

TRILLINGEN & GOLVEN – VWO

Foton is een opgavenverzameling voor het nieuwe eindexamenprogramma natuurkunde.

Foton is gratis te downloaden via natuurkundeuitgelegd.nl/foton

Uitwerkingen van alle opgaven staan op natuurkundeuitgelegd.nl/uitwerkingen

Videolessen over de theorie zijn te vinden op natuurkundeuitgelegd.nl/videolessen

Theorie bij dit hoofdstuk wordt behandeld in onderstaande videolessen:

[Trillingen](#)

[Fase & gereduceerde fase](#)

[Oscilloscoop](#)

[Harmonische trilling](#)

[Trillingsenergie & Snelheid](#)

[Resonantie & eigentrilling](#)

[Golven](#)

[Longitudinaal/transversaal](#)

[Geluid & toonhoogte](#)

[Golffasen](#)

[Interferentie](#)

[Knoop- & buiklijnen](#)

[Snaren & staande golven](#)

[Gesloten buis](#)

[Open buis](#)

[Zenden & ontvangen](#)

[Modulatie](#)

[Amplitudemodulatie \(AM\)](#)

[Frequentiemodulatie \(FM\)](#)

[Bandbreedte](#)

[Bitrate](#)

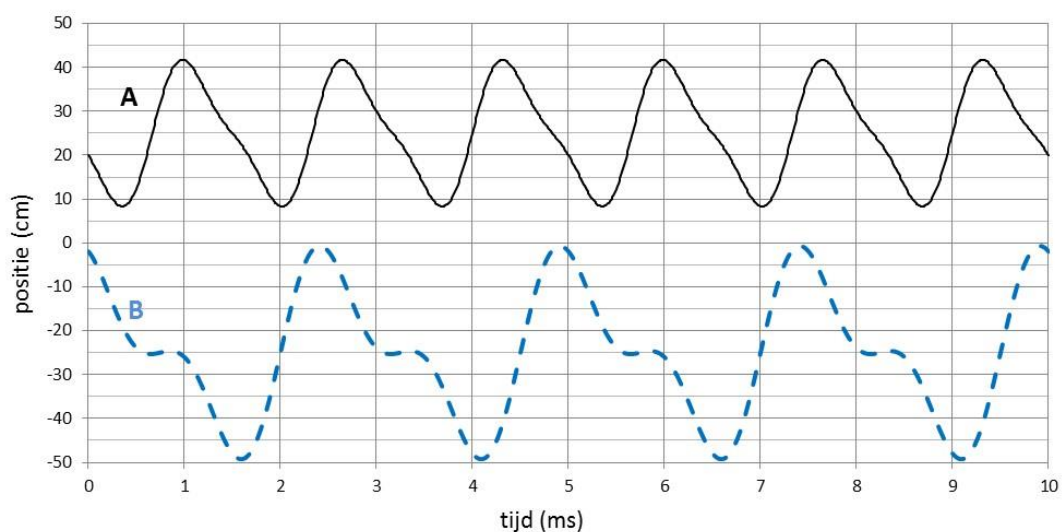
[Sampling / bemonsteren](#)



1 Trillingen

Van twee trillende voorwerpen staat hieronder de positie als functie van de tijd.

- Bepaal voor beide trillingen de periode.
- Bepaal voor beide trillingen de amplitude.



2 Frequentie

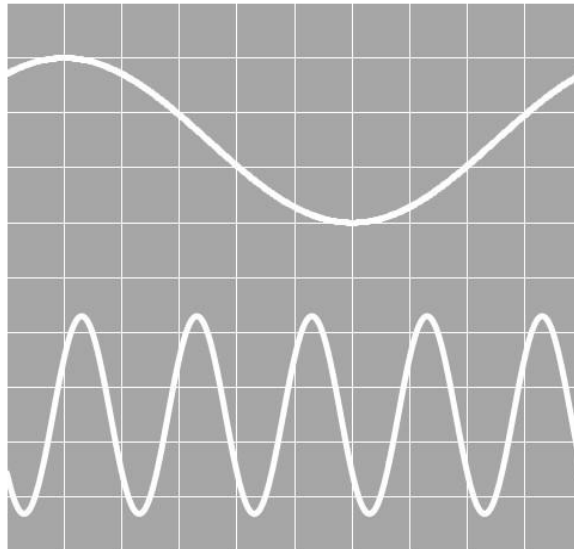
Bepaal in elk van onderstaande situaties de frequentie.

- Een trillende snaar maakt 2000 trillingen per seconde.
- Je hart maakt 90 slagen per minuut.
- Een slinger doet 7,3 s over 10 slingerbewegingen..

3 Oscilloscoop

Een sinusvormige elektrisch signaal met een frequentie van 200 Hz wordt gemeten met een oscilloscoop. Het signaal wordt zichtbaar als het bovenste signaal in de afbeelding hieronder.

- Op welke tijdbasis staat de oscilloscoop ingesteld?
- Een tweede elektrisch signaal wordt ook aangesloten op de oscilloscoop (onderste signaal). Wat is de frequentie van dit signaal?
- De gevoeligheid van de oscilloscoop staat ingesteld op 1,0 V/div. Bepaal de amplitude van beide signalen.



