

Trillingen en geluid

- § 1 Amplitude, trillingstijd en frequentie
- § 2 Vrije en gedwongen trillingen; resonantie
- § 3 Geluid van bron naar ontvanger
- § 4 Toonhoogte en frequentie
- § 5 Luidheid en geluidsniveau
- § 6 Geluidssnelheid
- § 7 Dopplereffect

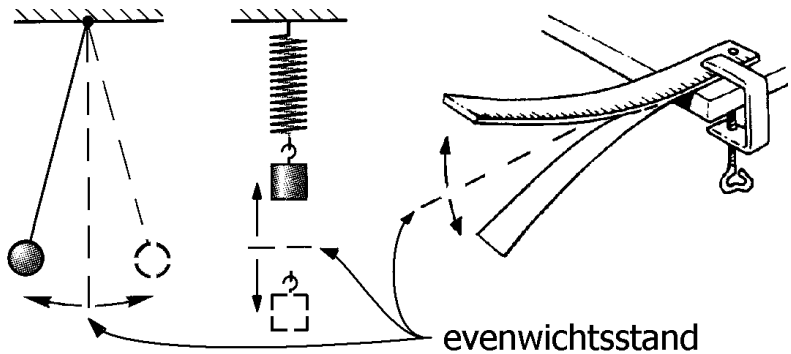
§ 1 Amplitude, trillingstijd en frequentie

Trillend voorwerp

We spreken over een "trillend" voorwerp als dit voorwerp (of één of meerdere delen hiervan) heen en weer beweegt rond de evenwichtsstand.

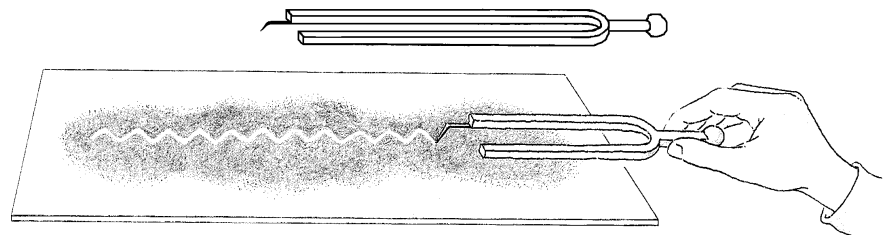
Hieronder volgt een aantal voorbeelden. Zie ook de figuren hiernaast.

- Een kogel, die aan een touwtje hangt en heen en weer slingert.
- Een blokje, dat aan een spiraalveer hangt en op en neer beweegt.
- Een liniaal, die aan één kant is ingeklemd en met de andere kant heen en weer beweegt.



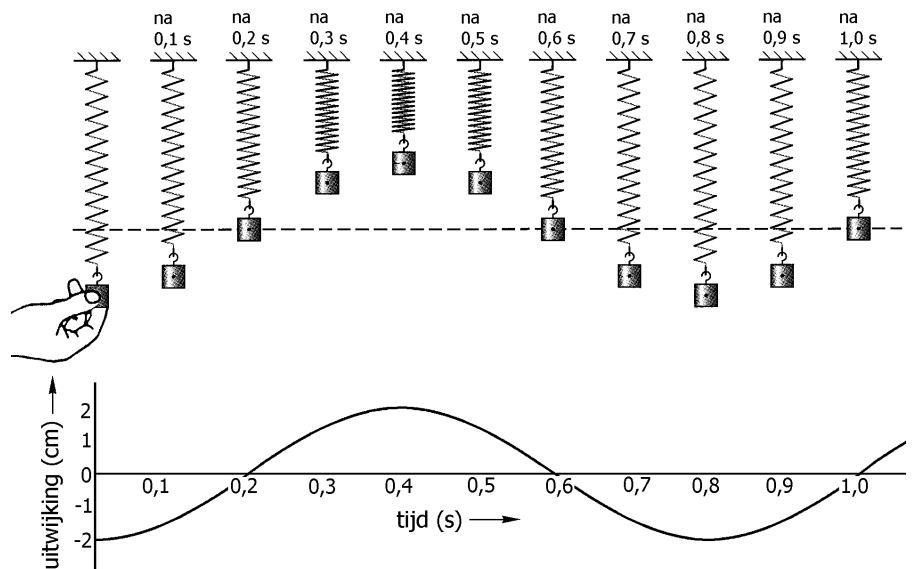
De trilling van een stemvork zichtbaar maken

Als een stemvork wordt aangeslagen, zullen de twee benen heen en weer bewegen. Het trillen van de stemvork kan zichtbaar gemaakt worden door een naald aan één van de benen te bevestigen. Als je de naald snel over een berote plaat trekt, ontstaat er een golfspoor. Zie de figuur.



Uitwijking-tijd-diagram

In de figuur hiernaast hangt een blokje aan een spiraalveer. Er zijn meerdere momentopnamen getekend. In de eerste opname wordt het blokje 2 cm naar beneden getrokken. Na loslaten gaat het blokje op en neer trillen (de volgende momentopnamen).

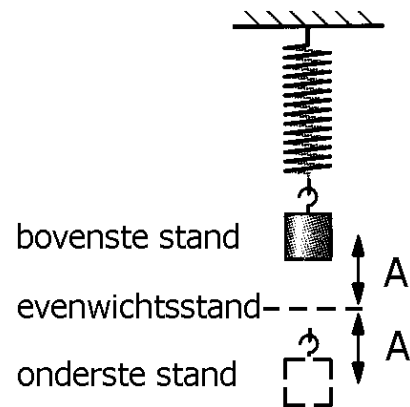


Precies onder de momentopnamen is het uitwijking-tijd-diagram van het blokje weergegeven. Hierin is de uitwijking van het blokje uitgezet tegen de tijd. Bij de uitwijking gaat het steeds om de afstand tussen het blokje en zijn evenwichtsstand.

Amplitude

Onder de 'amplitude' verstaan we de afstand tussen de evenwichtsstand en de uiterste stand van het trillende voorwerp. Het symbool voor amplitude is A . Zie de figuur hiernaast waarin de amplitude van een op en neer bewegend blokje is weergegeven.

In het bovenstaande voorbeeld werd het blokje 2 centimeter naar beneden getrokken en losgelaten. Het hoogste punt van het blokje lag steeds 2 cm boven de evenwichtsstand en het laagste punt steeds 2 cm onder de evenwichtsstand. Er gold dan ook: $A = 2$ cm.

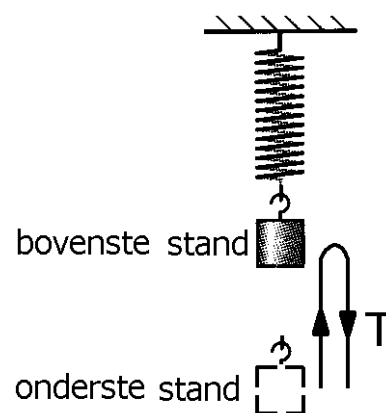


Trillingstijd

Kenmerkend voor een trillend voorwerp is dat een willekeurige toestand steeds terug komt. Neem bijvoorbeeld de toestand van de stemvork waarbij de benen maximaal uit elkaar staan. Deze toestand zal zich keer op keer herhalen. En ook bijvoorbeeld de toestand van een schommel die naar rechts beweegt en hierbij de evenwichtsstand passeert. Ook deze situatie komt steeds terug. De beweging van een voorwerp tussen twee (opvolgende) gelijke toestanden wordt een 'trilling' genoemd. Na elke trilling komt er dus een nieuwe trilling, die gelijk is aan de vorige.

Onder de 'trillingstijd' verstaan we de tijd, die één trilling duurt. Het symbool voor trillingstijd is T . Zie de figuur hiernaast waarin de trillingstijd van een op en neer bewegend blokje is weergegeven. In deze figuur is het laagste punt van het blokje gekozen als startpunt en eindpunt van een trilling.

Als de benen van een stemvork op een bepaald moment maximaal uit elkaar staan en 0,01 seconde later weer, dan is de trillingstijd van de stemvork 0,01 seconde (dus $T = 0,01$ s). In het bovenstaande voorbeeld (waarin een blokje 2 cm naar beneden werd getrokken en losgelaten) gold: $T = 0,8$ s. Ga dat na.



Frequentie

Onder de 'frequentie' verstaan we het aantal trillingen per tijdseenheid (meestal seconde). Als een stemvork bijvoorbeeld honderd trillingen in één seconde uitvoert, dan is de frequentie 100 per seconde. Dit wordt kort genoteerd als $f = 100 \text{ Hz}$. De eenheid van frequentie is hertz (Hz) en is dus gelijk aan 'per seconde'.

Als de trillingstijd van een trillend voorwerp bekend is, dan kan de frequentie berekend worden. Omgekeerd volgt de trillingstijd ook uit de frequentie. Hiervoor gelden de volgende formules.

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{en} \quad T = \frac{1}{f}$$

Als een stemvork bijvoorbeeld een trillingstijd van een honderdste seconde heeft ($T = 0,01 \text{ s}$), dan passen er precies honderd trillingen in één seconde ($f = 100 \text{ Hz}$). De berekening wordt opgeschreven als:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,01 \text{ s}} = 100 \text{ Hz}.$$

Als een wasmachine bijvoorbeeld trilt met een frequentie van vijf hertz ($f = 5 \text{ Hz}$), dan duurt één trilling een vijfde van een seconde ($T = 0,2 \text{ s}$). De berekening wordt opgeschreven als:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{5 \text{ Hz}} = 0,2 \text{ s}.$$

Opgaven bij § 1

Opgave 1

Wanneer spreken we over een trillend voorwerp?

Opgave 2

Wat verstaan we onder de amplitude?

Opgave 3

Wat verstaan we onder één trilling?

Opgave 4

Wat verstaan we onder de trillingstijd?

Opgave 5

Wat verstaan we onder de frequentie?

Opgave 6

Bereken de frequentie van een trillend voorwerp als zijn trillingstijd 0,02 s bedraagt.

Opgave 7

Bereken de trillingstijd van een trillend voorwerp als zijn frequentie 250 Hz is.

