

TRILLINGEN & GOLVEN – HAVO

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](#)

[Longitudinaal/transversaal](#)

[Modulatie](#)

[Oscilloscoop](#)

[Snaren & staande golven](#)

[Amplitudemodulatie \(AM\)](#)

[Harmonische trilling](#)

[Gesloten buis](#)

[Frequentiemodulatie \(FM\)](#)

[Resonantie & eigentrilling](#)

[Open buis](#)

[Bandbreedte](#)

[Golven](#)

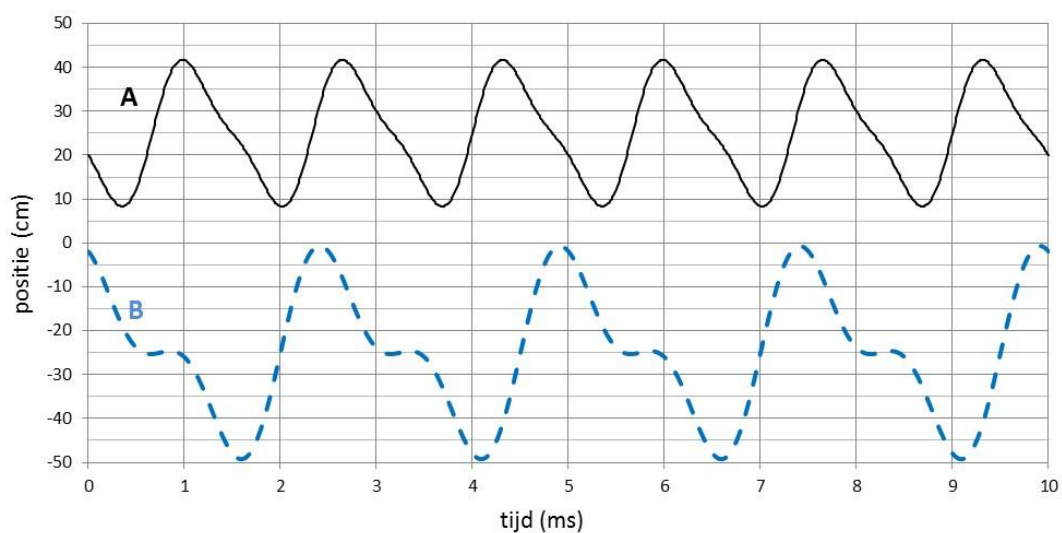
[Zenden & ontvangen](#)



1 Trillingen

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

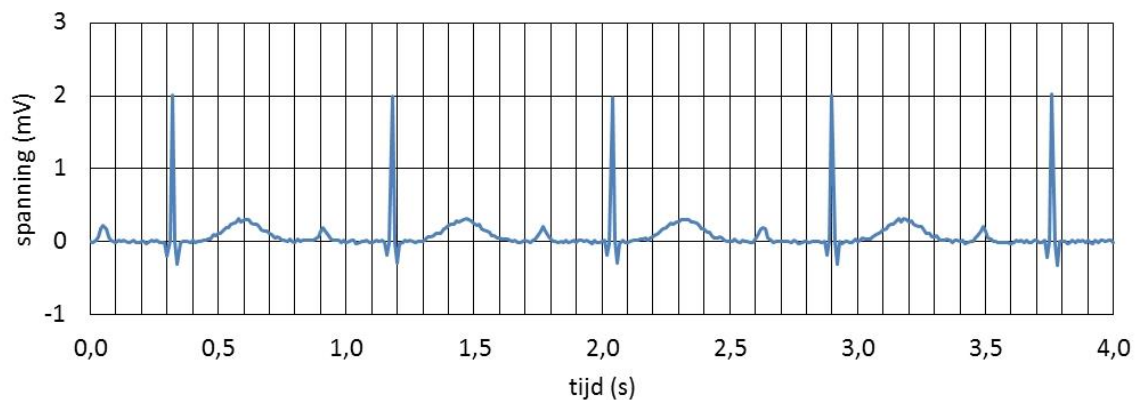
- Bepaal voor beide trillingen de periode.
- Bepaal voor beide trillingen de amplitude.



