

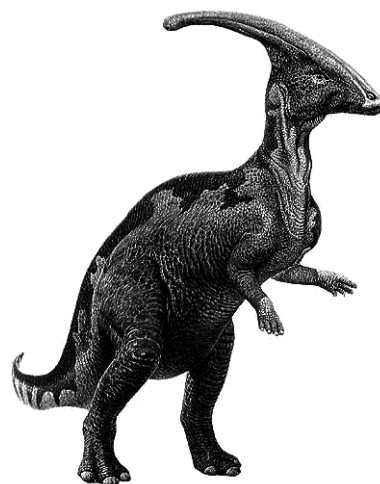
Opgave 1 Parasaurolophus

Hoewel er van dinosauriërs vrij veel bekend is, weten we van de meeste dino's weinig over het geluid dat ze maakten.

Een uitzondering hierop is de Parasaurolophus. Deze dino was in het bezit van een grote hoorn boven op de schedel. Zie figuur 1.

Deze hoorn diende als klankkast om het geluid te versterken.

figuur 1



- 1p 1 Op welk natuurkundig verschijnsel is dit gebaseerd?

Bij een volwassen mannetje is de hoorn 1,8 m lang. Eén uiteinde van deze hoorn is open, het andere uiteinde is gesloten. De luchttemperatuur in de hoorn is 20 °C.

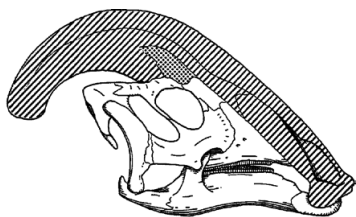
- 3p 2 Toon met een berekening aan dat de grondtoon die de dino met deze hoorn kon laten horen een frequentie had van 48 Hz.

Onderzoek heeft uitgewezen dat een mannelijke Parasaurolophus een toon kon produceren met een frequentie van $2,4 \cdot 10^2$ Hz. Dit is een boventoon van de grondtoon van 48 Hz.

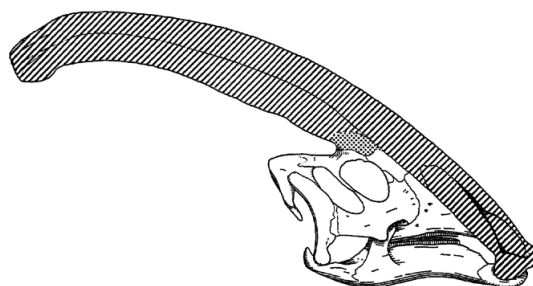
- 3p 3 Beredeneer of dit de eerste, de tweede, de derde, de vierde of de vijfde boventoon is.

De vrouwelijke Parasaurolophus had ook een hoorn. Deze hoorn was korter dan die van een mannelijk exemplaar.

figuur 2



hoorn vrouwelijke Parasaurolophus



hoorn mannelijke Parasaurolophus

- 2p 4 Leg uit of de grondtoon van een vrouwelijke Parasaurolophus hoger, lager of even hoog was als die van een mannelijk dier.

De dieren communiceerden met elkaar over grote afstanden. Het geluid dat zij daarbij maakten, passeerde veel bomen. Als een boom smaller is dan de golflengte van het geproduceerde geluid, kan het geluid de boom passeren.

- 3p 5 Beredeneer of voor deze dieren de grondtoon of juist de boventonen het meest geschikt waren om in bossen te communiceren.