Opgave 8

Een voorwerp voert 10 trillingen uit in 5 seconde. Bereken de frequentie.

Opgave 9

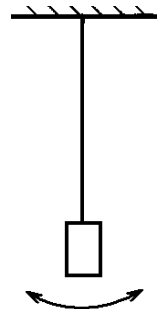
Een voorwerp trilt met een frequentie van 150 Hz. Bereken hoeveel trillingen het voorwerp uitvoert in 8 seconde.

Opgave 10

Een voorwerp trilt met een frequentie van 3120 per minuut. Bereken de frequentie uitgedrukt in hertz.

Opgave 11

Johan hangt een blokje aan een koord. Zie de figuur hiernaast. Hij beweegt het blokje een stukje naar links en laat het daarna los. Na loslaten duurt het 0,6 s voordat het blokje geheel rechts is. Bereken de frequentie van het blokje.

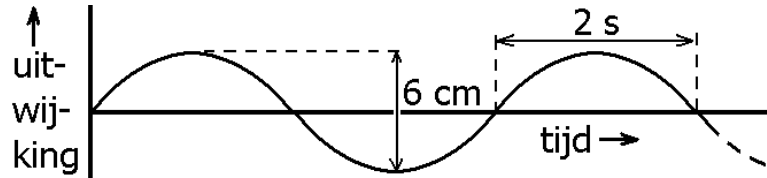


Opgave 12

In de figuur hiernaast is het uitwijking-tijd-diagram van een trillend voorwerp gegeven.

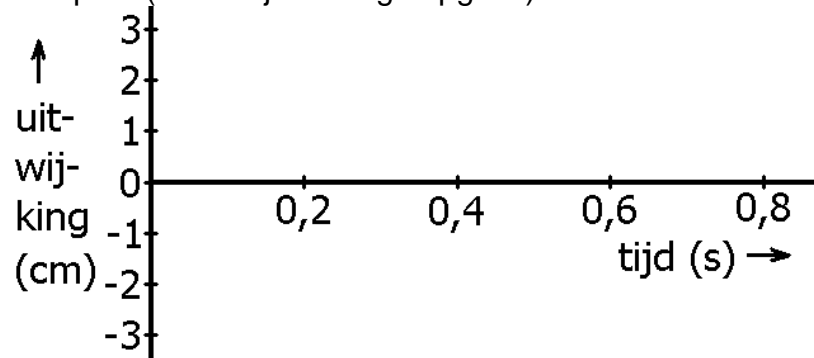
Bepaal uit deze figuur

- * de trillingstijd,
- * de frequentie,
- * de amplitude.



Opgave 13

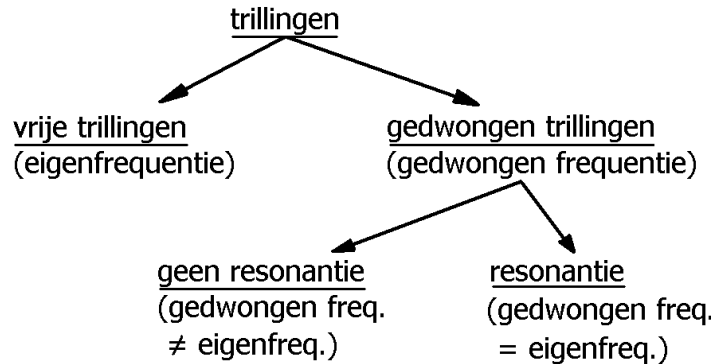
Teken in de onderstaande figuur het uitwijking-tijd-diagram van een trillend voorwerp waarvan de frequentie 2,5 Hz en de amplitude 2,5 cm is. Neem de evenwichtsstand als startpunt (zoals bij de vorige opgave).



§ 2 Vrije en gedwongen trillingen; resonantie

Overzicht

Trillingen kunnen worden onderverdeeld in vrije trillingen en gedwongen trillingen. Bij gedwongen trillingen kan er sprake zijn van resonantie. In de figuur hiernaast staat een schematisch overzicht. Hieronder wordt het een en ander uitgelegd.



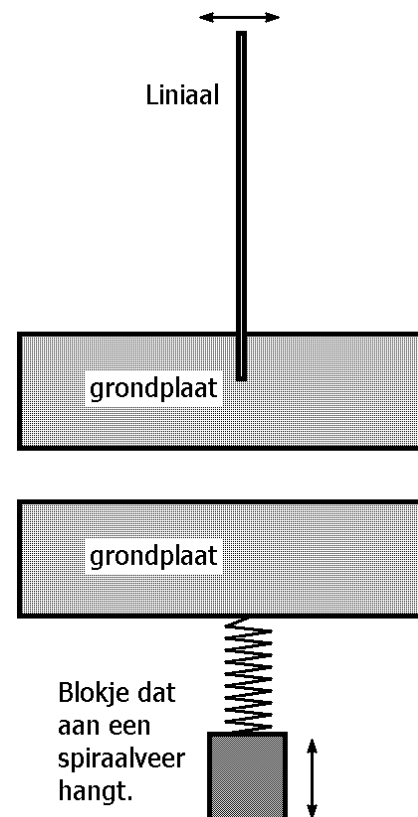
Vrije trillingen

Voorbeelden van vrije trillingen zijn de volgende.

- Een linaal is aan de onderkant ingeklemd. Zie hiernaast. Als iemand de linaal opzij trekt en daarna loslaat, zal de linaal snel heen en weer gaan bewegen.
- Een blokje hangt aan een spiraalveer. Zie hiernaast. Als iemand het blokje naar beneden trekt en daarna loslaat, zal het blokje op en neer gaan bewegen.
- Een blokje hangt aan een koord. Als iemand het blokje opzij trekt en daarna loslaat, zal het blokje heen en weer gaan slingeren.
- Als een stemvork wordt aangeslagen zullen de twee benen heen en weer gaan bewegen.

Een voorwerp voert een vrije trilling uit als er geen invloed van buitenaf is (behalve aan het begin als het voorwerp uit zijn evenwichtsstand gebracht wordt). Het voorwerp bepaalt zelf het tempo waarin het trillingen uitvoert. De frequentie van zo'n trilling heet de "eigenfrequentie".

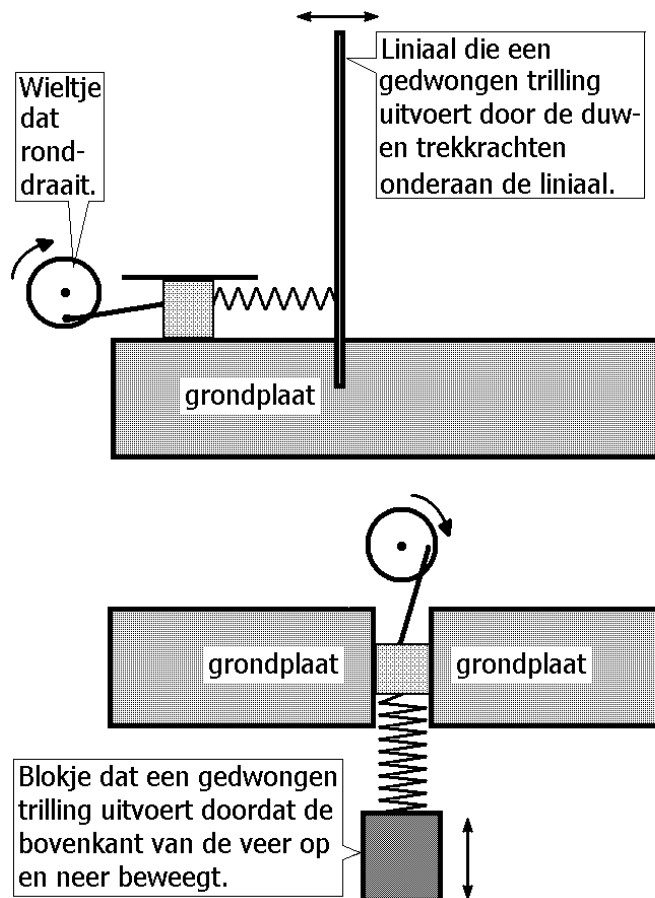
Als een voorwerp een vrije trilling uitvoert, dan heeft de amplitude (meestal) geen invloed op de frequentie van een trillend voorwerp. Deze voorwerpen zullen met dezelfde frequentie trillen bij een amplitude van 1 cm of 2 cm of 3 cm enzovoort.



Gedwongen trillingen

Voorbeelden van gedwongen trillingen zijn de volgende.

- De ingeklemde liniaal (uit het bovenstaande voorbeeld) beweegt heen en weer onder invloed van een spiraalveer die afwisselend is ingedrukt en uitgerekt. Zie hiernaast.
- Het blokje dat aan een spiraalveer hangt (uit het bovenstaande voorbeeld), beweegt op en neer omdat de bovenkant van de veer op en neer beweegt. Zie hiernaast.
- Als je een trillende stemvork op een tafelblad of een schoolbord zet, gaat dit meetrillen en versterkt hiermee het geluid.
- Als je de radio aanzet, zal de conus van de luidspreker gaan trillen in het tempo van de muziek.



Een voorwerp voert een gedwongen trilling uit als er sprake is van een voortdurende beïnvloeding van buitenaf. Het tempo waarin het voorwerp trillingen uitvoert wordt dan van buitenaf bepaald. Daarom spreken we in dit verband over de “gedwongen frequentie”.

Resonantie

Als een voorwerp een gedwongen trilling uitvoert waarbij de gedwongen frequentie (ongeveer) gelijk is aan de eigenfrequentie, dan spreken we over resonantie. Kenmerkend is dat de amplitude van de trilling dan veel groter is dan bij andere frequenties. Anders gezegd: de duw- en trekkrachten (van buitenaf) op het voorwerp wisselen elkaar op het juiste moment af. Ze passen precies bij het tempo waarin het voorwerp van nature trillingen zou uitvoeren. De krachten van buitenaf versterken de trillingen van het voorwerp dus alleen maar.