2 Elektrocardiogram

Een elektrocardiogram (ECG) of 'hartfilmpje' is een meting van de spanning die door de hartspier worden opgewekt tijdens het pompen (zie afbeelding hieronder).

- Leg uit dat een ECG opgevat kan worden als de weergave van een trilling.
- Bepaal uit het ECG hieronder de periode van de trilling.
- Bereken de frequentie van de trilling.
- Artsen werken in plaats van met de eenheid Hertz (Hz) met de het aantal 'beats per minute' (BPM). Reken de frequentie uit de vorige vraag om naar BPM.
- De uitslag van een ECG wordt altijd gedefinieerd ten opzichte van 0 V. De evenwichtsstand van een ECG ligt dus niet tussen de maximale en de minimale spanning in en de vorm van de trilling is niet symmetrisch. Bepaal de amplitude van het ECG aan beide zijden van de evenwichtsstand.



3 Frequentie

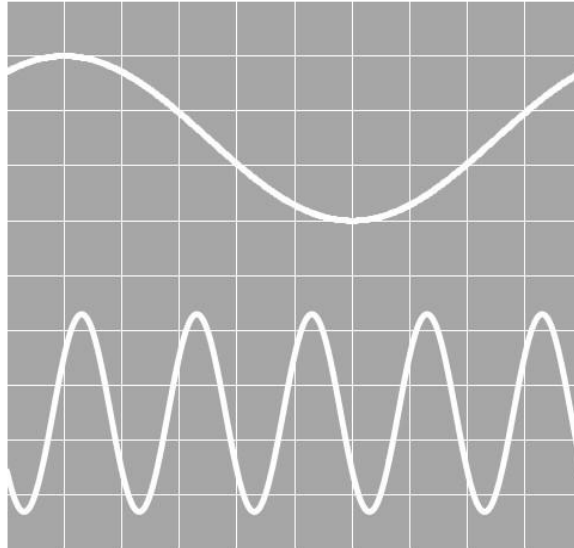
Bepaal in elk van onderstaande situaties de frequentie.

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

4 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.



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

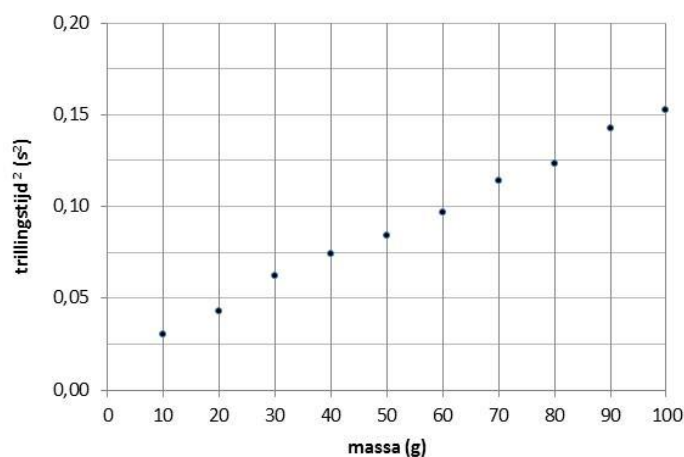
De scooter van Roos is bij beide wielen voorzien van vering. Als Roos op haar scooter gaat zitten veert zowel het voorwiel als het achterwiel 15 cm in. De massa de scooter is 129 kg en de massa van Roos 60 kg. Het zwaartepunt van de massa van de scooter en Roos bevindt zich precies tussen beide wielen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

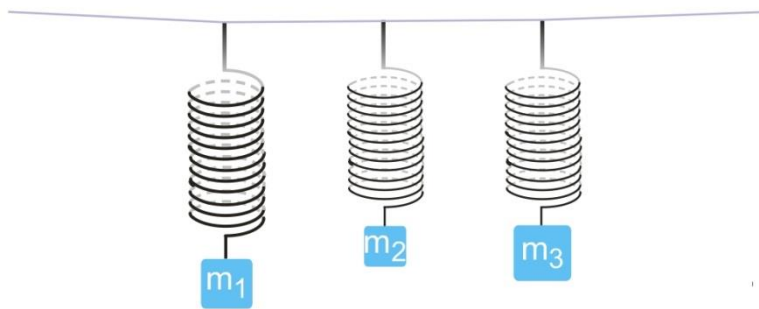
- Toon dit aan de hand door de formule voor de trillingstijd van een massa-veersysteem beide kanten te kwadrateren.
- Bepaal de veerconstante met behulp van de richtingscoëfficiënt van een lijn door de meetpunten. Let op: de lijn gaat niet door (0,0).
- Loubna vermoedt dat het door de massa van de veer 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 Strak koord