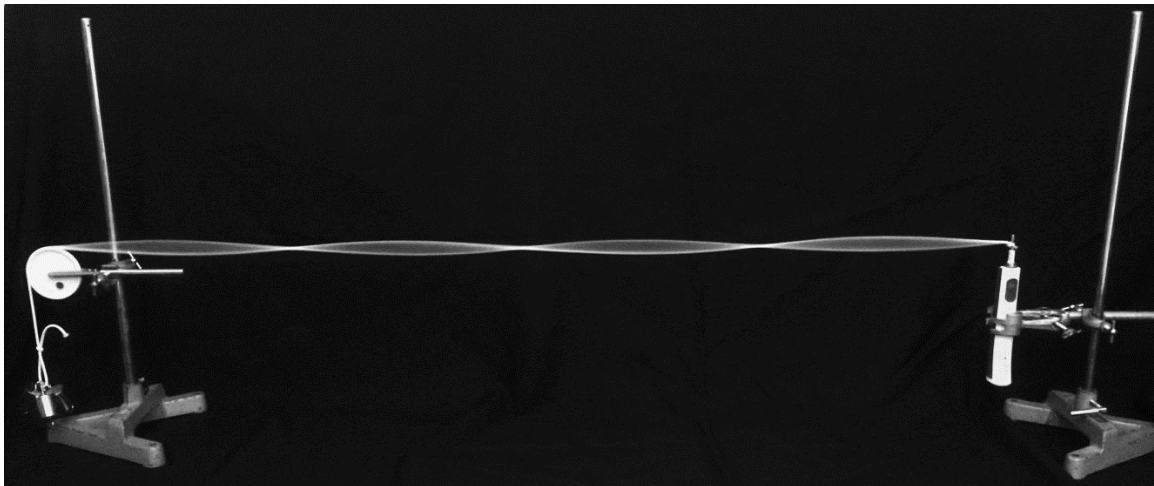
Elektrische tandenborstel

Figuur 1 is een foto van een elektrische tandenborstel. Hierin is een trilmechanisme verwerkt. Ludo wil de frequentie waarmee dit trilmechanisme trilt bepalen. Hij bouwt hiertoe de opstelling zoals weergegeven in figuur 2. De tandenborstel is hier in een statief geklemd en het borsteltje is verwijderd. Aan het trillende deel van het apparaat is een koord bevestigd, dat over een katrol is gelegd en strak wordt gehouden door het gewicht van een aantal blokjes met een totale massa m . Als Ludo de tandenborstel aanzet, kan er een staande golf ontstaan in het koord.

figuur 1



figuur 2



Ludo bepaalt voor een aantal waarden van m steeds de lengte L en het aantal buiken n . L is de afstand van de tandenborstel tot de katrol. Zijn meetresultaten staan in de tabel hieronder.

m (kg)	L (m)	n
0,100	1,26	9
0,200	1,50	6
0,300	1,44	5
0,400	1,62	5
0,500	1,43	4

Van de meetresultaten maakt Ludo de grafiek van figuur 3, waarin hij de golflengte λ uitzet tegen de spankracht F in het koord.

- 3p **13** Voer de volgende opdrachten uit:
- Laat met een berekening zien dat de waarden van de eerste meting ($m = 0,100 \text{ kg}$) juist in de grafiek zijn gezet.
 - Geef aan hoe uit de grafiek volgt dat er geen recht evenredig verband is tussen de golflengte en de spankracht.

Voor de voortplantingssnelheid van een transversale golf in een koord geldt:

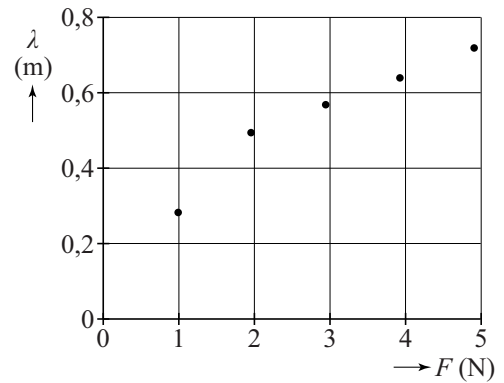
$$v = \sqrt{\frac{F}{\rho_\ell}}$$

Hierin is:

