 50 \text{ m/s} \rightarrow v = 25 \text{ m/s}$ 1
- $v = 25 \cdot 3,6 = 90 \text{ km/h}$ 1

- 2p d Leg uit of in dat geval de formule een te grote of een te kleine waarde voor de snelheid v geeft.
- de component van de snelheid in de richting van het radarapparaat is kleiner dan de snelheid 1
 - de formule geeft een te kleine waarde voor v 1

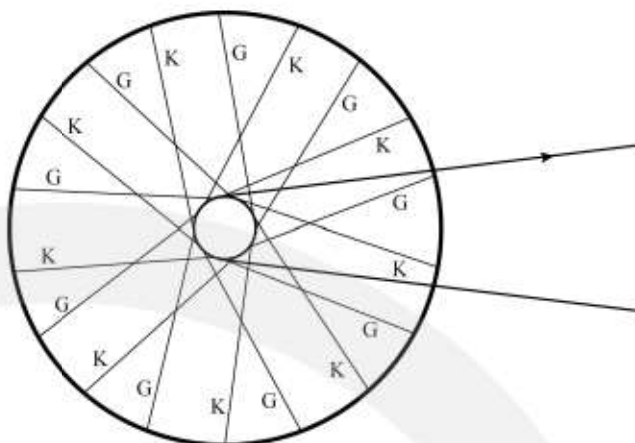
Spaken van een fietswiel

- 4p a Bereken de spankracht in de spaak.
- grondtoon: $\ell = \frac{1}{2}\lambda \rightarrow 0,30 = \frac{1}{2}\lambda \rightarrow \lambda = 0,60 \text{ m}$ 1
 - $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$ met $f = 300 \text{ Hz} \rightarrow v_{\text{golf}} = 300 \cdot 0,6 = 180 \text{ m/s}$ 1
 - $m_{\ell} = \frac{6,0 \cdot 10^{-3}}{0,30} = 2,0 \cdot 10^{-2} \text{ kg/m}$ 1
 - $v_{\text{golf}} = \sqrt{\frac{F_s}{m_{\ell}}} \rightarrow 180 = \sqrt{\frac{F_s}{2,0 \cdot 10^{-2}}} \rightarrow F_s = 648 = 6,5 \cdot 10^2 \text{ N}$ 1
- 2p b Leg met behulp van bovenstaande formule uit of de toon die de spaak geeft hoger of lager wordt als de spaak strakker aangedraaid wordt.
- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda = \sqrt{\frac{F_s}{m_{\ell}}}$ 1
 - F_s wordt groter | m_{ℓ} blijft gelijk $\rightarrow v_{\text{golf}}$ wordt groter
 - λ blijft gelijk $\rightarrow f$ wordt groter $\rightarrow$ de toon wordt hoger 1

- 2p c Geef in de figuur 2 met letters G ten minste twee spaken aan waarin de spankracht groter wordt en met letters K ten minste twee spaken waarin de spankracht kleiner wordt.



- 2p d Geef in figuur 3 met letters G ten minste twee spaken aan waarin de spankracht groter wordt en met letters K ten minste twee spaken waarin de spankracht kleiner wordt.



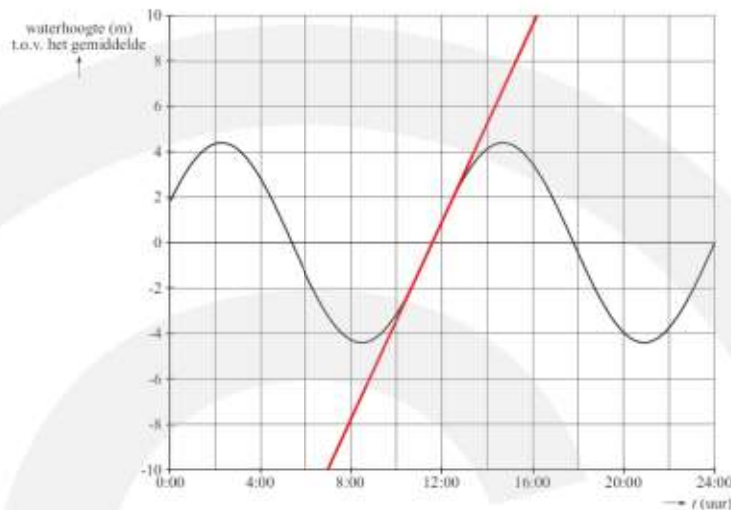
Sopraansaxofoon (aangepast)