4 Fase

Bea en Eddy zitten naast elkaar ieder op hun eigen schommel. De schommelfrequentie is voor beiden gelijk aan 0,655 Hz. Bea en Eddy beginnen te schommelen vanuit dezelfde startpositie. Bepaal in elk van onderstaande situatie de grootte van het faseverschil en het gereduceerde faseverschil tussen Bea en Eddy.

- Bea start op precies hetzelfde moment als Eddy.
- Bea wacht tot Eddy precies één keer heen en weer is geweest en start dan precies op het moment dat Eddy weer op de beginpositie is.
- Bea start als Eddy aan de andere kant is.
- Bea start precies één minuut nadat Eddy gestart is.

5 Harmonische trilling

Stefan en Linde hebben uitgevonden dat de kracht en de uitwijking van een veer recht evenredig met elkaar zijn. Als ze een massa aan de veer hangen en deze een stukje naar beneden trekken gaat de massa een sinusvormige trilling uitvoeren. Stefan en Linde zijn het er over eens dit een harmonisch trilling is. Stefan zegt dat dit is omdat de uitwijking en de kracht evenredig met elkaar zijn, Linde zegt dat dit komt omdat de trilling sinusvormig is. Leg uit wie er volgens jou gelijk heeft.

6 Eenheid

Voor een massa-veersysteem geldt onderstaande formule voor de trillingstijd. Laat zien dat de eenheid aan beide kanten van de formule gelijk is.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{C}}$$

T = trillingstijd (s)

m = massa (kg)

C = veerconstante (Nm⁻¹)

7 Duikplank

Finn staat op een duikplank. De plank zakt 30 cm in als Finn aan het uiteinde staat. De massa van Finn is 54 kg.

- Bereken de veerconstante van de duikplank.
- Als Finn beweegt brengt hij zichzelf en de duikplank in trilling. Bereken de trillingstijd.
- Als Finn met meer kracht heen en weer beweegt blijkt zijn amplitude wel toe te nemen maar de trillingstijd hetzelfde te blijven. Leg uit hoe dit komt.

8 Scooter

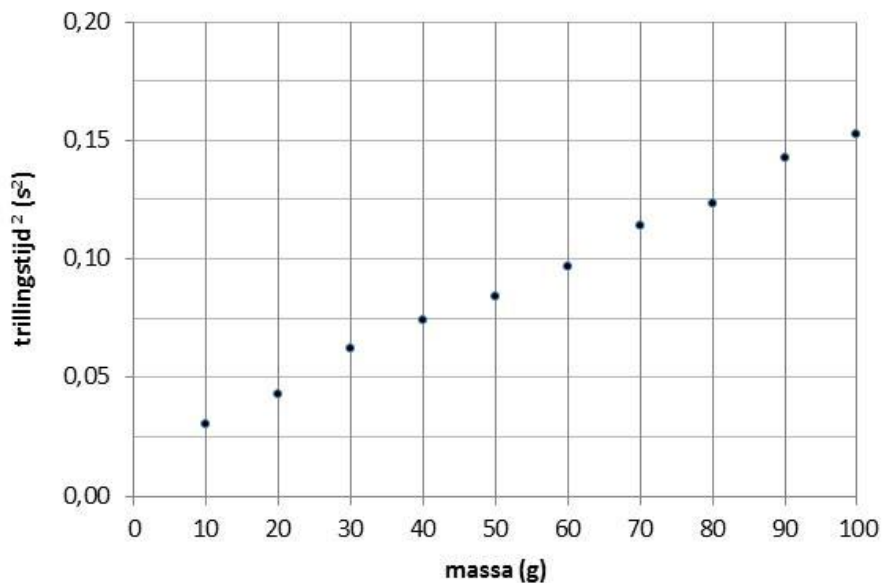
De scooter van Roos is bij beide wielen voorzien van vering. Als Roos op haar scooter gaat zitten veert zowel het voorwiel als het achterwiel 15 cm in. De massa de scooter is 129 kg en de massa van Roos 60 kg. Het zwaartepunt van de massa van de scooter en Roos bevindt zich precies tussen beide wielen in.

- Bereken de veerconstante van iedere van de veren.
- Wat is de totale veerconstante van de scooter?
- Naast vering is de ophanging ook voorzien van demping. Dit betekent dat een eventuele trilling van de vering gedempt wordt. Wat zou de frequentie zijn van de trilling die Roos op haar scooter zou ondervinden als deze niet voorzien zou zijn van demping?
- Beredeneer (geen berekening) of de frequentie groter of kleiner wordt als Roos iemand achterop zou nemen.

9 Veermassa

Loubna wil van een veer de veerconstante bepalen door de trillingstijd bij verschillende massa's te meten. Van haar resultaten maakt ze een grafiek met horizontaal de massa's die ze aan de veer heeft gehangen en verticaal het kwadraat van de trillingstijd. Aan de formule heeft ze namelijk gezien dat er géén recht evenredig verband is tussen de trillingstijd en de massa maar wél tussen het kwadraat van de trillingstijd en de massa.