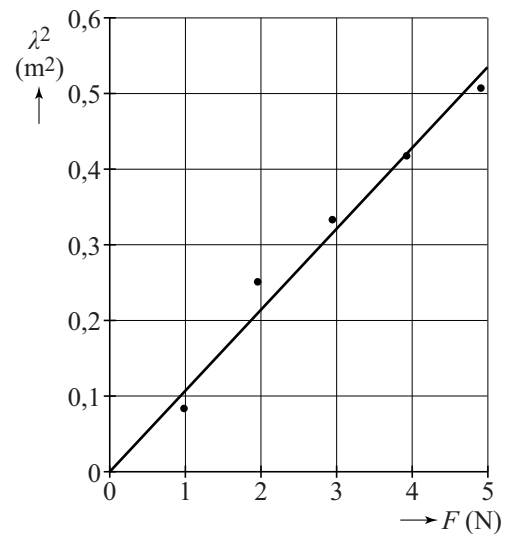
- v de voortplantingssnelheid (in m s^{-1});
- F de spankracht (in N);
- ρ_ℓ de lineaire massadichtheid van het koord (in kg m^{-1}).

Voor de verdere verwerking van zijn meetresultaten maakt Ludo een grafiek waarbij hij λ^2 uitzet tegen de spankracht F . Daarna trekt hij een rechte lijn, die zo goed mogelijk door de punten gaat. Het resultaat is in figuur 4 weergegeven. Met behulp van de rechte lijn bepaalt hij de frequentie van het trilmechanisme van de elektrische tandenborstel.

figuur 3



figuur 4



- 1p **14** Waarom is het nauwkeuriger om de rechte lijn te gebruiken dan één van de meetpunten?

Het koord heeft een lineaire massadichtheid van $1,24 \cdot 10^{-4} \text{ kg m}^{-1}$.

- 4p **15** Voer de volgende opdrachten uit:
- Leid onder andere met de gegeven formule af, dat de steilheid van de (λ^2, F) -grafiek gelijk is aan $\frac{1}{\rho_\ell f^2}$.
 - Bepaal met behulp van deze steilheid de frequentie van het trilmechanisme van de elektrische tandenborstel die uit deze metingen volgt.

Ludo wil bij dezelfde frequentie minder knopen en buiken laten ontstaan in dit koord.

- 2p **16** Noem twee grootheden die Ludo daartoe kan aanpassen en geef van beide grootheden apart aan of die groter of kleiner moeten worden.

Opgave 4 Getijdenresonantie

Op sommige plekken op aarde is het verschil tussen eb en vloed zeer groot. De plaats Saint John aan de Fundybaai in Canada is zo'n plaats. De waterhoogte in Saint John is gedurende één etmaal gemeten. Op de uitwerkbijlage staat een grafiek van deze metingen.

- 3p 14 Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de maximale stijgsnelheid van het water in Saint John in centimeter per minuut.

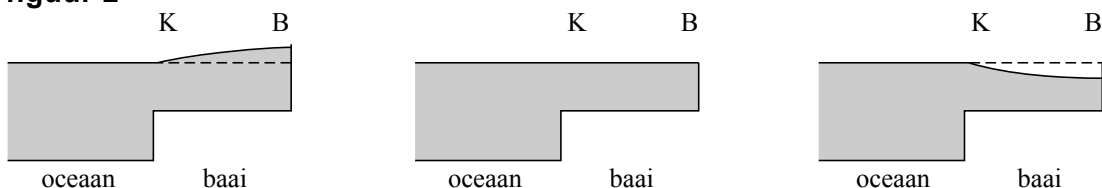
De 325 km lange Fundybaai waaraan Saint John ligt, is weergegeven in figuur 1.

figuur 1



Door zijn vorm en afmetingen ontstaat in de Fundybaai een staande golf. Deze is in figuur 2 in zijaanzicht op drie momenten schematisch weergegeven. Figuur 2 laat ook zien dat de baai minder diep is dan de oceaan.

figuur 2



- 3p 15 Schets in de figuur op de uitwerkbijlage de waterhoogte bij Cumberland County, aan het einde van de baai, als functie van de tijd.

De golflengte van de staande golf is gelijk aan 4 maal de baailengte.