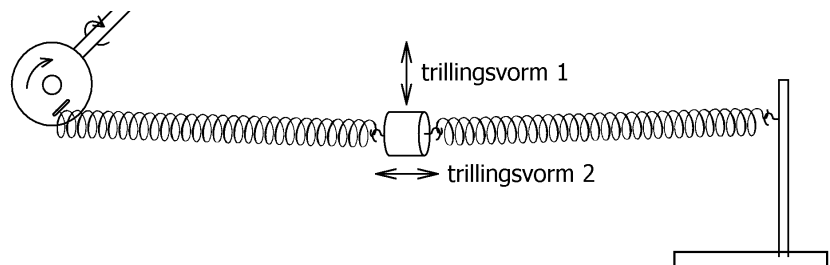
Stel bijvoorbeeld dat de liniaal een eigentrilling heeft van 30 Hz. Als het wielje nu met een toerental van 30 Hz ronddraait, zal de liniaal zeer sterk gaan trillen (resonantie). Als het wielje met een kleiner toerental (25 Hz) of met een groter toerental (35 Hz) rond zou draaien, zou de amplitude van de liniaal veel kleiner zijn.

In de praktijk zijn er veel voorbeelden aan te wijzen van resonantie. Neem bijvoorbeeld een peuter op een schommel, die door de moeder geholpen wordt met schommelen. De moeder moet het kind op het juiste moment duwtjes geven om een grote amplitude te krijgen. De frequentie van de duwtjes moet dus gelijk zijn aan de eigenfrequentie van de schommel.

Systemen die op meerdere manieren kunnen trillen

Veel voorwerpen (algemener: systemen) kunnen op verschillende manieren trillen. Bij iedere trillingsvorm hoort een andere eigenfrequentie. En is er dus resonantie mogelijk bij meerdere frequenties. Zie bijvoorbeeld de onderstaande figuur. Hierin hangt een gewichtje aan twee horizontaal gespannen spiraalveren. Eén spiraalveer wordt in trilling gebracht door een ronddraaiend wiel. Het gewichtje kan trillen in verticale richting (trillingsvorm 1) en in horizontale richting (trillingsvorm 2).

Stel dat het toerental van het wielje langzaam wordt opgevoerd. Dan gaat het blokje eerst bij trillingsvorm 1 resoneren en daarna (bij een hoger toerental) bij trillingsvorm 2.

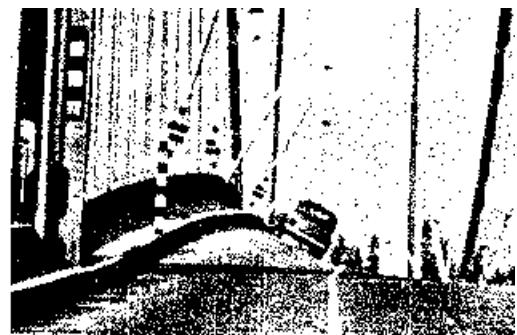


Resonantie is vaak ongewenst

In de praktijk is resonantie vaak ongewenst. Bij oudere auto's trilt het dashboard wel eens bij een bepaald toerental van de motor. En glaswerk (zoals wijnglazen) rinkelt soms bij bepaalde toonhoogtes van muziek. En als militairen te voet een brug oversteken, moeten zij uit de pas lopen om resonantie van de brug te voorkomen.

Ook de klankkast van een muziekinstrument mag niet resoneren. De klankkast versterkt het geluid door een gedwongen trilling uit te voeren. Echter, alle tonen moeten evenveel versterkt worden. Bij resonantie zouden bepaalde tonen veel meer versterkt worden dan andere. Om resonantie te voorkomen hebben klankkasten van muziekinstrumenten vaak ronde vormen. Omgekeerd mag (moet) de klankkast van een stemvork juist wel resoneren. Want dan hoeft alleen de frequentie van de stemvork versterkt te worden.

Een bekend voorbeeld van de vervelende gevolgen van resonantie is de Tacoma Narrows Bridge. Deze in 1940 in de Verenigde Staten gebouwde brug van 850 m lengte ging resoneren ten gevolge van luchtwervelingen die iedere 2 s achter de brug "loslieten". Zie de figuur hiernaast. Sindsdien wordt van elke lange brug een schaalmodel gemaakt en in een windtunnel getest.



The Tacoma Narrows Bridge literally twisted apart on Nov. 7, 1940.

Opgaven bij § 2

Opgave 1

Wat is het verschil tussen een vrije trilling en een gedwongen trilling?

Opgave 2

Wat is het verschil tussen een gedwongen trilling en resonantie?

Opgave 3

Geef van de volgende gevallen aan of het vrije of gedwongen trillingen zijn.

- * De snaar van een gitaar die trilt nadat je hem hebt aangeslagen.
- * De klankkast van een gitaar die trilt omdat je de gitaar bespeelt.
- * De trommelvliezen van je oren die trillen als je geluid hoort.
- * Een trui aan een waslijn die heen en weer slingert na een windstoot.
- * Een auto die trilt omdat hij over kinderkopjes (bolvormige stenen) rijdt.
- * Een muur die trilt omdat je er met een klopboor een gat in boort.

Opgave 4

Leg uit waarom resonantie van de klankkast van een gitaar ongewenst is.

Opgave 5

Leg uit of resonantie van een klankkast van een stemvork gewenst of ongewenst is.

Opgave 6

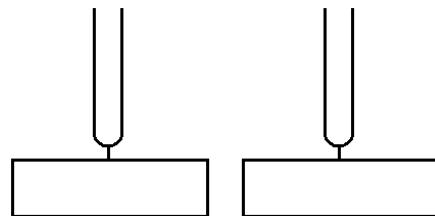
Leg uit of resonantie van een luidspreker (in bijvoorbeeld een radio) gewenst of ongewenst is.

Opgave 7

Leg uit waarom een vleugel (te vergelijken met een piano) zo'n "gekke" vorm heeft.

Opgave 8

Twee dezelfde stemvorken op een klankkast staan vlak bij elkaar. Zie de figuur hiernaast. De openingen van de klankkasten staan naar elkaar toe gericht. Eén stemvork wordt aangeslagen en na een paar tellen wordt de trilling gestopt. Daarna blijkt de andere stemvork de toon te produceren. Verklaar dit.

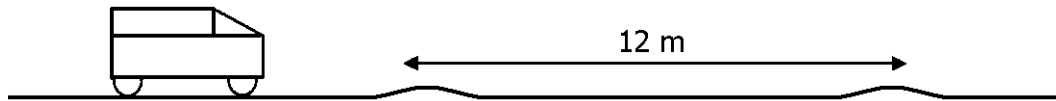


Opgave 9

Deze vraag sluit aan bij de vorige. Zou het proefje ook lukken als de stemvorken verschillende tonen zouden produceren?

Opgave 10

Een auto met een eigenfrequentie van 1,3 Hz rijdt op een weg met hobbels. Zie de figuur hieronder. De hobbels zijn 12 m van elkaar verwijderd. Bereken de snelheid (in meter per seconde) die de auto moet hebben om in resonantie te komen.



Opgave 11

Een blokje hangt aan een koord en slingert heen en weer. De slingertijd T hangt af van de slingerlengte l (= de afstand van het ophangpunt tot het zwaartepunt van het blokje) en de gravitatieversnelling g (in Nederland is dat 9,8 N/kg). Hierbij geldt de volgende formule.

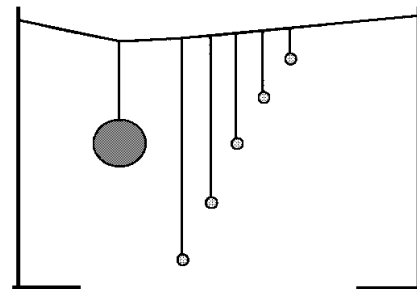
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Bereken de slingertijd van het blokje als de slingerlengte 0,6 m is.

Hoe kun je aan de formule zien dat de amplitude geen invloed op de slingertijd heeft?

Opgave 12

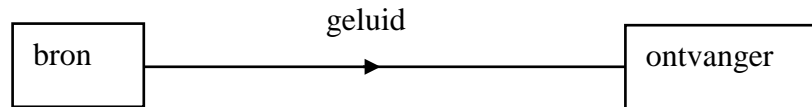
Je spant een koord tussen twee hoge statieven. Je hangt één zware en vijf lichte kogels aan het koord zoals in de figuur hiernaast. Wat zul je zien als je de grote kogel heen en weer laat slingeren?



§ 3 Geluid van bron naar ontvanger

Geluid van bron naar ontvanger

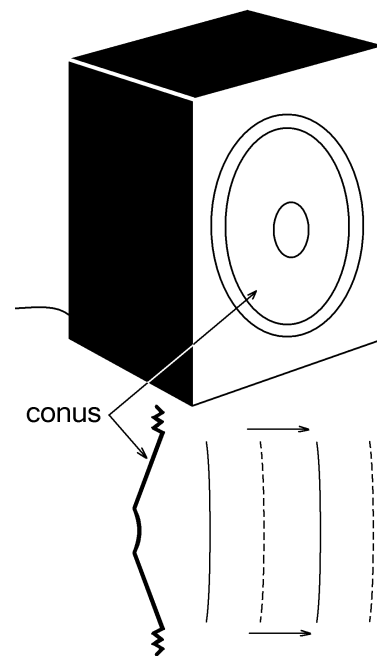
Een geluidsbron zoals een luidspreker of een toeter brengt de omringende lucht in trilling. Deze luchttrillingen breiden zich in de ruimte uit. We spreken dan van geluid. Het geluid kan een geluidsontvanger zoals een microfoon of een oor bereiken. Zo'n ontvanger zet de luchttrillingen dan om in bijvoorbeeld een elektrisch signaal. Schematisch kan het bovenstaande als volgt worden weergegeven.



Geluid kan behalve door lucht ook door een vloeistof of door een vaste stof gaan. Dolfijnen bijvoorbeeld communiceren door middel van geluidssignalen in het water. En een trein hoor je al vanuit de verte aankomen door je oor op de rails te leggen (niet aanbevolen trouwens).

Wat is geluid?