- Toon dit aan de hand van de formule aan.
- Bepaal de veerconstante met behulp van de richtingscoëfficiënt van een lijn door de meetpunten. Let op: de lijn gaat niet door (0,0).
- Loubna vermoedt dat het door de massa van de veer zelf komt dat de lijn niet door (0,0) gaat. Welke massa zou bij de massa's opgeteld moeten worden om de afwijking te kunnen verklaren?
- Als Loubna de veer weegt vindt ze een massa van 42 g. Leg uit waarom dit een stuk hoger is dan het antwoord op vraag c.



10 Gelijk lopen

Aan een veer met een veerconstante van $31,6 \text{ Nm}^{-1}$ hangt een massa m_A van 200 g.

Daarnaast hangt een veer met een veerconstante van $17,5 \text{ Nm}^{-1}$ met daaraan een massa m_B van 250 g. Beide massa's worden 5,0 cm naar beneden getrokken en op $t = 0 \text{ s}$ tegelijkertijd losgelaten.

- Bereken voor beide massa's de trillingstijd.
- Stel voor beide veren de formule op die de uitwijking als functie van de tijd geeft.
- Bereken de uitwijking van m_B op het moment dat m_A één hele trilling heeft gemaakt.
- Na hoeveel tijd lopen de massa's weer 'gelijk'?

11 Resonantie

Een vrachtauto met een massa van 8600 kg, inclusief lading, rijdt op een bouwterrein op een weg bestaande uit betonnen platen. De platen zijn 2,0 m lang en breed maar liggen niet helemaal vlak. Elke keer als de vrachtauto over een overgang tussen twee platen rijdt krijgt de vrachtauto een zetje naar boven. Door deze zetjes gaat de lading schudden. Het blijkt dat dit effect maximaal als de vrachtauto rijdt met een snelheid van 9,0 km/h. De afstand tussen de wielen van de vrachtauto is 4,0 m.

- Leg uit hoe het komt dat het effect het grootst is bij één bepaalde snelheid.
- Bereken de veerconstante van de vering in de vrachtauto.
- Als de afstand tussen de wielen 5,0 m geweest zou zijn zou het effect bij een andere snelheid optreden. Bereken bij welke snelheid.

12 Snelheid

Voor de maximale snelheid die tijdens een harmonische trilling bereikt wordt geldt onderstaande formule. Een massa aan een veer voert een trilling uit die in onderstaande grafiek staat weergegeven.

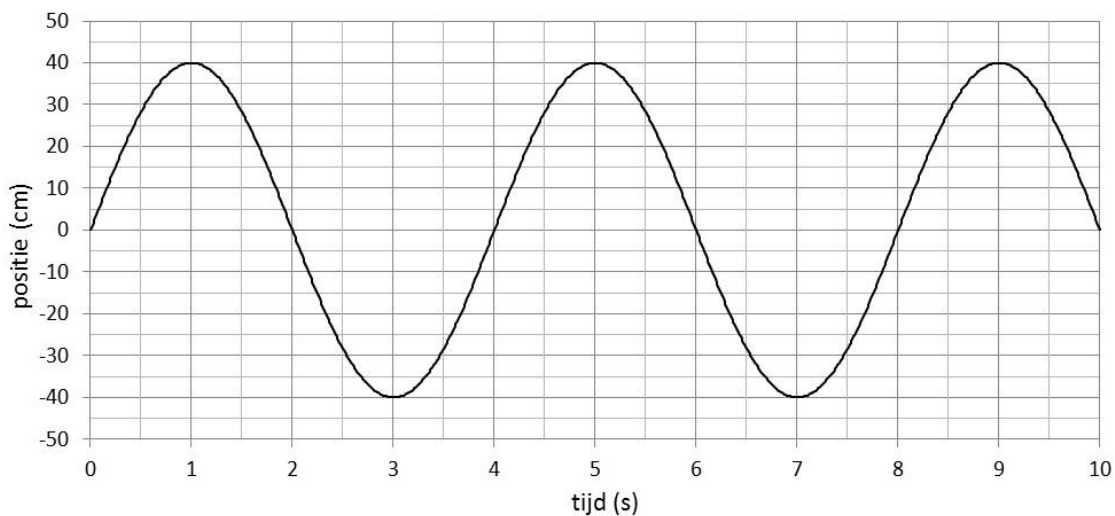
- Op welke tijdstippen is de snelheid maximaal?
- Bereken de grootte van de maximale snelheid met behulp van de formule.
- Laat zien dat de snelheid die volgt uit het tekenen van een raaklijn correspondeert met het antwoord op vraag b.

$$v_{max} = \frac{2\pi A}{T}$$

v_{max} = maximale snelheid (ms^{-1})

A = amplitude (m)

T = trillingstijd (s)



13 Slingerenergie

Thomas en Lola doen een proef met een slinger bestaande uit een massa van 125 g aan een lang koord. Ze trekken de slinger 5,0 cm opzij en meten hoe lang de slinger er over doet om 10 keer heen en weer te slingeren. Ze vinden een tijd van 22,1 s.

- Bereken de trillingstijd van de slinger.
- Met behulp videometen meten ze dat de snelheid van de slinger in de evenwichtsstand 1,4 cm/s bedraagt. Bereken de kinetische energie van de slinger in de evenwichtsstand.
- Thomas en Lola zijn het niet eens over de trillingsenergie van de slinger. Thomas denkt dat de trillingsenergie gelijk is aan de eerder gevonden kinetische energie. Lola denkt dat ook de zwaarte-energie moet worden meegerekend. De slinger is namelijk hoger boven de grond naarmate deze verder van de evenwichtsstand komt. Leg uit wie er gelijk heeft.