- 4p a Toon aan dat geen van beide hypothesen bevestigd wordt door de gegevens van figuur 2 in combinatie met figuur 3.
- figuur 2: 9 trillingen in 0,042 seconden $\rightarrow T = \frac{0,042}{9} = 4,6666 \cdot 10^{-3} \text{ s}$ 1
 - $f = \frac{1}{T} \rightarrow f = \frac{1}{4,6666 \cdot 10^{-3}} = 214,3 \text{ Hz}$ 1
 - aflezen figuur 3 bij buislengte 66 cm 1
 - gesloten – open: $f = 130 \text{ Hz}$
 - open – open: $f = 260 \text{ Hz}$
 - in beide gevallen vind je niet $f = 214 \text{ Hz} \rightarrow$ geen bevestiging 1
- 3p b Leg aan de hand van figuur 4 uit dat hypothese 2 het meest gesteund wordt.
- bij open – open verwacht je: $1 \cdot f_0$ $2 \cdot f_0$ $3 \cdot f_0$ $4 \cdot f_0$ $5 \cdot f_0$ 1
 - bij gesloten – open verwacht je: $1 \cdot f_0$ $3 \cdot f_0$ $5 \cdot f_0$ $7 \cdot f_0$ $9 \cdot f_0$ 1
 - figuur 4: frequenties zijn: 210 , 420 , 630 , 840 Hz dit komt overeen met open – open buis $\rightarrow$ hypothese 2 wordt het meest gesteund 1
- 4p c Laat zien of de metingen van figuur 2 overeenkomen met bovenstaande theorie.
- opmeten $L = 15,3 \text{ cm}$ en gebruik schaalfactor $\rightarrow L = \frac{15,3}{12,2} \cdot 0,66 = 0,83 \text{ m}$ 1
 - grondtoon $\lambda = 2 \cdot L = 2 \cdot 0,83 = 1,66 \text{ m}$ 1
 - $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$ met $v_{\text{golf}} = 343 \text{ m/s}$ 1
 - $343 = f \cdot 1,66 \rightarrow 206,63 = 207 \text{ Hz} \rightarrow$ komt overeen met de metingen 1

Getijdenresonantie

- 3p a Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de maximale stijgsnelheid van het water in Saint John in centimeter per minuut.
- $v = \frac{\Delta u}{\Delta t}$

- teken lange raaklijn bij $u = 0$ en bepaal de richtingscoëfficiënt 1
- aflezen: $\Delta u = 20 \text{ m}$ en $\Delta t = 16 - 7 = 9 \text{ uur}$ 1
- $v = \frac{20}{9} = 2,2222 \text{ m / uur} = 222,22 \text{ cm / uur} \rightarrow v = \frac{222,22}{60} = 3,7 \text{ cm / min}$ 1

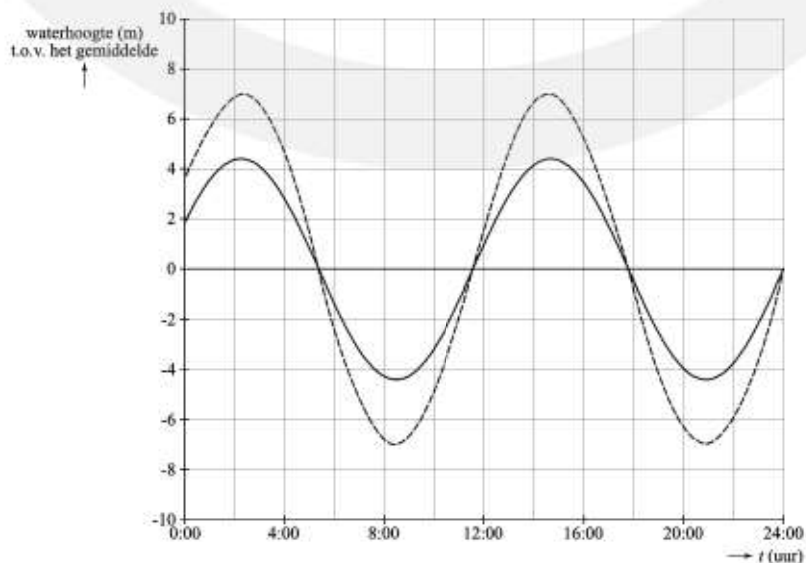


OOK GOED:

- (u, t) -diagram heeft een sinusvorm $\rightarrow$ harmonische trilling $\rightarrow v_{\max} = \frac{2\pi \cdot A}{T}$ 1
- aflezen: $A = 4,4 \text{ m}$ en $T = 12,4 \text{ h}$ 1
- $v_{\max} = \frac{2\pi \cdot 4,4}{12,4} = 2,23 \text{ m / uur} \rightarrow v_{\max} = \frac{2,23}{60} = 3,7 \text{ cm / min}$ 1

3p **b** Schets in figuur 1 de waterhoogte bij Cumberland County, aan het einde van de baai, als functie van de tijd.