Van een luidspreker is het de conus, die de lucht in trilling brengt. Zie de figuur hiernaast. Als de conus naar voren gaat, drukt hij de lucht voor de luidspreker een beetje in elkaar en ontstaat er een verdichting van de lucht. Als de conus naar achteren gaat, krijgt de lucht voor de luidspreker juist meer ruimte en ontstaat er een verdunning van de lucht. Het trillen van de conus veroorzaakt dus een opeenvolging van verdichtingen en verdunningen van de lucht. Deze opeenvolging van verdichtingen en verdunningen breidt zich vanaf de luidspreker in de ruimte uit. We zeggen dan dat het geluid zich in lucht voortplant.

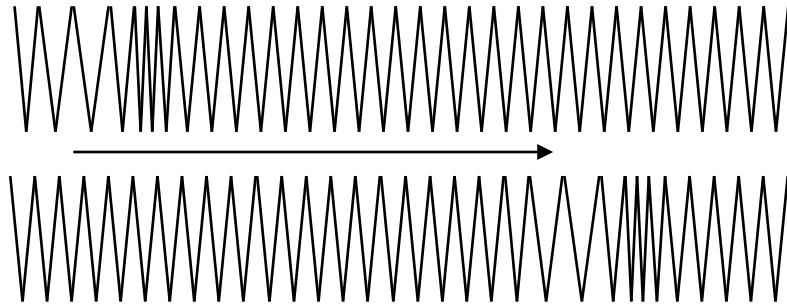


In de figuur hiernaast is een momentopname weergegeven van de verdichtingen en verdunningen in de lucht. De doorgetrokken lijnen geven de punten aan waar de lucht maximaal is verdicht en de onderbroken lijnen geven de punten aan waar de lucht maximaal is verdund. Het gehele patroon van lijnen beweegt met een bepaalde snelheid naar rechts. Deze snelheid heet de geluidssnelheid.

In vloeistoffen en vaste stoffen bestaat geluid ook uit opeenvolgende verdichtingen en verdunningen, die zich door de stof voortplanten. Het verschil met gassen is dat vloeistoffen en vaste stoffen veel moeilijker samendrukbaar zijn. Toch is de manier waarop geluid zich voortplant in principe gelijk. Uiteraard bestaat er geen geluid in vacuüm.

Verdichtingen en verdunningen in een spiraalveer

De manier waarop geluid zich voortplant kan zichtbaar gemaakt worden met een spiraalveer, die op een gladde tafel ligt. Zie de figuur hiernaast waarin twee momentopnamen van de veer afgebeeld zijn.

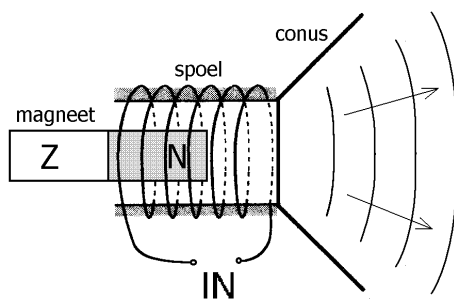


Als de spiraalveer aan de linkerkant achtereenvolgens ingedrukt en uitgerekt wordt, dan zullen de voorste windingen dicht bij elkaar komen (verdichting) en de windingen daarachter verder van elkaar af gaan (verdunning). Deze verstoring als geheel beweegt naar rechts. De snelheid waarmee dat gebeurt, is te vergelijken met de geluidssnelheid.

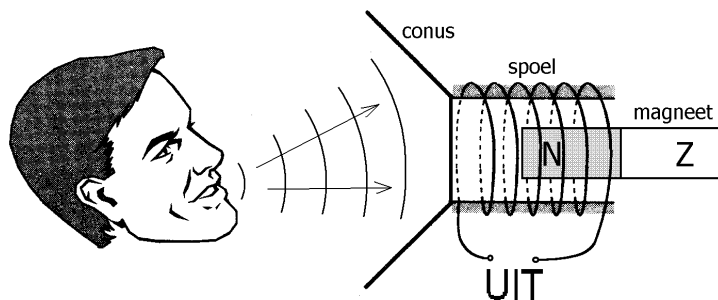
Luidspreker en microfoon

Een luidspreker zet een elektrisch signaal om in geluid en een microfoon zet geluid om in een elektrisch signaal. De meeste luidsprekers werken als volgt. Aan de conus van de luidspreker is een spoel bevestigd. Deze spoel bevindt zich in een magnetisch veld. Dit is in de onderstaande linker figuur schematisch weergegeven. De twee aansluitpunten van de spoel vormen de ingang (IN) van de luidspreker. Als op deze ingang een wisselspanning wordt aangesloten, wordt de spoel afwisselend naar links en naar rechts getrokken. Het gevolg is, dat de lucht voor de conus in trilling komt, wat de basis voor geluid is.

Principe van een luidspreker



Principe van een microfoon



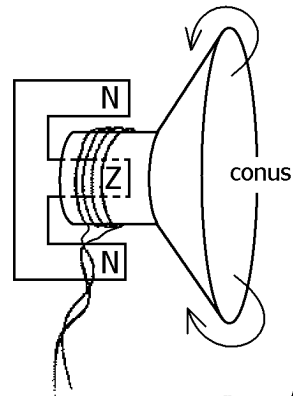
Veel microfoons zijn, in principe althans, op dezelfde manier opgebouwd als luidsprekers. De bovenstaande rechter figuur geeft zo'n microfoon schematisch weer. Als het geluid de microfoon bereikt, brengt deze de conus en de daaraan vastzittende spoel in beweging (deze gaan heen en weer). Omdat de spoel zich in een magnetisch veld bevindt, ontstaat er tussen de twee aansluitpunten (in de figuur: UIT) een elektrische wisselspanning.

Uit het bovenstaande zou je kunnen concluderen dat je een microfoon ook als luidspreker kunt gebruiken en een luidspreker als microfoon. In de praktijk blijkt dat alleen een luidspreker als microfoon dienst kan doen.

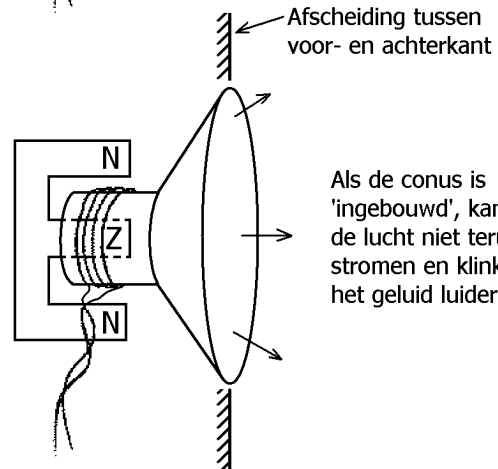
Akoestische kortsluiting

In de figuur hiernaast beweegt de conus van een luidspreker heen en weer. Als de conus bijvoorbeeld naar rechts beweegt, wordt de lucht aan de voorzijde van de conus een beetje samengedrukt (hogere druk) en aan de achterzijde een beetje uitgerekt (lagere druk). Bij lage frequenties (lage tonen) heeft de lucht voldoende tijd om van de voorkant naar de achterkant te bewegen. Dit wordt akoestische kortsluiting genoemd (akoestiek is de wetenschap van het geluid). Dit is een ongewenst effect omdat de lucht aan de voorzijde van de conus minder wordt samengedrukt dan je zou willen, waardoor het geluid zachter klinkt.

Akoestische kortsluiting kan worden opgeheven door de luchtbeweging tussen de voor- en achterkant van de conus onmogelijk te maken of sterk te beperken. In de figuur hiernaast is dat bereikt met een plaat die de lucht aan de voorkant scheidt van de lucht aan de achterkant. In de praktijk wordt akoestische kortsluiting voorkomen door de luidspreker in een gesloten kast te monteren.



Als de conus naar voren beweegt, verplaatst de lucht zich van de voor- naar de achterkant van de conus. Dit wordt akoestische kortsluiting genoemd.



Als de conus is 'ingebouwd', kan de lucht niet terugstromen en klinkt het geluid luider.

Opgaven bij § 3

Opgave 1

Leg uit waarom we het op aarde niet zouden kunnen horen als de maan zou ontploffen.

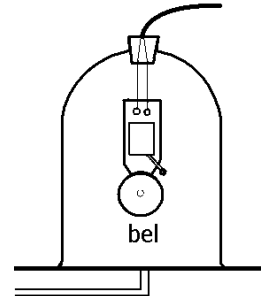
Opgave 2

Zowel bij geluid als bij wind beweegt de lucht. Leg uit wat het verschil is.

Opgave 3

In de figuur hiernaast zie je hoe een bel staat te rinkelen onder een glazen stolp. Met een luchtpomp wordt alle lucht onder de stolp vandaan gepompt. Ondertussen wordt het geluid van de bel steeds zwakker, tot je op een gegeven moment niets meer hoort. Waarom wordt het geluid steeds zachter? Omcirkel je keuze (A, B, C of D).

- A. Omdat de klepel steeds zachter tegen de bel botst.
- B. Omdat de glazen stolp door het luchtdrukverschil steeds meer weerstand ondervindt om mee te trillen.
- C. Omdat er voor geluid altijd een stof (bijvoorbeeld lucht) nodig is.
- D. Omdat het geluid van de luchtpomp het rinkelen van de bel overschaduwet.



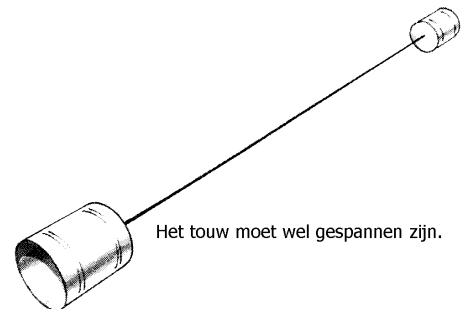
Opgave 4

Piet en Joop bevinden zich in het trappenhuis van een flatgebouw. Piet staat beneden en Joop op de zevende verdieping. Piet praat tegen Joop. Joop kan dit echter niet verstaan omdat het geluid door de afstand te veel verzwakt wordt. Bovendien ontstaan er echo's. Nu krijgen de jongens een idee. Ze rollen een lange tuinslang uit en laten deze vanaf de zevende verdieping naar beneden bungelen. De onderkant bereikt de begane grond. In beide uiteinden van de tuinslang wordt een trechter (het pijpje hiervan) gestoken. Piet praat in de ene trechter en Joop houdt zijn oor in de andere trechter. Nu verstaat Joop Piet wel. Geef twee redenen waarom dat nu wel kan.