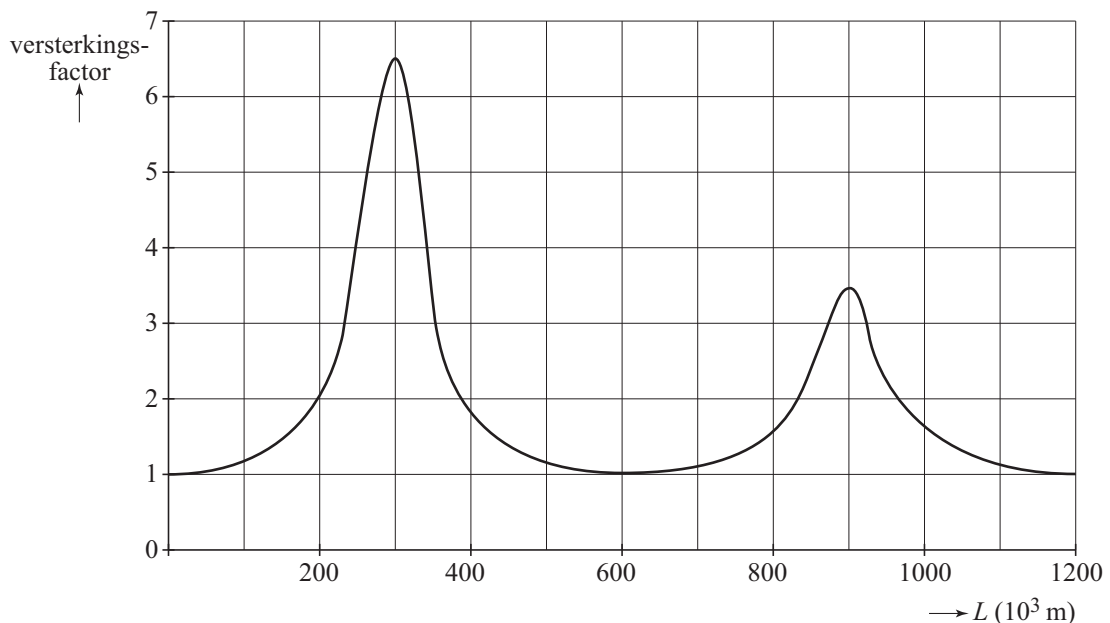
- 2p 16 Leg uit hoe dit blijkt uit figuur 2.

Het verschijnsel dat optreedt in de Fundybaai heet ‘getijdenresonantie’. Dit verschijnsel treedt op meerdere plaatsen op aarde op. In een waterloopkundig laboratorium bestuderen wetenschappers met behulp van een computermodel de voorwaarden waaronder getijdenresonantie plaats kan vinden. Bij getijdenresonantie is er sprake van een grote versterkingsfactor. De versterkingsfactor definieert men als:

$$\text{versterkingsfactor} = \frac{\text{maximale hoogteverschil in de baai}}{\text{hoogteverschil buiten de baai}}$$

De golfsnelheid in de baai hangt af van de diepte van de baai. Een van de modellen levert voor een baai met een diepte gelijk aan de diepte van de Fundybaai de volgende grafiek van de versterkingsfactor als functie van de baailengte L . Zie figuur 3.

figuur 3



Je ziet dat hier maximale getijdenresonantie optreedt bij een baailengte van 300 km.

3p **17** Bepaal welke waarde voor de golfsnelheid gebruikt is in dit model.

Figuur 3 laat zien dat bij een baailengte van 900 km de versterkingsfactor ook hoog is.

2p **18** Verklaar dit.