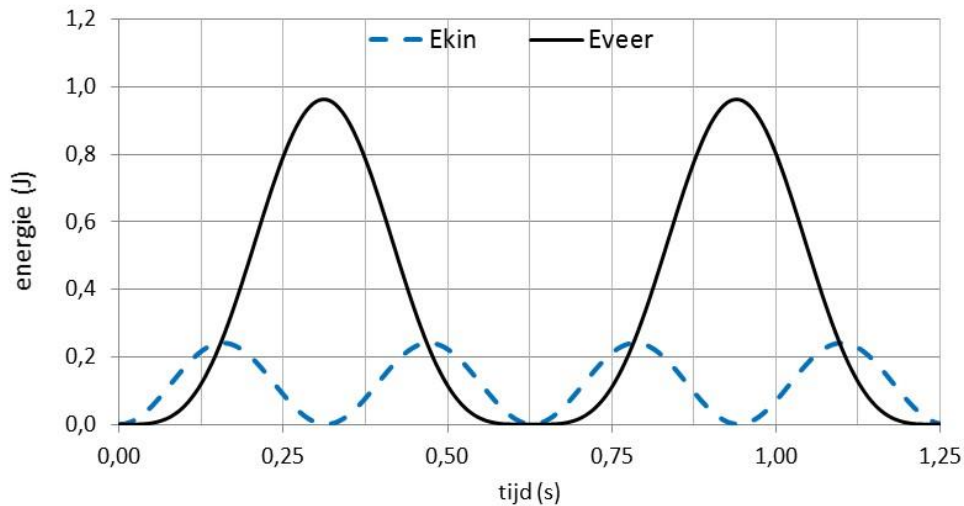
14 Trillingsmodel

Erwin wil met een rekenmodel uitzoeken wat er gebeurt als een massa aan een veer wordt gehangen. Hij heeft het vermoeden dat de situatie anders is dan in een ideaal massa-veer systeem omdat er behalve de veerkracht van de veer nóg een kracht in het spel is.

- Welke kracht werkt er nog meer op de massa?
- Het model van Erwin staat hieronder. Erwin vindt een trillingstijd van 0,628 s. Laat met een berekening zien dat dit klopt met de te verwachten trillingstijd voor een massa-veer systeem.
- Erwin wil ook de energie uitrekenen. Hij voegt hiervoor 2 modelregels in om de veerenergie, kinetische energie uit te rekenen. Welke regels moet Erwin hiervoor toevoegen?
- Als Erwin de grafieken van de energie die uit zijn model komen beter bestudeert ziet hij dat de veerenergie niet sinusvormig is (zie grafiek hieronder). Hij trekt hieruit de conclusie dat het dus geen harmonische trilling is. Ben jij het met Erwin eens?

1	$F_{\text{veer}} := -C \cdot u$	Bereken de veerkracht	Startwaarden C = 50 N/m m = 0,50 kg g = 9,81 m/s ² u = 0 m v = 0 m/s t = 0 s dt = 0,005 s
1	$F_{\text{res}} := F_{\text{veer}} + (m \cdot g)$	Bereken de resulterende kracht	
2	$a := F_{\text{res}} / m$	Bereken de versnelling	
3	$v := v + a \cdot dt$	Bereken de snelheid	
5	$u := u + v \cdot dt$	Bereken de uitrekking	
6	$t := t + dt$	Hoog tijd op en begin opnieuw	

Een werkende versie van alle rekenmodellen in Foton is te vinden op natuurkundeuitgelegd.nl/modellen



15 Golflengte

Bereken in elk van onderstaande situaties de golflengte.

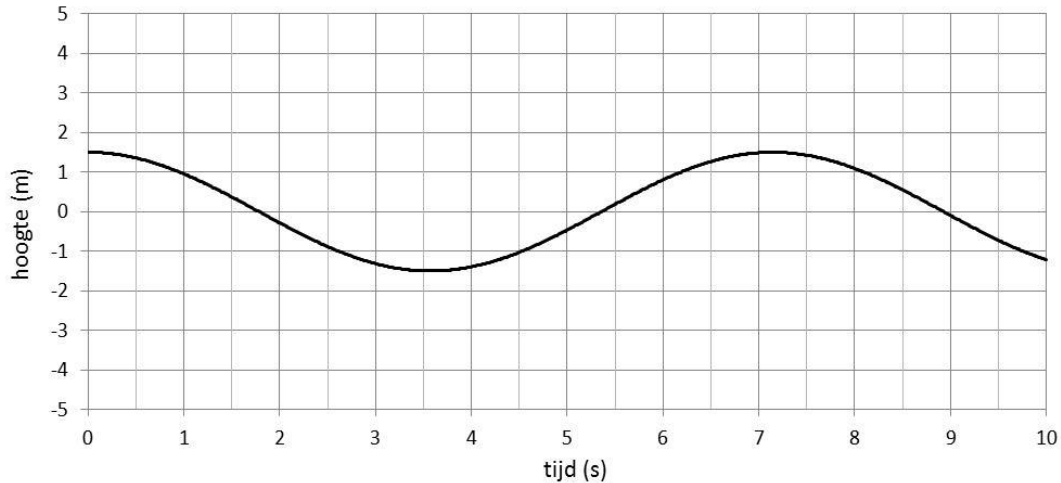
- Door met je hand het uiteinde van een koord op en neer te bewegen met $3,5 \text{ Hz}$ ontstaan in het koord golven die zich met $2,8 \text{ ms}^{-1}$ verplaatsen.
- Een kunstmatig opgewekt golf met een periode van $5,0 \text{ s}$ beweegt zich met $1,5 \text{ ms}^{-1}$ in een golflslagbad.
- Een geluidsgolf van 1000 Hz beweegt zich door lucht met een temperatuur van $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