Opgave 5

Piet en Joop hebben twee lege conservenblikken (waar bijvoorbeeld erwtensoep in gezeten heeft). Ze spannen een 20 m lang dun touw tussen beide blikken. Zie de figuur hiernaast. Als Piet nu in het ene blik praat en Joop zijn oor in het andere blik houdt, dan kan Joop Piet horen. Leg uit hoe dat kan.

Tip voor het maken van deze draadtelefoon. Boor een klein gaatje in het midden van beide bodems. Steek daarna door ieder gaatje een touweinde en leg hier een dikke knoop in.

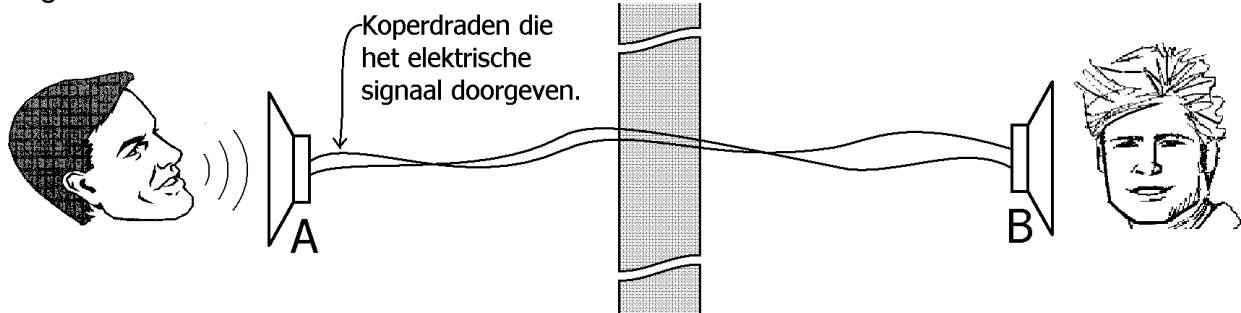


Het touw moet wel gespannen zijn.

Opgave 6

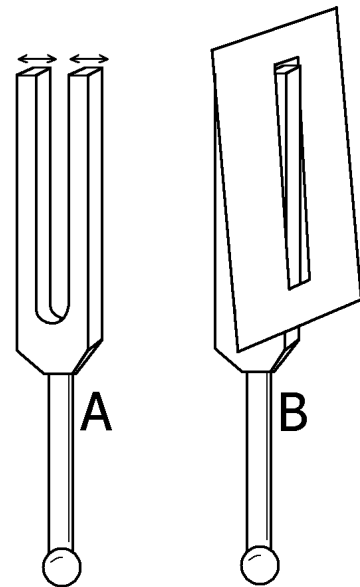
In de onderstaande figuur zijn twee gelijke luidsprekers A en B op elkaar aangesloten. De luidsprekers bevinden zich in twee verschillende kamers die gescheiden zijn door een dikke muur. Iemand praat in luidspreker A. Een ander kan dit (zachtjes) horen uit luidspreker B.

Leg uit hoe dat kan.



Opgave 7

Een stemvork wordt in trilling gebracht. Zie figuur A hiernaast. De pijltjes geven aan, hoe de benen van de stemvork trillen. Een stuk karton met een sleuf wordt over één been van de stemvork geschoven (karton en stemvork raken elkaar niet). Zie figuur B hiernaast. De stemvork klinkt hierdoor veel luider. Verklaar dit.



§ 4 Toonhoogte en frequentie

Toonhoogte en frequentie

Stel dat een geluidsbron trilt met een frequentie van 100 Hz. Dan trilt de lucht ook met 100 Hz. Als het geluid je oor bereikt, trilt je trommelvlies (en gehoorbeentjes enzovoort) ook met 100 Hz. Kortom: de frequentie verandert niet als het geluid van bron naar ontvanger gaat. Deze frequentie is bepalend voor de toonhoogte, die je waarneemt. **Hoe hoger de frequentie is, des te hoger de toon is, die je hoort.** Zo ervaren we geluid van 50 Hz als een lage toon en geluid van 1000 Hz als een hoge toon.

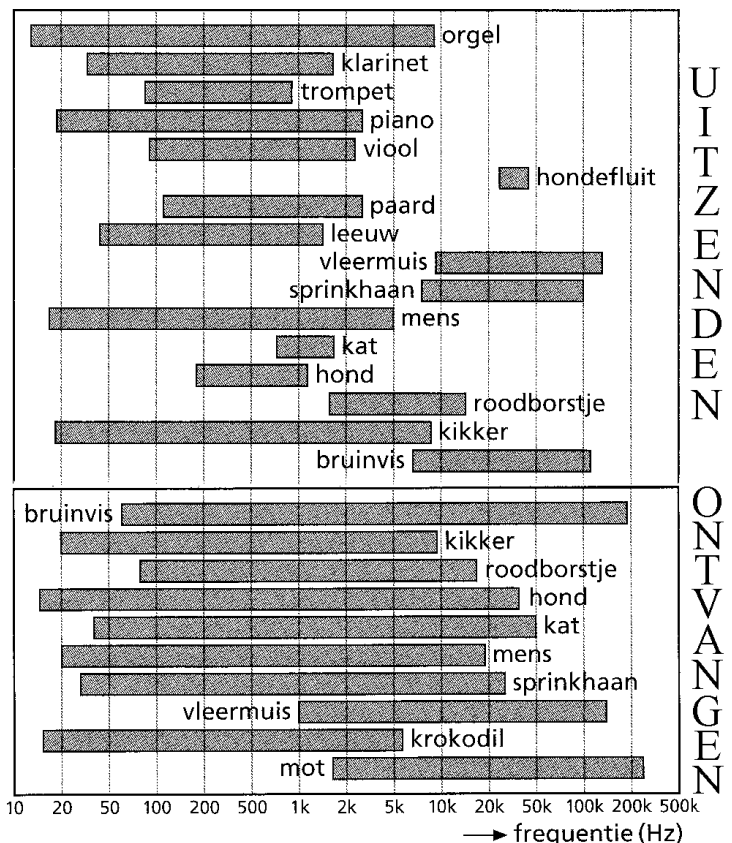
Frequentiebereiken

Jonge mensen zijn in staat om tonen tussen 20 Hz en 20.000 Hz (= 20 kHz want k = kilo = 1000) te horen. We zeggen dan dat het frequentiebereik voor het gehoor tussen 20 Hz en 20 kHz ligt. Geluid met een frequentie lager dan 20 Hz of hoger dan 20 kHz is niet waarneembaar. Naarmate je ouder wordt kun je steeds minder goed hoge tonen horen. Een 40-jarige kan bijvoorbeeld tonen boven 15 kHz al niet meer horen.

Iedere diersoort heeft zijn eigen frequentiebereik voor het gehoor. Vleermuizen zijn bijvoorbeeld in staat zeer hoge tonen te horen. Hun frequentiebereik loopt ongeveer van 1 kHz tot 120 kHz. Voor een aantal diersoorten is het frequentiebereik voor het gehoor in de figuur hiernaast afgebeeld. Gekeken moet worden naar de onderste helft van de figuur.

Onze stembanden zijn ruwweg in staat om geluid tussen de 15 Hz en 5 kHz te produceren. We zeggen dan dat het frequentiebereik voor spraak van 15 Hz tot 5 kHz loopt. In de bovenste helft van de figuur zijn de frequentiebereiken van een aantal geluidsbronnen weergegeven.

Uit de bovenste helft van de figuur blijkt, dat vleermuizen ook hoge tonen kunnen produceren. Verder blijkt uit de figuur dat een hondenfluit (zie bovenste helft) niet door de mens, maar wel door een hond kan worden gehoord (zie onderste helft).



Opgaven bij § 4

Opgave 1

Je luistert naar een stemvork die met een frequentie van 550 Hz trilt.

Dan trilt je trommelvlies met een frequentie die _____
550 Hz (vul hierbij in: hoger is dan, lager is dan, gelijk is aan).

Opgave 2

Waar hangt de toonhoogte, die je waarneemt vanaf?

Opgave 3

Bepaal de hoogste frequentie, die een sprinkhaan kan produceren.

Opgave 4

Bepaal de laagste frequentie, die een kikker kan horen.

Opgave 5

Hebben dieren in het algemeen een groter frequentiebereik als bron of als ontvanger?

Opgave 6

Kan een orgel tonen voortbrengen, die onhoorbaar voor de mens zijn? Zo ja, zijn dit dan hoge of lage tonen?

Opgave 7

Kan een mens alle tonen zingen, die een piano kan spelen?

Opgave 8

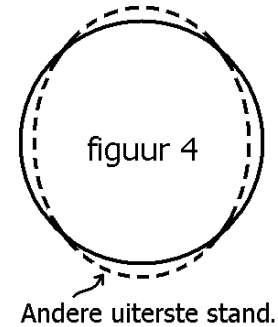
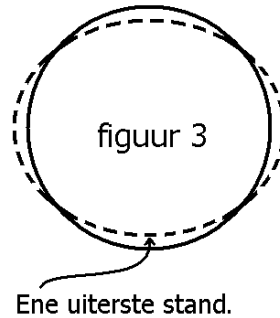
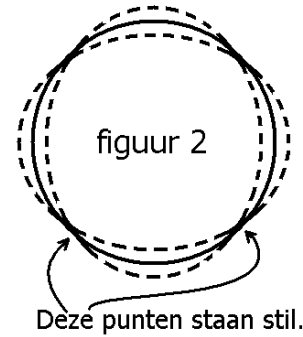
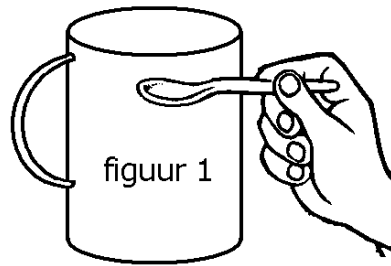
Welk dier kan tonen produceren, die hij zelf niet kan horen?