Drie veren met daaraan drie massa's hangen aan een strak gespannen koord (zie afbeelding hieronder). De linker veer heeft een veerconstante van 20 N/m. De twee andere veren hebben een veerconstante van 10 N/m en zijn dus een stuk minder stug. Aan de linker veer hangt een massa van 150 g. Deze massa (m_1) wordt naar beneden getrokken en losgelaten.

- Bereken de frequentie waarmee m_1 op en neer trilt.
- Door het koord wordt, beetje bij beetje, de trilling doorgegeven aan de andere veren. Ze krijgen hierdoor telkens een klein zetje. Als de frequentie van een andere massa-veersysteem dat aan het koord hangt gelijk is aan de frequentie waarmee m_1 trilt zal ook dit massa-veersysteem gaan trillen. Hoe heet dit verschijnsel?
- Massa m_2 blijkt na verloop van tijd ook te gaan trillen. Bereken de massa van m_2 .
- Massa m_3 is drie keer zo zwaar als m_1 . Beredeneer dat m_3 niet zal meetrillen maar stil zal blijven hangen.
- Wat zou de veerconstante van de rechterveer moeten zijn om m_3 wél te laten trillen?



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

Een massa voert een trilling uit die in onderstaande grafiek staat weergegeven.

- Hoe zie je aan de grafiek dat dit een harmonische trilling is?
- Op welke tijdstippen is de snelheid maximaal?

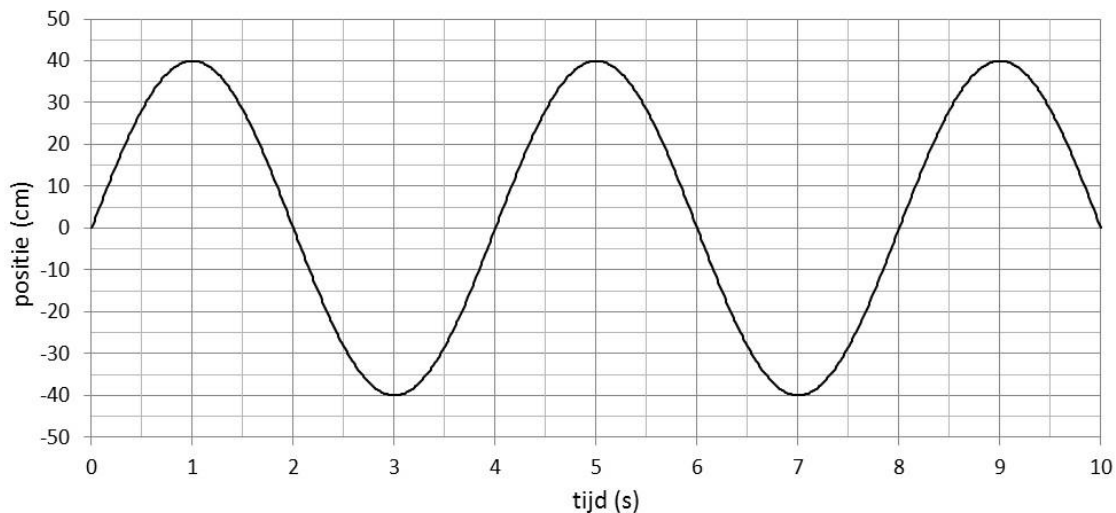
- c Bepaal m.b.v. een raaklijn de maximale snelheid.
- d Voor maximale snelheid van een harmonische geldt onderstaande formule. Bereken met deze formule de maximale snelheid en laat zien dat je antwoord correspondeert met het antwoord op vraag c.