- de grafiek gaat op dezelfde tijdstippen door de nul als de gegeven grafiek 1
- de grafiek heeft de toppen op dezelfde tijdstippen als de gegeven grafiek 1
- de grafiek heeft een grotere amplitude dan de gegeven grafiek 1



- 2p **c** Leg uit hoe dit blijkt uit figuur 3.
- de lengte van baai is gelijk aan de afstand knoop – buik $\rightarrow$ lengte $= K - B = \frac{1}{4}\lambda$ 1
 - λ is 4 keer de lengte van de baai 1
- 3p **d** Bepaal welke waarde voor de golfsnelheid gebruikt is in dit model.
- aflezen figuur 1 $T = 12,4 \text{ h} = 4,464 \cdot 10^4 \text{ s}$ 1
 - $\lambda = v_{\text{golf}} \cdot T$ met $\lambda = 4 \cdot 300 = 1200 \text{ km} = 1,2 \cdot 10^6 \text{ m}$ 1
 - $1,2 \cdot 10^6 = v_{\text{golf}} \cdot 4,464 \cdot 10^4 \rightarrow v_{\text{golf}} = 26,8817 = 26,9 \text{ m/s}$ 1
- 2p **e** Verklaar dit.
- grondtoon open – dicht: $L = \frac{1}{4}\lambda \rightarrow$ eerste boventoon: $L = 3 \cdot \frac{1}{4}\lambda$ 1
 - $\lambda = 1200 \text{ km} \rightarrow \frac{3}{4}\lambda = 900 \text{ km}$ bij $L = 900 \text{ km}$ ontstaat de tweede boventoon 1
- 3p **f** Leg uit of de bewoners aan de baai zich terecht ongerust maken.
- $L = \frac{1}{4}\lambda$ en $\lambda = v_{\text{golf}} \cdot T \rightarrow L = \frac{1}{4} \cdot v_{\text{golf}} \cdot T \rightarrow v_{\text{golf}}$ neemt toe en T blijft gelijk $\rightarrow$ resonantielengte L groter 1
 - de lengte waarbij de eerste boventoon optreedt komt dichterbij de werkelijke lengte van de baai (325 km) 1
 - de versterkingsfactor neemt toe $\rightarrow$ het getijdenverschil wordt groter de bewoners maken zich terecht ongerust 1

Oor

- 3p **a** Toon dat aan met behulp van een berekening.
- grondtoon open – dicht: $\ell = B - K = \frac{1}{4}\lambda \rightarrow \lambda = 4 \cdot 28 = 112 \text{ mm} = 0,112 \text{ m}$ 1
 - $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$ met $v_{\text{golf}} = 343 \text{ m/s}$ 1
 - $343 = f \cdot 0,112 \rightarrow f = 3062,5 = 3,0 \cdot 10^3 \text{ Hz}$ 1
- 2p **b** Leg uit of de frequentie waarbij versterking optreedt bij een baby groter of kleiner is dan bij een volwassen persoon.
- bij een baby is de gehoorgang korter 1
 - een kortere gehoorgang geeft een hogere resonantiefrequentie 1
- 2p **c** Bereken hoeveel maal groter de druk op het ovale venster is vergeleken met de druk op het trommelvlies.
- oppervlakte is 19 keer zo klein $\rightarrow$ de druk wordt 19 keer zo groot 1
 - versterking met factor 1,3 $\rightarrow$ druk wordt $1,3 \cdot 19 = 24,7 = 25$ keer zo groot 1
- 3p **d** Bepaal de massa in het gebruikte model op die plaats van het basilaire membraan.
- gebruik $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}}$ met $C = 500 \text{ N/m}$ (aflezen figuur in 5) 1
 - $T = \frac{1}{f} \rightarrow T = \frac{1}{3000} = 3,3333 \cdot 10^{-4}$ 1

- $3,3333 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{500}} \rightarrow m = 1,40724 \cdot 10^{-8} = 1,4 \cdot 10^{-8} \text{ kg}$ 1

2p e Laat met behulp een schatting zien of in dit model de massa's toenemen of afnemen als de afstand x groter wordt.

- figuur 5: afstand 2x zo groot $\rightarrow$ stijfheid 2x zo klein (*omgekeerd evenredig*)
- figuur 3: afstand 2x zo groot $\rightarrow$ frequentie 4x zo klein 1

- $T = \frac{1}{f} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}} \rightarrow f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{C}{m}}$

- f wordt 4x zo klein en C wordt 2x zo klein $\rightarrow$ m moet toenemen 1

Tsunami

4p a Ga na met een berekening of de zwaarte-energie van de waterberg in figuur 2 de waarde van 0,5 PJ overschrijdt.