Opgave 9

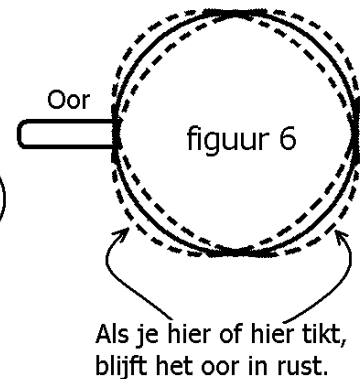
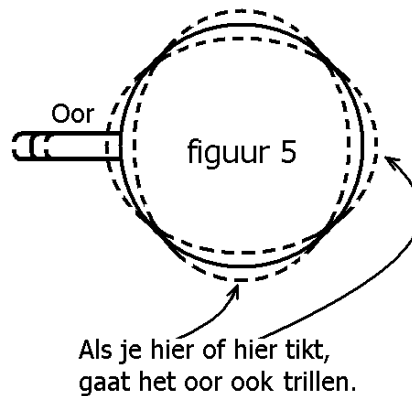
Stel je hebt twee luidsprekers A en B. Luidspreker A heeft in totaal 20 g aan beweegbare delen (conus + spoel enzovoort) en luidspreker B heeft in totaal 30 g aan beweegbare delen. Welke van de twee luidsprekers kan waarschijnlijk hogere tonen produceren?

Opgave 10

In figuur 1 hiernaast tik je even met een lepel tegen een lege beker, die op tafel staat. Daarna is korte tijd een toon hoorbaar. Dat komt, doordat de beker in trilling wordt gebracht. In figuur 2 zie je de beker van bovenaf. De stippellijnen geven aan hoe de beker trilt (de uitwijkingen zijn overdreven getekend). Opmerkelijk daarbij is dat sommige punten van de omtrek van de beker in rust blijven.



Het trillingspatroon in figuur 2 wordt toegelicht in figuur 3 en 4. Hierin zijn de twee uiterste standen van de beker getoond. Blijkbaar is de beker afwisselend uitgerekt in de ene richting en in de andere richting.



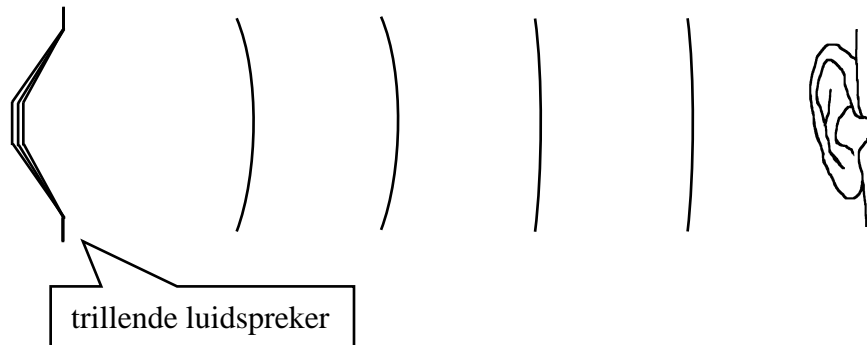
Het bijzondere bij dit proefje is dat de toonhoogte afhangt van de plaats waar je met je lepel op de beker tikt. Dit wordt veroorzaakt door het oor van de beker. Zie hiervoor de figuren 5 en 6. Als je bijvoorbeeld recht tegenover het oor tikt, trilt het oor mee (figuur 5). Als je echter een achtste van de omtrek verderop tikt, trilt het oor niet mee (figuur 6).

En dan eindelijk de vraag! In welk geval is de toonhoogte het hoogst: in figuur 5 of in figuur 6? Licht je antwoord toe.

§ 5 Luidheid en geluidsniveau

De amplitude en frequentie van de geluidsbron

In de figuur hiernaast wekt een trillende luidspreker een toon op die een menselijk oor bereikt. De persoon kan de toon ervaren als hoog of laag maar ook als hard (beter: luid) of zacht. Experimenten laten het volgende zien.



De FREQUENTIE van de geluidsbron bepaalt de TOONHOOGTE.

Hoe hoger de frequentie is, des te hoger de toon klinkt.

De AMPLITUDE van de geluidsbron bepaalt de LUIDHEID.

Hoe groter de amplitude is, des te luider de toon klinkt.

Geluidsniveau

Met de grootheid “geluidsniveau” wordt aangegeven hoe luid het geluid ervaren wordt. Het geluidsniveau wordt uitgedrukt in decibel (afgekort dB). In de praktijk ligt het geluidsniveau tussen 0 dB en 140 dB. Bij 0 dB is het geluid nét niet hoorbaar en spreken we van de gehoordrempel. Bij 140 dB trilt de lucht zo heftig dat je oren pijn doen en spreken we van de pijngrens. Zie het onderstaande overzicht voor de tussenliggende geluidsniveaus.

geluidsniveau (dB)	omschrijving
150	ernstige beschadigingen aan gehoororganen
140	pijngrens; straalmotor op 25 m
130	startend straalvliegtuig op 50 m
120	pneumatische boor op 1 m
110	betonboor op 1 m
100	zware vrachtwagen met 35 km/h op 7,5 m
90	lichte vrachtwagen met 35 km/h op 7,5 m
80	passerende bromfiets op 7,5 m
70	luide muziek van radio in woonkamer
60	geanimeerd gesprek
50	rustig gesprek; gemiddelde woonwijk overdag buiten
40	koelkast op 1 m
30	fluisterend gesprek
20	zacht gefluister
10	vrijwel volledige stilte
0	gehoordrempel; stilte

Niet elke trilling, die zich door de lucht voortplant, is voor het oor waarneembaar. Luchtrillingen, die horen bij 0 dB, vormen als het ware een soort scheidingslijn. Zwakkere luchtrillingen zijn niet waarneembaar, sterkere luchtrillingen wel.

Het geluidsniveau kan worden gemeten met een decibelmeter of kortweg dB-meter. In hoofdzaak bestaat een dB-meter uit een microfoon, een versterker en een aanwijsinstrument, dat het aantal decibel aangeeft.

Invloed van de amplitude van de geluidsbron op het geluidsniveau

Stel dat één geluidsbron een toon uitzendt. Dan geldt natuurlijk dat hoe groter de amplitude van de bron is, hoe groter ook het geluidsniveau is. Toch is het beslist niet zo, dat een verdubbeling van de amplitude ook een verdubbeling van het geluidsniveau veroorzaakt. Wél geldt dat een amplitudeverdubbeling een geluidsniveautoename van 6 dB veroorzaakt.

Stel bijvoorbeeld dat een geluidsbron eerst trilt met een amplitude van 0,1 mm en dat het geluidsniveau (op een bepaalde plaats) 70 dB bedraagt. Als nu de amplitude 0,2 mm (= 2 x 0,1 mm) wordt, dan wordt het nieuwe geluidsniveau 76 dB (= 70 dB + 6 dB). Als de amplitude nogmaals zou verdubbelen (naar 0,4 mm), dan zou het geluidsniveau 82 dB (= 76 dB + 6 dB) worden.

Rekenvoorbeeld

In een huiskamer trilt de conus van een luidspreker met een amplitude van 0,01 mm. Het geluidsniveau aan de andere kant van de kamer bedraagt 50 dB. Bepaal hoe groot het geluidsniveau op die plaats is als de conus met een amplitude van 0,32 mm zou trillen.

Oplossing

amplitude	0,01 mm	0,02 mm	0,04 mm	0,08 mm	0,16 mm	0,32 mm
geluidsniveau	50 dB	56 dB	62 dB	68 dB	74 dB	80 dB

In de bovenstaande tabel wordt de amplitude bij elke stap twee keer zo groot. Het geluidsniveau neemt bij elke stap met 6 dB toe. Uit de tabel blijkt dan dat bij een amplitude van 0,32 mm het geluidsniveau 80 dB is.

Gehoorgeschediging

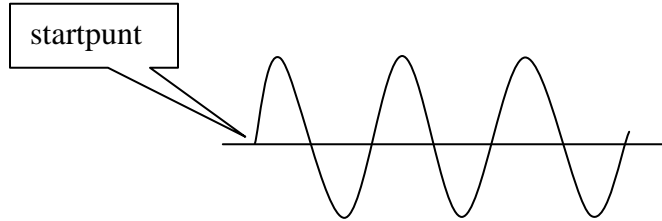
Als iemand enige tijd wordt blootgesteld aan geluid met een hoog geluidsniveau (hoger dan 85 dB), dan loopt die persoon kans op een gehoorgeschediging. Bij een popconcert worden bijvoorbeeld niveaus tussen de 90 dB en 115 dB bereikt. In discotheken kan het niveau oplopen tot 100 dB.

Hoe hoger het geluidsniveau is en hoe langer de tijdsduur is, des te groter de kans op schade is. Globaal geldt dat als het geluidsniveau 3 dB hoger wordt, de tijdsduur gehalveerd moet worden om dezelfde schade te veroorzaken. Bijvoorbeeld zal 90 dB in 8 uur dezelfde schade geven als 93 dB in 4 uur en ook als 96 dB in 2 uur.

Opgaven bij § 5

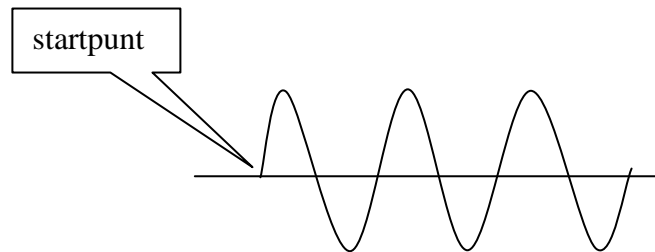
Opgave 1

Hieronder staat een zuivere toon afgebeeld. Teken in dezelfde figuur een lagere toon, die even hard (= luid) is. Begin bij hetzelfde startpunt.



Opgave 2

Hieronder staat een zuivere toon afgebeeld. Teken in dezelfde figuur een zachtere (= minder luide) toon, die even hoog is. Begin bij hetzelfde startpunt.