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

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

A = amplitude (m)

T = trillingstijd (s)



13 Golflengte

Bereken in elk van onderstaande situaties de golflengte.

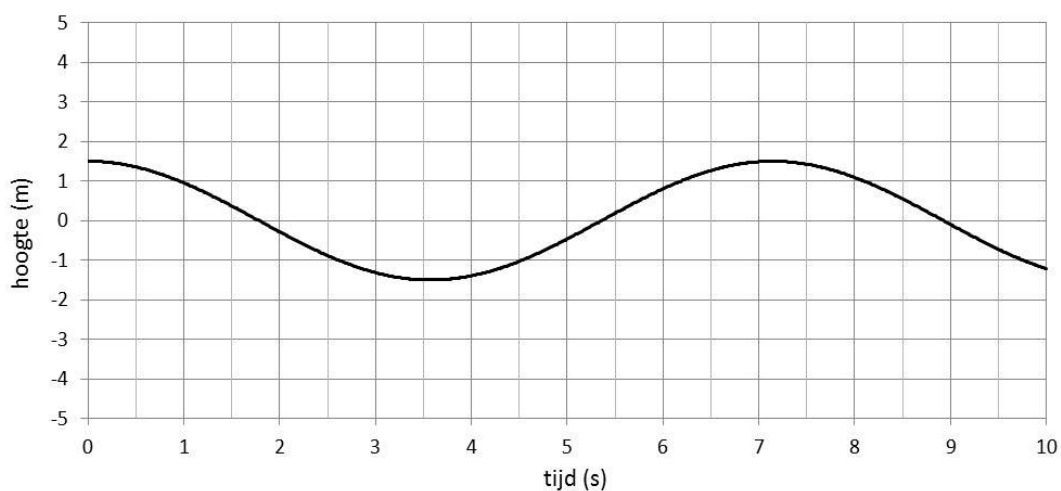
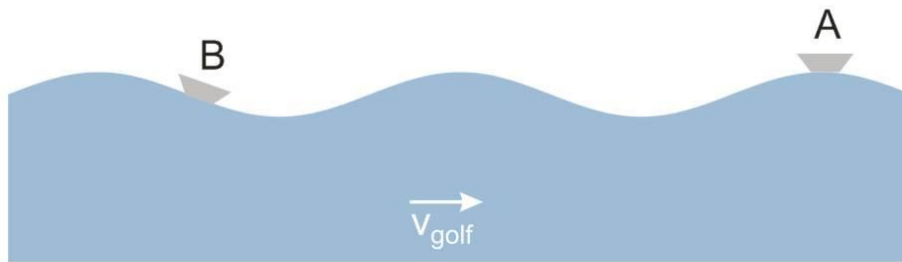
- a Door met je hand het uiteinde van een koord op en neer te bewegen met 3,5 Hz ontstaan in het koord golven die zich met $2,8 \text{ ms}^{-1}$ verplaatsen.
- b Een kunstmatig opgewekt golf met een periode van 5,0 s beweegt zich met $1,5 \text{ ms}^{-1}$ in een golfslagbad.
- a Een geluidsgolf van 1000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

14 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.

- a Bepaal door opmeten in de afbeelding de golflengte van de golf.
- b Bereken de snelheid van de golf. Bepaal hiervoor eerst de frequentie waarmee schip A op en neer deint.
- c Schets in het diagram hieronder de grafiek van de beweging van schip B vanaf $t = 0 \text{ s}$.
- d 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.



15 Longitudinaal/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 longitudinaal. Pim denkt geluid zich alleen longitudinaal 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?

16 Geluidsgolven

Bereken de golflengte voor elk van onderstaande golven. Ga er hierbij vanuit dat de

temperatuur gelijk is aan kamertemperatuur (20 °C).

- a Een geluidsgolf met een frequentie van 500 Hz.
- b De laagste toon die een gezond jong persoon kan horen (20 Hz).
- c De hoogste toon die een gezond jong persoon kan horen (20 kHz).
- d Beredeneer aan de hand van BINAS tabel 15 of de golflengtes uit de vorige vragen langer of korter zouden zijn als het warmer zou zijn.