16 Golf op zee

Twee schepen drijven op zee op een afstand van 54 m van elkaar. Beide schepen deinen op en neer door een langskomende golf. In de afbeelding hieronder staat de situatie op $t = 0 \text{ s}$ en daaronder een grafiek van hoogte van schip A.

- Bepaal de golflengte van de golf.
- Bereken de snelheid van de golf. Bepaal hiervoor eerst de frequentie waarmee schip A op en neer deint.
- Schets in het diagram hieronder de grafiek van de beweging van schip B vanaf $t = 0 \text{ s}$.
- Schip A vaart nu met een snelheid van $5,0 \text{ ms}^{-1}$ naar schip B toe. Bereken de frequentie waarmee schip A op en neer deint tijdens het varen. Je mag er hierbij vanuit gaan dat het schip met constante snelheid vaart.





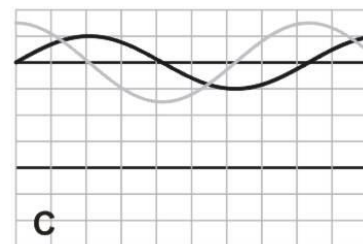
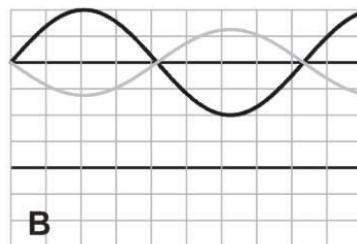
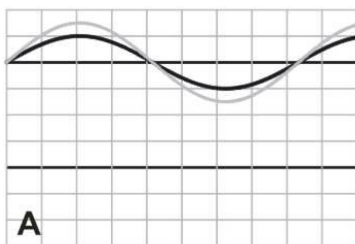
17 Longitidinaal/Transversaal

Pim en Bram doen een proef met geluidsgolven die zich door de vloer voortplanten. Ze laten op $t = 0$ s een kogel op de grond vallen en meten met een op de grond geplakte contactmicrofoon op een afstand van 3,0 m hoe lang de golf erover doet. Ze vinden hierbij 3 pulsen: Op 0,70 ms, 0,81 ms en op 8,7 ms. Ze denken dat de laatste puls komt door geluid dat zich door de lucht heeft voortgeplant en niet door de vloer.

- Toon met een berekening aan dat ze hierin gelijk hebben.
- Over de andere twee pulsen zijn ze het niet eens. Bram denkt dat er twee mogelijke voortplantingsmanieren zijn voor geluid in een vaste stof met ieder een eigen snelheid: transversaal en longitidinaal. Pim denkt geluid zich alleen longitidinaal kan voortplanten en denkt dat de tweede puls komt door reflectie van de puls tegen de wanden. Ze herhalen de proef met nu een afstand van 2,0 m en vinden nu 0,47 ms, 0,54 ms en 5,8 ms. Wie heeft er gelijk?

18 Superpositie

Twee golven met dezelfde golflengte maar met verschillende amplitude en fase interfereren met elkaar. Schets in elk van onderstaande situaties de vorm van de superpositie van de twee golven.



19 Resulterende amplitude

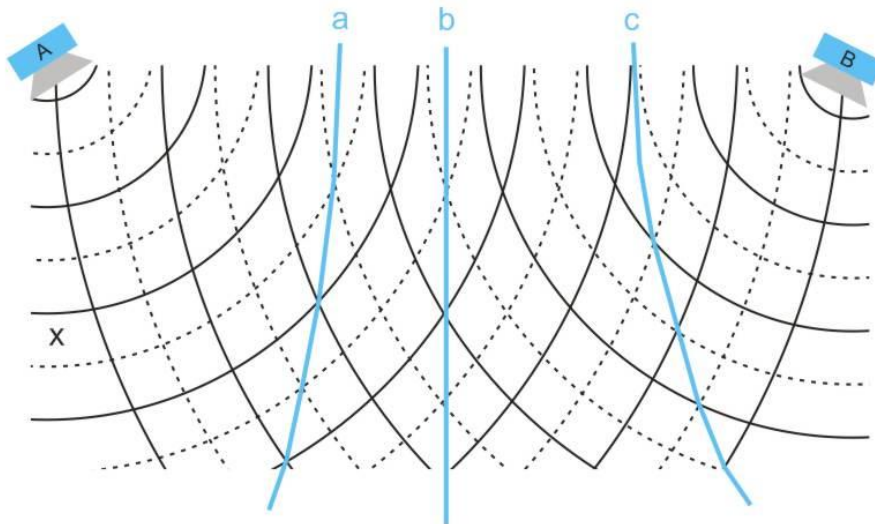
Bepaal in elk van onderstaande situaties de resulterende amplitude. De golflengte en frequentie zijn steeds gelijk.