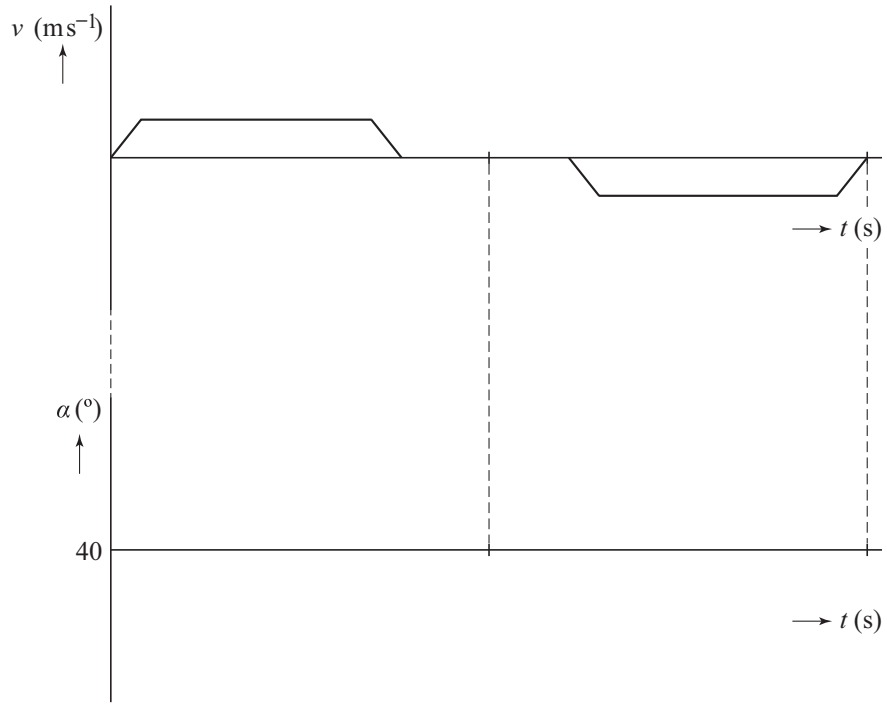
De werkelijke lengte van de Fundybaai bedraagt 325 km.

Door klimaatverandering kan de zeespiegel gaan stijgen.

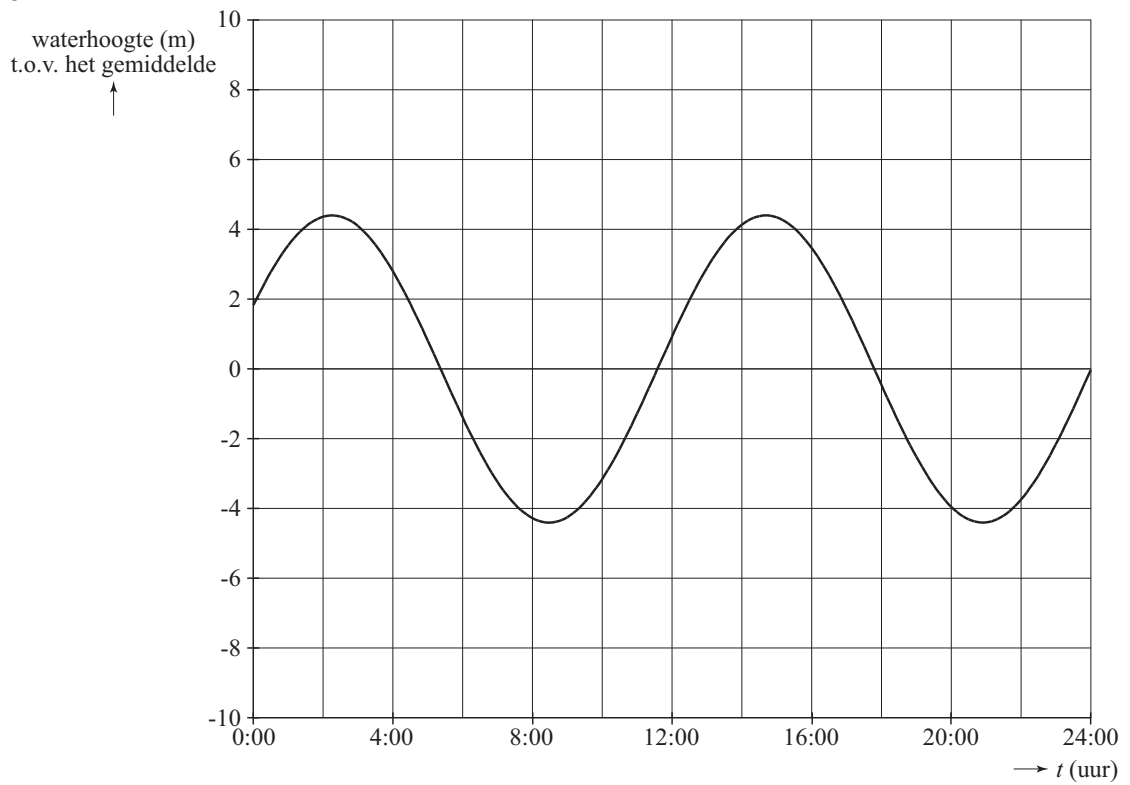
Hierdoor wordt de voortplantingssnelheid in de baai groter, waardoor de maxima in figuur 3 verschuiven. Bewoners aan de Fundybaai maken zich ongerust dat ze hierdoor te maken krijgen met een nog groter getijdenverschil.