Opgave 3

In welke eenheid wordt het geluidsniveau uitgedrukt?

Opgave 4

Hoeveel dB hoort bij de gehoordrempel en hoeveel dB hoort bij de pijngrens?

Opgave 5

Hoeveel dB hoort bij een betonboor op 1 m afstand?

Opgave 6

Een geluidsbron trilt met een amplitude van 0,07 mm en veroorzaakt op een bepaalde plaats een geluidsniveau van 70 dB. Bepaal hoe groot het geluidsniveau op die plaats is bij een amplitude van 0,14 mm.

Opgave 7

Een geluidsbron trilt met een amplitude van 0,02 mm en veroorzaakt op een bepaalde plaats een geluidsniveau van 75 dB. Bereken hoe groot het geluidsniveau op die plaats is bij een amplitude van 0,64 mm.

Opgave 8

Een luidspreker bevindt zich in een kamer. De conus trilt met een amplitude van 1,6 mm. Het geluidsniveau in het midden van de kamer bedraagt 90 dB. Bereken hoe groot de amplitude van de trilling is bij een geluidsniveau van 48 dB.

Opgave 9

Een zeeschip midden op de oceaan heeft een kapotte generator. Deze generator bevindt zich in de machinekamer en moet gerepareerd worden. Het geluidsniveau in de machinekamer bedraagt 118 dB. Jan moet de generator maken. Zonder oorkappen mag hij maximaal 1 minuut in de machinekamer zijn om gehoorbeschadiging te voorkomen. Jan is echter zo verstandig om met oorkappen de machinekamer in te gaan. Deze oorkappen geven (voor de in de machinekamer aanwezige tonen) een niveaudaling van 24 dB. Bereken hoeveel minuten Jan met oorkappen in de machinekamer mag blijven.

§ 6 Geluidssnelheid

Geluidssnelheden van enige stoffen

Als een geluidsbron in een stof (zoals lucht of water) geluid opwekt, dan bewegen de verdichtingen en verdunningen zich van de geluidsbron af.

De geluidssnelheid geeft aan hoe snel de verdichtingen en verdunningen zich door de stof verplaatsen.

De geluidssnelheid verschilt van stof tot stof. In de onderstaande tabellen staan de geluidssnelheden van enige gassen, vloeistoffen en vaste stoffen.

gassen of dampen	
stof	geluidssnelheid (m/s)
helium	965
koolstofdioxide	259
lucht (20 °C)	343
methaan	430

vloeistoffen	
stof	geluidssnelheid (m/s)
alcohol	1170
glycerol	1904
water	1484
kwik	1450

vaste stoffen	
stof	geluidssnelheid (m/s)
aluminium	6420
koper	5010
rubber	50
ijzer (staal)	5960

In grote lijnen kun je zeggen dat de geluidssnelheid in gassen het kleinst is en in vaste stoffen het grootst. Het is handig om de geluidssnelheid van lucht (343 m/s bij 20 °C) te onthouden.

Invloed van de samendrukbaarheid op de geluidssnelheid

De geluidssnelheid hangt onder andere van de samendrukbaarheid van de stof af. Hoe gemakkelijker de stof samen te drukken is, des te kleiner de geluidssnelheid is.

Gassen zijn in vergelijking tot vloeistoffen en vaste stoffen gemakkelijk samendrukbaar. Daarom is de geluidssnelheid in gassen klein. Omgekeerd zijn vaste stoffen erg moeilijk samendrukbaar (nog moeilijker dan vloeistoffen). Daarom hebben deze juist een grote geluidssnelheid. Een uitzondering hierop vormt rubber. Rubber is namelijk makkelijk samendrukbaar en heeft dus een kleine geluidssnelheid.

Het bovenstaande kan aannemelijk gemaakt worden door het proefje met de spiraalveer zoals beschreven is in paragraaf 3 te herhalen maar dan met andere spiraalveren. De verstoring zal bijvoorbeeld door de slappe veer langzamer bewegen dan door een stugge veer.

Opmerkingen

- ◆ De geluidssnelheid is niet afhankelijk van de frequentie van de trillingen. Zo zullen bijvoorbeeld hoge tonen even snel door een stof gaan als lage tonen.
- ◆ Naast de samendrukbaarheid heeft ook de dichtheid invloed op de geluidssnelheid. Hoe zwaarder de stof is, des te kleiner de geluidssnelheid is. Dit valt echter buiten de lesstof.

Afgelegde afstand door geluid

Als iemand een pistool afschiet, zal er korte tijd een hoge luchtdruk rond het pistool heersen (verdichting van de lucht). Deze verstoring van de lucht beweegt van het pistool af met een snelheid van 343 m/s (zie de bovenstaande tabel met geluidssnelheden). Na 1 seconde heeft het geluid 343 m afgelegd. Na 2 seconde heeft het geluid 686 m afgelegd enzovoort. De afstand, die het geluid heeft afgelegd, kan met de volgende formule berekend worden.

$$s = v \times t$$

Deze formule kan in twee andere vormen geschreven worden namelijk:

$$v = \frac{s}{t} \quad \text{en} \quad t = \frac{s}{v}$$

De betekenis van de symbolen s, v en t is in de onderstaande tabel weergegeven.

grootheid	eenheid
s = afgelegde afstand	m = meter
v = geluidssnelheid	m/s = meter per seconde
t = tijdsduur	s = seconde

De letter s is afkomstig van het Latijnse woord “spatium” wat afstand betekent. De letter v is afkomstig van het Engelse woord “velocity” wat snelheid betekent.

Rekenvoorbeeld 1

Klaas ziet dat in de verte een betonnen paal in de grond wordt geheid. Dit gebeurt met behulp van kleine ontploffinkjes. Elk ontploffinkje hoort Klaas 1,3 s later dan dat hij het ziet. Dat komt doordat het geluid tijd nodig heeft om zijn oren te bereiken terwijl het lichtsignaal (bijna) direct zijn ogen bereikt. Bereken de afstand tussen de heipaal en Klaas.

Schematisch kan deze opgave als volgt worden opgelost.

gegeven: $v = 343 \text{ m/s}$
 $t = 1,3 \text{ s}$

gevraagd: s

oplossing: $s = v \cdot t = 343 \text{ m/s} \cdot 1,3 \text{ s} = 446 \text{ m}$

Rekenvoorbeeld 2

Ron legt zijn oor op de rails en hoort een trein aankomen. De trein is 2 kilometer van Ron verwijderd. Bereken hoeveel tijd het geluid nodig heeft om van de trein naar Rons oor te gaan (door het staal).

Schematisch kan deze opgave als volgt worden opgelost.

gegeven: $s = 2 \text{ km} = 2000 \text{ m}$

$v = 5960 \text{ m/s}$

gevraagd: t

oplossing: $t = \frac{s}{v} = \frac{2000 \text{ m}}{5960 \text{ m/s}} = 0,336 \text{ s}$

Opgaven bij § 6

Opgave 1

In het algemeen kun je zeggen dat het geluid in _____ het langzaamst gaat en in _____ het snelst. Vul in: vaste stoffen, vloeistoffen of gassen.

Opgave 2

Als een stof makkelijk samen te drukken is, dan zal de geluidssnelheid in deze stof _____ (vul in: groot of klein) zijn.

Opgave 3

Men meet de geluidssnelheid in slagroom. Zal deze groot of klein zijn? Leg je antwoord uit.

Opgave 4

Jan roept iets naar Klaas, die 20 m verderop staat. Vergeleken met lage tonen hebben hoge tonen _____ tijd nodig om van Jan naar Klaas te gaan. Kies hierbij uit 'meer', 'minder' of 'evenveel'.

Opgave 5

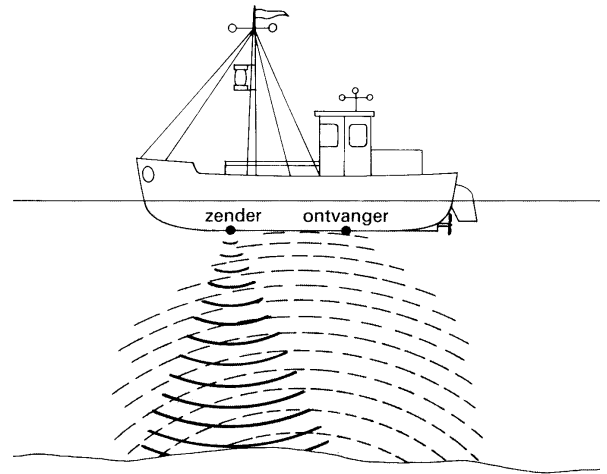
Je staat op een afstand van 1 km van een tankwagen. Plotseling explodeert de tankwagen. Bereken hoelang het duurt voordat je een explosie hoort.

Opgave 6

Een grote maatcilinder is gevuld met siliconenolie. Onderin de maatcilinder plaatst men een luidspreker en bovenin een microfoon. De afstand tussen luidspreker en microfoon bedraagt 45 cm en het geluid doet hier 0,57 ms over (ms = milliseconde). Bereken de geluidssnelheid in siliconenolie.

Opgave 7

Een schip vaart op de Niger. De kapitein is bang voor zandbanken en zet de dieptemeter aan. Deze zendt in het water kortdurende geluidspulsjes uit. Deze pulsjes worden tegen de bodem van de rivier weerkaatst en daarna weer opgevangen door een ontvanger. Zie de figuur hiernaast. De dieptemeter meet de tijdsduur tussen het uitzenden en ontvangen van de pulsjes en rekent deze om naar diepte. Bereken nu de diepte van de Niger als er 0,032 s tussen het uitzenden en ontvangen van de pulsjes zit. Neem voor het gemak aan dat de zender en ontvanger vlak onder het wateroppervlak zitten.



Opgave 8

Een spiraalveer is 1,8 m lang en heeft de uiteinden A en B. De veer wordt bij uiteinde A kortdurend ingedrukt. Hierdoor ontstaat er een verdichting in de veer. Deze verdichting verplaatst zich door de veer met een snelheid van 0,6 m/s. Als de verdichting bij uiteinde B aankomt, wordt deze teruggekaatst. Bereken nu de tijdsduur tussen en uitzenden en ontvangen van de verdichting (bij A).