- Twee golven in fase met amplitudes van $2,1 \cdot 10^{-3}$ m en $1,5 \cdot 10^{-3}$ m.
- Twee wisselspanningen met een amplitudes van 3,0 V en 3,1 V met $\Delta\phi = 2,5$.
- Twee geluidsgolven in fase met amplitudes van 0,71 Pa en 0,44 Pa en een derde golf in tegenfase met een amplitude van 1,15 Pa.
- Leg uit waarom het bij deze vraag van belang is dat de golflengte en frequentie voor elk van de golven gelijk is?

20 Interferentie

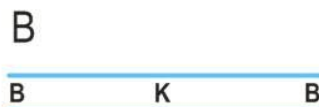
Twee luidsprekers op een onderlinge afstand van 2,6 m brengen in fase een sinusvormige toon van 1000 Hz voort. Als gevolg hiervan ontstaat in de ruimte vóór de luidsprekers een patroon van knoop- en buiklijnen. Zie afbeelding hieronder.

- Bereken de golflengte van het geluid. Ga uit van een temperatuur van 20 °C.
- In de afbeeldingen zijn drie lijnen a, b en c, getekend. Een hiervan is een knooplijn. Leg uit welke van de drie de knooplijn voorstelt.
- Tussen de lijnen a en b bevinden zich nog meer knooplijnen. Teken in de afbeeldingen deze knooplijnen.
- Op een afstand van 86 cm van luidspreker A bevindt zich punt x (zie figuur). Ga door een berekening na of x zich op een knooplijn, op een buiklijn of op geen van beiden bevindt.



21 Staande golven

Hieronder staan steeds een aantal staande golven schematisch weergegeven. Bepaal voor elk van de staande golven welk getal n er bij hoort.



22 Reageerbuis

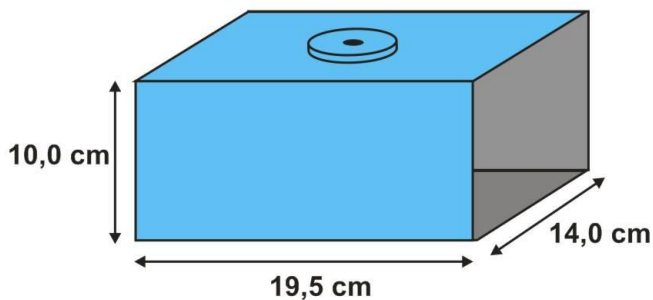
Harm heeft ontdekt dat als je een lege reageerbuis rechtop tegen je lippen houdt en over de opening heen blaast je een toon hoort. Als hij de frequentie meet vindt hij een toon van 480 Hz bij een reageerbuis met een lengte van 18 cm.

- Toon aan dat de reageerbuis zich gedraagt als een buis met één open uiteinde.
- Door de buis met water te vullen verandert de toonhoogte. Bereken of de toon hoger of lager wordt naarmate er meer water in de buis zit.
- Harm heeft berekend dat hij de buis moet vullen met 9,4 cm water om een toon te krijgen van 1000 Hz. Laat zien dat de berekening van Harm klopt.
- Als Harm de frequentie van de toon meet komt hij uit op een lagere frequentie. Noem twee mogelijke oorzaken.

23 Klankkast

In een klankkast kunnen meerdere staande golven ontstaan. De frequenties die horen bij deze staande golven worden eigenfrequenties genoemd. Wanneer een trillingsbron met dezelfde frequentie als één van de eigenfrequenties in contact komt met de klankkast gaat de klankkast door resonantie mee trillen. Het geluid van de trillingsbron wordt zo versterkt weergegeven. De klankkast hieronder is aan één zijde open. In de bovenkant past een stemvork. Je hoeft bij deze opgave geen rekening te houden met de dikte van de wanden.

- Laat met een berekening zien dat de eigenfrequentie horende bij de staande golf met een buik aan het open uiteinde gelijk is aan 440 Hz.
- In de tabel hieronder staan alle eigenfrequenties onder de 3 kHz voor deze klankkast. Ga voor elk van de resonantiefrequentie na hoe ze kunnen ontstaan.



Resonantiefrequenties:

- 440 Hz
- 1225 Hz
- 1320 Hz
- 1715 Hz
- 2450 Hz

24 Gitaar

De gitaar van Sebastiaan heeft zes snaren met ieder een vrije lengte van 62,5 cm. De hoogste snaar is gemaakt van nylon en heeft een dikte van 0,60 mm. Wanneer Sebastiaan de snaar los aanslaat ontstaat een staande golf met een golflengte van 1,25 m en klinkt een e1 met een frequentie van 329,6 Hz.

- Bereken of dit de grondtoon is of een boventoon.
- Bereken de golfsnelheid in de snaar.