17 Onweersafstand

Gebruik bij deze opgave BINAS tabel 15A

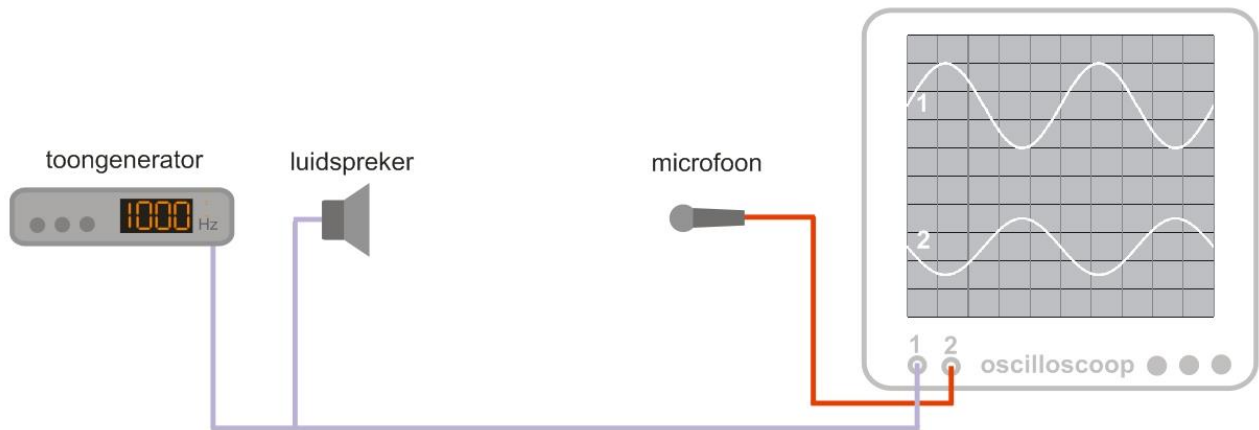
Guus probeert uit de vertraging tussen het zien van een bliksemflits en het horen van de donder te bepalen hoe ver een onweersbui is. Meteen na het zien van een bliksemflits begint hij te tellen. Na ongeveer 9 s hoort hij de donder. Guus heeft gehoord dat hij dit getal door drie moet delen om te weten hoeveel kilometer de onweersbui weg is. Guus denkt dus dat de onweersbui 3 km van hem verwijderd is.

- a Laat met een berekening zien dat de methode van Guus een goede schatting is.
- b Waar Guus geen rekening mee houdt is dat licht ook tijd nodig heeft om hem te bereiken. Toon aan dat dit effect verwaarloosbaar is. Zoek hiervoor eerst de lichtsnelheid op in BINAS tabel 7.
- c Wat wél een rol kan spelen is de luchttemperatuur. Laat met een berekening zien hoe groot het effect van een extreem hoge of lage temperatuur kan zijn..

18 Meting geluidssnelheid

Mark en Celeste willen met een proef de geluidssnelheid bepalen. Met een toongenerator maken ze een sinusvormige wisselspanning met een frequentie van 1000 Hz en sluiten deze aan op een luidspreker. Een microfoon op een afstand van 17 cm van de luidspreker meet het geluid. Zowel de uitgang van de toongenerator als de microfoon staan aangesloten op de oscilloscoop. Zie figuur hieronder: Het bovenste signaal in het oscilloscoopscherm komt direct van de toongenerator het onderste signaal van de microfoon.

- a Ga na dat de tijdbasis van de oscilloscoop ingesteld staat op 0,20 ms per hokje.
- b Het signaal van de microfoon is vertraagd ten opzichte van het signaal wat rechtstreeks van de toongenerator komt. Mark en Celeste bepalen uit het oscillogram dat de vertraging 0,50 ms bedraagt. Ga dit na.
- c Mark en Celeste denken dat het geluid 0,50 ms heeft gedaan over het afleggen van de 17 cm tussen de luidspreker en de microfoon. Laat zien dat de geluidssnelheid waar je dan op uitkomt overeenkomt met de geluidssnelheid in BINAS tabel 15A.
- d Toch twijfelen Mark en Celeste over hun experiment. Volgens Celeste kan de tijdvertraging ook veel groter zijn dan wat ze gevonden hebben. Vertragingen van 1,50 ms, 2,50 ms en 3,50 ms etc... zou namelijk precies hetzelfde oscillogram geven. Leg uit wat Mark en Celeste zouden moeten doen zeker te weten dat de vertraging 0,50 ms is.