Opgave 9

In de verte onweert het. Omschrijf een eenvoudige manier om te bepalen hoever het onweer van je verwijderd is.

§ 7 Dopplereffect

Geluidsbron die naar je toe komt of van je af beweegt

Stel dat je langs de kant van een weg staat en er komt met grote snelheid een toeterende auto aanrijden. Dan hoor je de toon opeens lager worden op het moment dat de auto je passeert. Dit verschijnsel heet het dopplereffect.

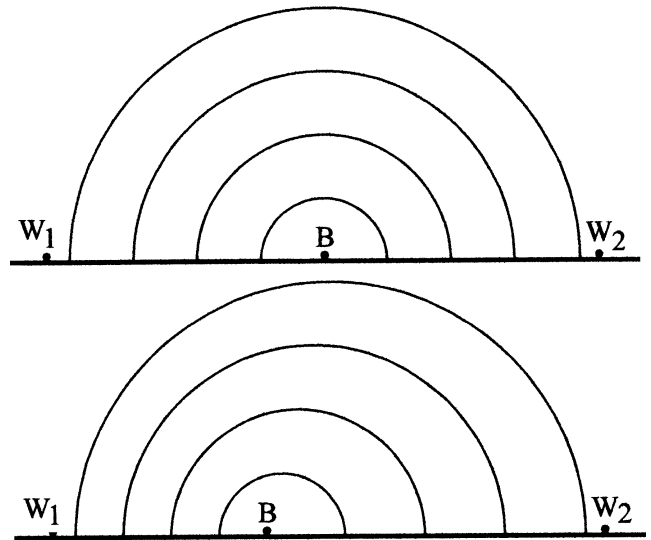
Het dopplereffect komt op het volgende neer.

Als de afstand tussen de geluidsbron en de waarnemer kleiner wordt, is de waargenomen toon hoger dan de toon die de bron uitzendt.

Als de afstand tussen de geluidsbron en de waarnemer groter wordt, is de waargenomen toon lager dan de toon die de bron uitzendt.

Verklaring van het dopplereffect (bij stilstaande waarnemers)

In de figuren hiernaast bevindt een toeterende auto zich op een weg. De auto wordt met B aangeduid (B van bron). Twee waarnemers W_1 en W_2 staan langs de kant van de weg en horen de toon, die door B wordt uitgezonden. In de bovenste figuur staat de auto stil; in de onderste figuur rijdt de auto met een constante snelheid naar links.



De door B uitgezonden geluidsgolven worden in de figuren als (halve) cirkels voorgesteld. De cirkels stellen de plaatsen voor waarbij de lucht maximaal verdicht (= ingedrukt) is. Uiteraard geven de figuren de situatie op slechts één tijdstip weer.

In de bovenste figuur hebben alle cirkels hetzelfde middelpunt namelijk de plaats van B. In de onderste figuur liggen de middelpunten van de binnenste cirkels verder naar links. Dat komt doordat de bijbehorende verdichtingen later opgewekt zijn en de auto naar links rijdt.

In de bovenste figuur nemen waarnemers W_1 en W_2 dezelfde toon waar als die door de bron wordt uitgezonden. In vergelijking met de bovenste figuur neemt W_1 in de onderste figuur een hogere toon waar. Dat komt, doordat de verdichtingen, die zich in de richting van W_1 verplaatsen, dichter bij elkaar liggen. Het gevolg is, dat de verdichtingen en verdunningen, die W_1 bereiken, elkaar sneller afwisselen. De frequentie is dan dus groter. Op dezelfde manier kan worden uitgelegd, dat de frequentie bij W_2 in de onderste figuur lager is.

Formules voor het dopplereffect (bij een stilstaande waarnemer)

Als een geluidsbron naar een (stilstaande) waarnemer toe beweegt, is de waargenomen frequentie hoger dan de frequentie waarmee de bron trilt. Als

- f_w = frequentie van de toon die wordt waargenomen
 - f_b = frequentie waarmee de bron trilt
 - v = snelheid van geluid
 - v_b = snelheid waarmee de geluidsbron naar de waarnemer toe beweegt
- dan kan de waargenomen frequentie met de volgende formule berekend worden.

$$f_w = f_b \frac{v}{v - v_b}$$

Als de geluidsbron juist van de waarnemer af beweegt, ligt de waargenomen frequentie lager dan de uitgezonden frequentie. De waargenomen frequentie kan dan met de volgende formule berekend worden.

$$f_w = f_b \frac{v}{v + v_b}$$

Voorbeeld

Een gestoorde vrouw staat op de treinrails te kijken naar een naderende locomotief. Deze rijdt met een snelheid van 144 kilometer per uur. Dat is gelijk aan 40 meter per seconde. De machinist waarschuwt de vrouw door te toeteren. De toeter trilt met een frequentie van 250 Hz. Bereken met welke frequentie de vrouw het geluidssignaal hoort.

Uitwerking

Gegeven: $v_b = 40$ m/s
 $f_b = 250$ Hz
 $v = 343$ m/s (zie de tabel in het voorgaande; geldt alleen bij 20 °C)

Gevraagd: f_w

Oplossing: $f_w = f_b \cdot \frac{v}{v - v_b} = 250 \cdot \frac{343}{343 - 40} = 283$ Hz

Voorbeeld

De gestoorde vrouw uit het vorige voorbeeld gaat snel tussen de spoorstaven op de bielzen liggen. De locomotief rijdt over haar heen zonder de vrouw te raken. De machinist is dusdanig in de war geraakt dat hij nog steeds blijft toeteren en ook niet remt of heeft geremd. Bereken met welke frequentie de vrouw het geluidsignaal hoort na het “passeren” van de locomotief.

Uitwerking

Gegeven: $v_b = 40 \text{ m/s}$
 $f_b = 250 \text{ Hz}$
 $v = 343 \text{ m/s}$ (bij $20 \text{ }^\circ\text{C}$)

Gevraagd: f_w

$$\text{Oplossing: } f_w = f_b \cdot \frac{v}{v + v_b} = 250 \cdot \frac{343}{343 + 40} = 224 \text{ Hz}$$

Voorbeeld van een iets moeilijkere opgave

Een toeterende auto rijdt met een bepaalde snelheid in de richting van Nico. De claxon trilt met een frequentie van 400 Hz. Nico neemt een frequentie waar van 410 Hz. De geluidssnelheid bedraagt 332 m/s (bij een temperatuur van $0 \text{ }^\circ\text{C}$). Bereken de snelheid van de auto.

Gegeven: $f_b = 400 \text{ Hz}$
 $f_w = 410 \text{ Hz}$
 $v = 332 \text{ m/s}$

Gevraagd: v_b

Oplossing:

$$\begin{aligned} f_w &= f_b \cdot v / (v - v_b) \\ 410 &= 400 \cdot 332 / (332 - v_b) \\ 410 &= 132800 / (332 - v_b) \\ 1 / 410 &= (332 - v_b) / 132800 && \leftarrow \text{toelichting 1} \\ 324 &= 332 - v_b && \leftarrow \text{toelichting 2} \\ v_b &= 8 \text{ m/s} (= 29 \text{ km/h}) \end{aligned}$$

Toelichting 1: Van zowel het linker als het rechter lid de teller en de noemer verwisseld.

Toelichting 2: Zowel het linker als het rechter lid vermenigvuldigd met 132800.

Opgaven bij § 7

Opgave 1

Wat verstaan we onder het dopplereffect?

Opgave 2

Een stemvork trilt met een frequentie van 500 Hz. Jan luistert naar de toon van de stemvork. Zowel de stemvork als Jan zijn in rust. De temperatuur is 20 °C. Welke frequentie heeft de waargenomen toon?

Opgave 3

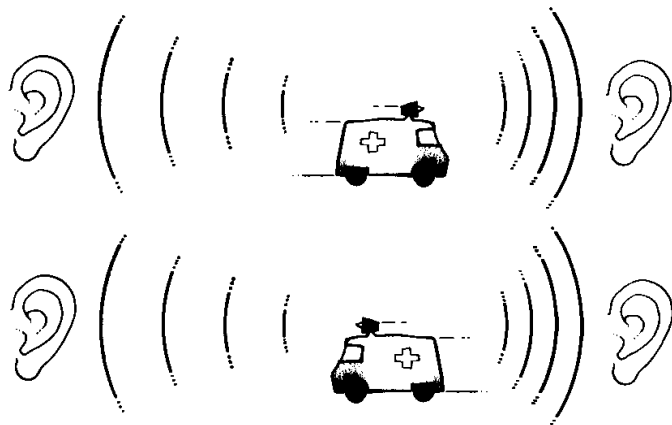
Een stemvork trilt met een frequentie van 500 Hz. Jan luistert naar de toon van de stemvork. Jan is in rust. De stemvork wordt met een snelheid van 15 m/s naar Jan toe bewogen. De temperatuur is 20 °C. Bereken de frequentie van de waargenomen toon.

Opgave 4

Een stemvork trilt met een frequentie van 500 Hz. Jan luistert naar de toon van de stemvork. Jan is in rust. De stemvork wordt met een snelheid van 15 m/s van Jan af bewogen. De temperatuur is 20 °C. Bereken de frequentie van de waargenomen toon.

Opgave 5

In de figuren hiernaast rijdt een ambulance met grote snelheid en met werkende sirene over de weg. Ook zijn in de figuren de geluidsgolven (verdichtingen) getekend. Welke van de twee figuren is juist en welke is onjuist?



Opgave 6

Een toeterende auto rijdt met een snelheid van 45 m/s in de richting van Nico. Nico neemt een frequentie waar van 600 Hz. De temperatuur is 20 °C. Bereken de frequentie waarmee de claxon trilt.

Opgave 7

Carel staat langs een weg waar motorraces gehouden worden. Een motor rijdt rakelings langs Carel. Na het passeren hoort Carel een lager motorgeluid dan vóór het passeren. De waargenomen frequenties na het passeren bedragen 85% van de frequenties die door de motor zijn opgewekt. Bereken de snelheid van de motor als verder nog gegeven is dat de geluidssnelheid 350 m/s is (het is warm weer).