- c De golfsnelheid in een gespannen snaar hangt af van de spankracht, de massa en de lengte van de snaar volgens onderstaande formule. Bereken de spankracht in de snaar.
- d Sebastiaan wil nu op dezelfde snaar een a1 spelen met een frequentie van 440 Hz. Hij doet dit door de snaar in te korten door hem met zijn vinger vlak achter een van de dwarsbalkjes, of fretten, te duwen. Leg aan de hand van de formule uit dat de golfsnelheid hierbij niet verandert ondanks dat de lengte van de snaar korter wordt.
- e Geef in de afbeelding hieronder aan achter welke fret Sebastiaan zijn vinger moet zetten.



$$v_{\text{golf}} = \sqrt{\frac{F_s \cdot l}{m}}$$

v_{golf} = golfsnelheid (ms^{-1})

F_s = spankracht (N)

m = massa snaar (kg)

l = lengte snaar (m)

25 Saxofoon

Een tenorsaxofoon bestaat uit een lange buis die vanaf het mondstuk tot aan het uiteinde steeds wijder wordt. In de afbeelding hieronder staat de saxofoon 'uitgerold' weergegeven, Door middel van het sluiten van kleppen die in de buis zijn aangebracht kan de toon gekozen worden. De grondtoon van de laagste toon die gespeeld kan worden heeft een frequentie van 103,8 Hz.

- a Een van de boventonen die met de laagste toon meeklinken heeft een frequentie van 415,3 Hz. Toon met een berekening aan dat een saxofoon zich gedraagt als een buis met twee open uiteinden.
- b Maureen heeft opgemeten dat een tenorsaxofoon uitgerold een buislengte van 1,32 m zou hebben. Ze heeft uitgerekend dat de frequentie van de toon die bij een buis van deze lengte hoort 129,9 Hz is en geen 103,8 Hz. Laat zien dat de berekening van Maureen klopt. Ga hierbij uit van een luchttemperatuur van 20 °C.
- c Maureen vermoedt dat de verkeerde lengte is gebruikt bij de berekening. Op internet heeft ze gevonden dat niet de lengte maar de 'akoestische lengte' gebruikt moet worden. Dit is de lengte van een denkbeeldige buis die verlengd wordt tot waar de buis in een punt eindigt. Bereken de akoestische lengte van de saxofoon die klopt met de frequentie.

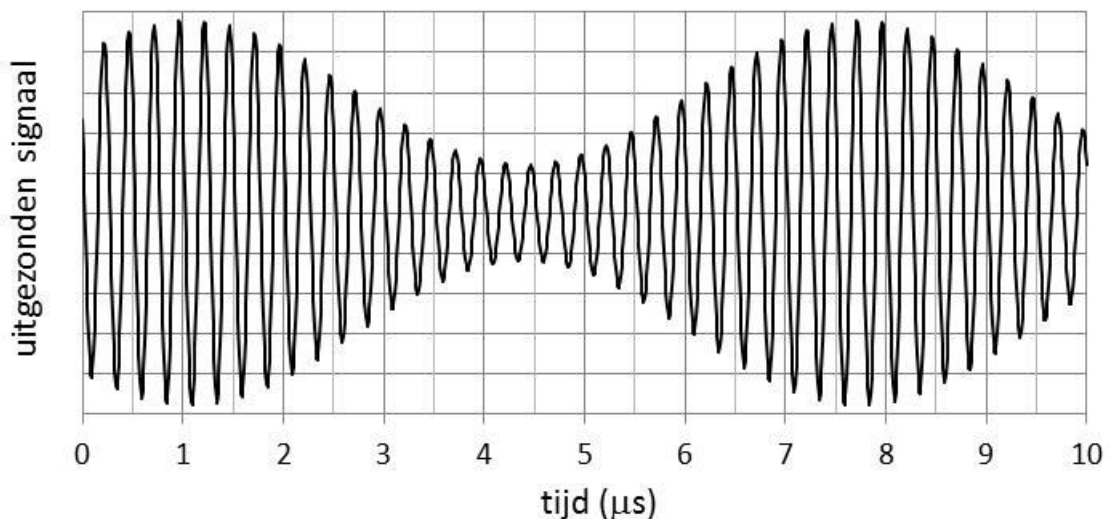
- d Aan het smalle uiteinde heeft de buis een diameter van 12,5 mm. Bij het bespelen zit op deze plaats een mondstuk met daarop gemonteerd een riet. Om goed gestemd te zijn moet het interne volume van de hele buis gelijk zijn aan het volume van een kegel met een lengte gelijk aan de akoestische lengte van de buis. Bereken het interne volume van het mondstuk.



26 Modulatie

Door een radiozender wordt het onderstaande signaal uitgezonden.

- Leg uit of dit een AM of FM signaal is.
- Bepaal de frequentie van de draaggolf.
- Bepaal de frequentie van het signaal waarmee de draaggolf is gemoduleerd.
- Hoe groot is het frequentiegebied dat door het signaal in beslag wordt genomen?



27 FM

De meeste muziekzenders in Nederland zenden uit op de FM.

- Leg uit wat FM betekent.
- Radiozenders op de FM zenden uit op frequenties tussen 87,3 MHz en 108,0 MHz. In een regio is dit frequentiegebied is onderverdeeld in 69 kanalen. Bereken de bandbreedte die

voor elk kanaal is gereserveerd.