3p **19** Leg uit of de bewoners aan de baai zich terecht ongerust maken.

8



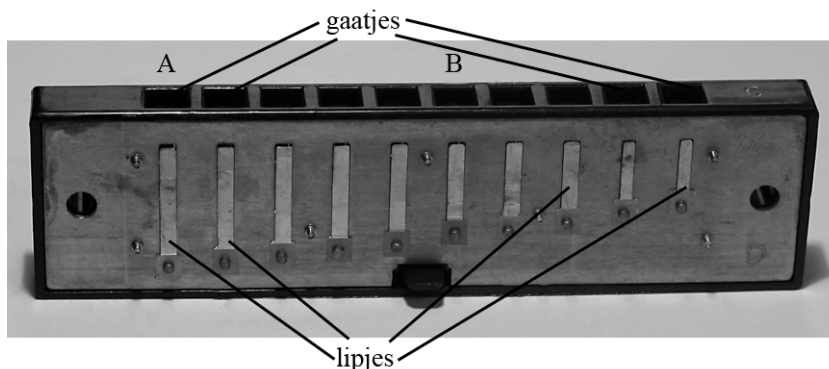
14, 15 en 17



Opgave 1 Mondharmonica

Van een mondharmonica is de beschermkap weggehaald. Zie figuur 1.

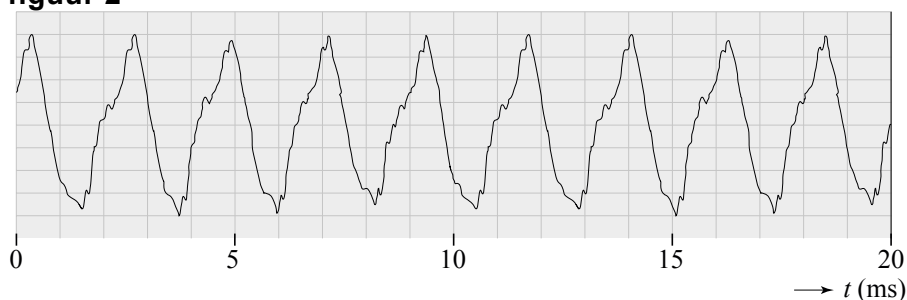
figuur 1



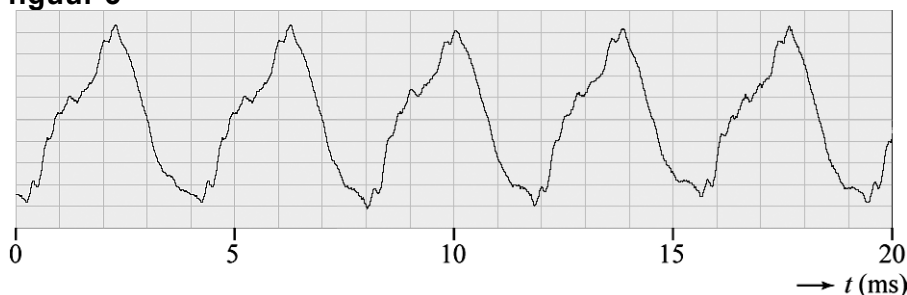
Deze mondharmonica heeft tien gaatjes. Onder elk gaatje zit een metalen lipje. Als een speler lucht door een gaatje blaast, ontstaat in het lipje onder dat gaatje een staande golf. Het lipje trilt dan in de grondtoon. De lipjes onder de gaatjes A en B zijn even dik en even breed.