19 Lichtgolven

Licht is een elektromagnetische golf. Net zoals andere golven heeft ook licht een frequentie, een golflengte en een voortplantingssnelheid. Ook voor licht geldt ook de formule $v=f \cdot \lambda$.

- Zoek de voortplantingssnelheid van licht op in BINAS tabel 7.
- Blauw licht heeft een frequentie van $6,19 \cdot 10^{14}$ Hz. Laat met een berekening zien dat de golflengte van blauw licht 484 nm bedraagt.
- Ook radiostraling is een vorm van elektromagnetische straling en beweegt zich met dezelfde snelheid als licht. Bereken de golflengte van radiostraling van 108 MHz.
- Röntgenstraling heeft een frequentie van $3,0 \cdot 10^{17}$ Hz en een golflengte van 1,0 nm. Laat met een berekening zien dat de voortplantingssnelheid van röntgenstraling gelijk is aan die van licht.

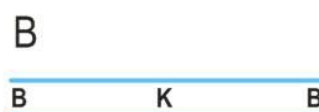
20 Lopend of staand

Hieronder staan een aantal verschillende soorten golven en eigenschappen van golven genoemd. Ga in elk geval na of het over lopende of over staande golven gaat

- Golven op zee bewegen zich richting strand
- In een gitaarsnaar ontstaat een golf nadat deze is aangeslagen
- Er bevinden zich meerdere knopen en buiken in de golf
- Golflengte wordt bepaald door het voorwerp waarin de golf zich bevindt
- Golflengte is onafhankelijk van het voorwerp waarin de golf zich 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 Snaartrilling

Een snaar met een lengte van 1,00 m is zodanig opgespannen dat de voortplantingssnelheid in de snaar 200 ms^{-1} bedraagt. Bepaal in elk van de situaties hieronder de frequentie waarmee de snaar trilt.

- De snaar trilt in de grondfrequentie ($n=1$).
- De snaar trilt in de 1e boventoon ($n=2$).
- De snaar wordt ingekort tot 80,0 cm en trilt in de grondfrequentie ($n=1$).
- De snaar wordt ingekort tot 25,0 cm en trilt in de 4e boventoon ($n=3$).

23 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. De frequentie van deze toon is 480 Hz.

- Bereken de golflengte van een toon van 480 Hz.
- De reageerbuis had een lengte van 17,9 cm. Laat zien dat dat in de buis een kwart golflengte past.
- Door de buis met water te vullen verandert de toonhoogte. Beredeneer 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 9,3 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.

24 Trompet

Een trompet is een instrument dat bestaat uit een lange buis met een lengte van 1,47 m. De buis is met allerlei bochten 'opgevouwen' zodat een compact en makkelijker hanteerbaar instrument ontstaat. Als op een trompet een toon gespeeld wordt ontstaat in de buis een staande golf. De trompet gedraagt zich hierbij als een buis met twee open uiteinden.

- Op een trompet wordt een toon gespeeld met een frequentie van 233,08 Hz. Laat zien dat de staande golf die in de buis ontstaat niet de grondtoon ($n=1$) maar de eerste boventoon ($n=2$) is.
- Door middel van zogenaamde *ventielen* kan de buis langer of korter gemaakt worden. Zie rechter afbeelding hieronder: Als een ventiel wordt ingedrukt zorgt dit ervoor dat er een kleine omweg in de buis ontstaat waardoor de buis iets langer wordt. Beredeneer dat de toon lager wordt bij het indrukken van een ventiel.
- Door het indrukken van het linker ventiel verandert de frequentie van 233,08 Hz naar 207,65 Hz. (Een hele toon lager). Bereken de lengte van het omweggetje wat ontstaan bij het indrukken van het linker ventiel.
- Tijdens het spelen stijgt de temperatuur van de lucht in de buis langzaam van kamertemperatuur naar de temperatuur van de door de speler uitgeblazen lucht ($37 \text{ }^\circ\text{C}$).