- $\rho = 1,0 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 \mid \ell = 1200 \cdot 10^3 \text{ m} \mid b = 150 \cdot 10^3 \text{ m} \mid h = 1,8 \text{ m}$
- $\rho = \frac{m}{V}$ met $V = \ell \cdot b \cdot h \rightarrow m = 1,0 \cdot 10^3 \cdot 1200 \cdot 10^3 \cdot 150 \cdot 10^3 \cdot 1,8 = 3,24 \cdot 10^{14} \text{ kg}$ 1
- zwaartepunt van de berg ligt op de halve hoogte 1
- $E_z = m \cdot g \cdot h$ 1
- $E_z = 3,24 \cdot 10^{14} \cdot 9,81 \cdot 0,90 = 2,86 \cdot 10^{15} \text{ J} = 2,86 \text{ PJ} \rightarrow$ meer dan 0,5 PJ 1

2p b Leg uit waarom de amplitude van een golf in figuur 3 wel sterk afneemt en in figuur 4 (bijna) niet.

- figuur 3: de zwaarte-energie verdeelt zich over een groter oppervlakte waardoor de hoogte afneemt, want de hoeveelheid E_z blijft gelijk 1
- figuur 4: de golf blijft even breed $\rightarrow$ de energie wordt niet over een groter oppervlak verdeeld $\rightarrow$ de hoogte blijft daarom gelijk 1

3p c Geef voor beide effecten een natuurkundige verklaring.

- diepte d wordt kleiner $\rightarrow v = \sqrt{g \cdot d} \rightarrow$ de golfsnelheid neemt af 1
- $v_{\text{golf}} = \lambda \cdot f$ v_{golf} neemt af en f blijft gelijk $\rightarrow \lambda$ wordt kleiner 1
- behoud van energie $\rightarrow$ golfberg wordt hoger 1

OOK GOED

- diepte d wordt kleiner $\rightarrow v = \sqrt{g \cdot d} \rightarrow$ de golfsnelheid neemt af 1
- $v_{\text{golf}} = \lambda \cdot f$ v_{golf} neemt af en f blijft gelijk $\rightarrow \lambda$ wordt kleiner 1
- de hoeveelheid opgestuwde water verandert niet $\rightarrow$ golfberg wordt hoger 1

4p d Bereken het tijdsverschil tussen het waarnemen van de schokgolf en de komst van de tsunami.

- schok: $v_{\text{geluid}} = 3,6 \cdot 10^3 \text{ m/s}$ $v_{\text{schok}} = 2 \cdot 3,6 \cdot 10^3 = 7,2 \cdot 10^3 \text{ m/s}$ 1
- schok: $s = v_{\text{gem}} \cdot t \rightarrow 2,5 \cdot 10^6 = 7,2 \cdot 10^3 \cdot t \rightarrow t = 347,222 \text{ s}$ 1

- golf: $v_{\text{golf}} = \sqrt{9,81 \cdot 3000} = 1,7155 \cdot 10^2 \text{ m/s}$ 1
- golf: $s = v_{\text{gem}} \cdot t \rightarrow 2,5 \cdot 10^8 = 1,7155 \cdot 10^2 \cdot t \rightarrow t = 1,4573 \cdot 10^4 \text{ s}$
- verschil: $\Delta t = 1,4573 \cdot 10^4 - 347,2 = 1,42256 \cdot 10^4 = 1,4 \cdot 10^4 \text{ s} \quad (4,0 \text{ h})$ 1

2p **e** Leg uit met behulp van figuur 6 of bij Phuket eerst een golfdal of eerst een golfberg arriveerde.

- vanaf $t = 9$ minuten wordt de diepte van de zee onder het schip eerst kleiner 1
- de tsunami is dus voorafgegaan door een golfdal 1

3p **f** Bepaal met behulp van figuur 6 de golflengte van de tsunami-golven vlak voor de kust van Phuket.

- aflezen: de periode is ongeveer 20 minuten $T = 20 \cdot 60 = 1200 \text{ s}$ 1
- $v_{\text{golf}} = \sqrt{9,81 \cdot 12} = 10,85 \text{ m/s} \quad | \quad T = 1200 \text{ s} \quad | \quad \lambda = \dots \text{ m}$ 1
- $\lambda = v_{\text{golf}} \cdot T \rightarrow \lambda = 10,85 \cdot 1200 = 1,302 \cdot 10^4 = 1,3 \cdot 10^4 \text{ m} \quad (13 \text{ km})$ 1