- c Om muziek van voldoende kwaliteit uit te zenden moeten signaalfrequenties tot 15 kHz goed doorgegeven kunnen worden. Waarom is de gereserveerde bandbreedte op de FM groter dan 15 kHz?

28 Sampling

Bereken in elk van onderstaande situaties de stapgrootte bij het digitaliseren.

- a Spanningen tussen 0,0 V en 5,0 V worden omgezet naar een 16-bits signaal.
- b Spanningen tussen -5,0 V en 5,0 V worden omgezet naar een 8-bits signaal.
- c Spanningen tussen 0,0 V en 1,0 V worden omgezet naar een 32-bits signaal.

29 Datatransfer

Bereken in elk van onderstaande situaties de datatransfer rate.

- a Een 8-bits signaal wordt doorgegeven met een frequentie van 10 kHz.
- b Muziek van CD-kwaliteit (44,1 kHz 16-bit stereo) wordt live doorgegeven.
- c Een beveiligingscamera neemt zwart-wit beelden op van 300 bij 200 pixels met 8-bits per pixel en 20 beeldjes per seconde.

30 CD

De bemonsteringsfrequentie van muziek op CD-kwaliteit is 44,1 kHz bij een resolutie van 16 bits. Een muzieknummer is 2 minuut en 13 seconden lang. Hilde heeft berekend dat het muziekstuk 11,7 MB in beslag neemt. Als Hilde kijkt hoeveel groot het nummer is op haar computer is blijkt dit twee keer zo groot te zijn. Hilde bedenkt dat dit komt omdat het stereo is en er dus twee aparte kanalen zijn voor links en voor rechts.

- a Ga na of de berekening van Hilde klopt. MB staat voor megabyte en een byte is 8 bits.
- b Hilde wil het nummer naar haar vriendin sturen. Ze heeft een internetverbinding met een uploadsnelheid van 12,4 Mbps (megabits per seconde). Bereken hoe lang het voor Hilde duurt om het geluidsbestand weg te sturen.
- c Als haar vriendin later het muziekbestand downloadt gaat dit een stuk sneller: In 3,1 s staat het bestand op haar computer. Bereken de downloadsnelheid in Mbps.
- d Door het geluidsbestand om te zetten naar een MP3 wordt het gecomprimeerd tot ongeveer 10% van de oorspronkelijke grootte. Wat zijn de voor en nadelen van het omzetten naar MP3?

ANTWOORDEN VAN DE REKENOPGAVEN

Uitwerkingen en uitleg van alle opgaven zijn te vinden op natuurkundeuitgelegd.nl/uitwerkingen

1 Trillingen

- a 1,7 en 2,5 ms
- b 17 en 24 cm

2 Frequentie

- a 2000 Hz
- b 1,5 Hz
- c 1,4 Hz

3 Oscilloscoop

- a 0,50 ms/div
- b 1,0 kHz
- c 1,5 V en 1,8 V

4 Fase

- a $\varphi=0$ $\varphi_r=0$
- b $\varphi=1$ $\varphi_r=0$
- c $\varphi=0,5$ $\varphi_r=0,5$
- d $\varphi=39,3$ $\varphi_r=0,3$

7 Duikplank

- a $1,8 \cdot 10^3 \text{ Nm}^{-1}$
- b 1,1 s

8 Scooter

- a $2,0 \cdot 10^3 \text{ Nm}^{-1}$
- b $3,9 \cdot 10^3 \text{ Nm}^{-1}$
- c 0,72 Hz

9 Veermassa

- b 30 Nm^{-1}
- c 14 g

10 Gelijk lopen

- b 0,50 en 0,75 s
- c 2,5 cm
- d 1,5 s

11 Resonantie

- b $5,3 \cdot 10^5 \text{ Nm}^{-1}$
- c 4,5 km/h

12 Snelheid

- a 0, 2, 4, 6 en 8 s
- b $0,63 \text{ ms}^{-1}$

13 Slingerenergie

- a 2,21 s
- b $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ J}$

15 Golfengte

- a 80 cm
- b 7,5 m
- c 34,3 cm

16 Golf op zee

- a 31 m
- b $4,3 \text{ ms}^{-1}$
- d 0,31 Hz

19 Resulterende A.

- a $3,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
- b 0,1 V
- c 0 Pa

20 Interferentie

- a 34,3 cm

21 Staande golven

- a 3
- b 1
- c 2

24 Gitaar

- b 412 ms^{-1}
- c 54,7 N
- d 5^e fret vanaf kop

25 Saxofoon

- c 1,65 m
- d 13 cm^3

26 Modulatie

- b 4,0 MHz
- c 0,15 MHz
- d 3,85 – 4,15 MHz

27 FM

- b 300 kHz

28 Sampling

- a $7,6 \cdot 10^{-5} \text{ V}$
- b $3,9 \cdot 10^{-2} \text{ V}$
- c $2,3 \cdot 10^{-10} \text{ V}$

29 Datatranser

- a 80 kbps
- b 1,4 Mbps
- c 9,6 Mbps

30 CD

- b 15,1 s

c 61 Mbps