Met behulp van een microfoon en een computer zijn twee opnames gemaakt van het geluid, een bij het blazen in gat A en een bij het blazen in gat B. In figuur 2 en 3 zie je het resultaat van de opnames. Elke opname duurde 20 ms.

figuur 2



figuur 3



3p 1 Leg uit welke van deze figuren correspondeert met gat A.

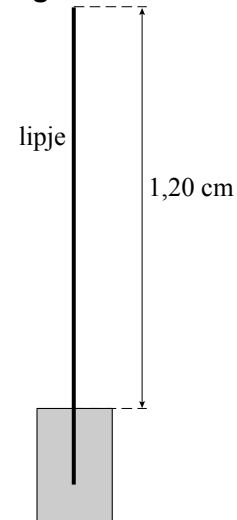
- 3p **2** Bepaal welke toon in figuur 2 weergegeven is. Gebruik tabel 15C van Binas. Geef je antwoord met een letter en een cijfer zoals dat voorkomt in tabel 15C.

Een lipje is een dun koperen stripje dat aan één kant is vastgemaakt. Het andere uiteinde kan vrij trillen. Een zijaanzicht van een lipje zie je in figuur 4.

Als het lipje van figuur 4 in de grondtoon trilt, ontstaat een toon van 392 Hz.

- 3p **3** Bereken de voortplantingssnelheid van de golven in het lipje.

figuur 4



Naast de grondtoon gaat het lipje (zeker bij hard blazen) ook trillen in de eerste boventoon. Figuur 4 staat ook op de uitwerkbijlage.

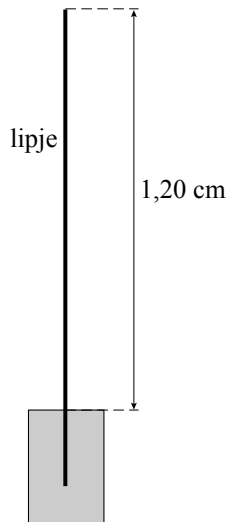
- 2p **4** Geef in de figuur op de uitwerkbijlage de plaatsen aan van de buiken en de knopen in het lipje als het trilt in de eerste boventoon.