Beredeneer of de trompet hierdoor hoger of lager zal gaan klinken.



25 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 en een massa van 0,20 g. 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.

- Beredeneer of dit de grondtoon is of een boventoon.
- Bereken de golfsnelheid in de snaar.
- 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.
- 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.
- Geef in de afbeelding hieronder aan achter welke fret Sebastiaan zijn vinger moet zetten.



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

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

F_s = spankracht (N)

m = massa snaar (kg)

l = lengte snaar (m)

26 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.

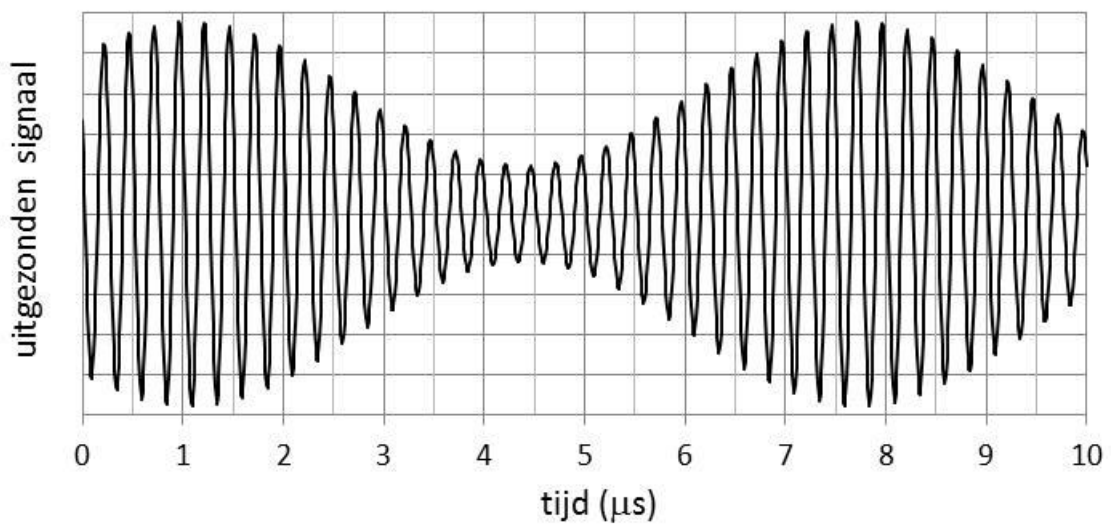
- Een van de boventonen die met de laagste toon meeklinken heeft een frequentie van 415,3 Hz. Toon met een berekening aan dat een saxofoon zich gedraagt als een buis met twee open uiteinden en dat de boventoon correspondeert met $n=4$.
- Maureen heeft opgemeten dat een tenorsaxofoon uitgerold een buislangte 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.
- 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.
- 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.



27 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?



28 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.
- 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?

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 Elektrocardiogr.

- b 0,86 s
- c 1,2 Hz
- d 70 BPM
- e 2 mV/0,3 mV

3 Frequentie

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

4 Oscilloscoop

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

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 Strak koord

- a 1,8 Hz
- c 75 g
- e 60 Nm^{-1}

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 Golflengte

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

14 Golf op zee

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

16 Geluidsgolven

- a 68,6 cm
- b 17 m
- c 1,7 cm
- d langer

19 Lichtgolven

- a $2,99792458 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$
- c 2,78 m

21 Staande golven

- a 3
- b 1
- c 2

22 Snaartrilling

- a 100 Hz
- b 200 Hz
- c 125 Hz
- d $1,20 \cdot 10^3 \text{ Hz}$

23 Reageerbuis

- a 71,5 cm

24 Trompet

- c 18,2 cm
- d hoger

25 Gitaar

- b 412 ms^{-1}
- c 55 N
- e 5e fret (vanaf kop)

26 Saxofoon

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

27 Modulatie

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

28 FM

- b 300 kHz