uitwerkbijlage

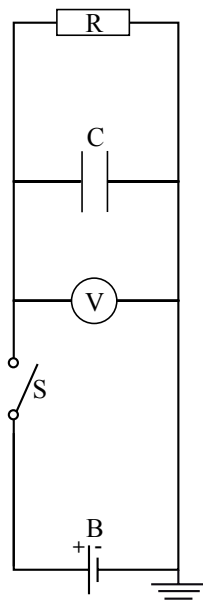
Naam kandidaat _____

Kandidaatnummer _____

4



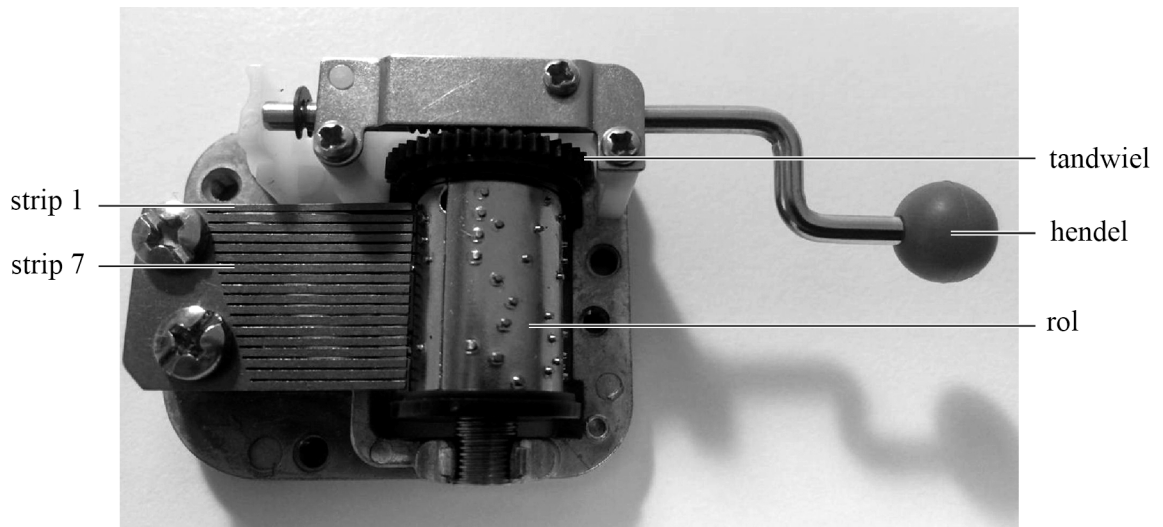
5



Speeldoosje

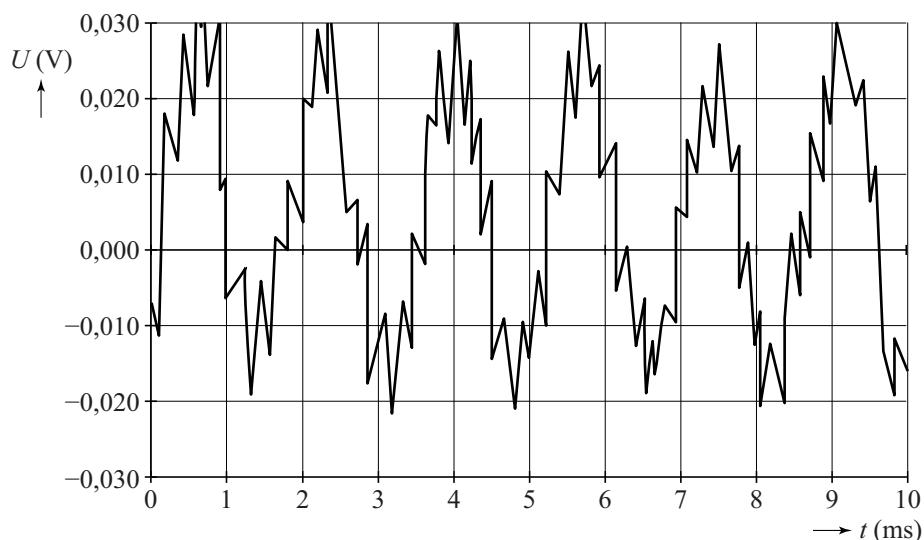
In figuur 1 staat een speeldoosje weergegeven.

figuur 1



Via een hendel en een tandwielconstructie kan een rol in beweging worden gebracht. Op deze rol zijn puntjes aangebracht die de uiteinden van de metalen strips optillen en loslaten. Elke strip heeft een andere lengte en brengt een andere toon voort. In figuur 2 staat de trilling geproduceerd door strip 1 weergegeven.

figuur 2



De grondfrequentie van de toon die strip 1 voortbrengt, is gelijk aan 0,59 kHz.

2p 17 Toon dat aan.

Strip 7 (zie figuur 1) brengt een toon voort met een grondfrequentie van 0,83 kHz.

3p **18** De golfsnelheden in strip 1 en strip 7 zijn niet gelijk aan elkaar.
Toon dit aan met behulp van een berekening.

De hendel van het speeldoosje kan langzamer of sneller worden rondgedraaid.

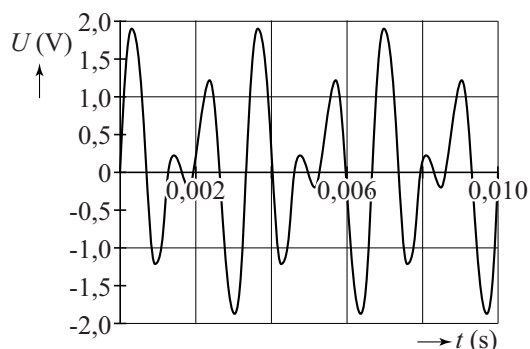
2p **19** Leg uit of de toonhoogte van de melodie lager wordt, gelijk blijft of hoger wordt, als de hendel sneller wordt rondgedraaid.

Opgave 3 Springdrum

In figuur 1 zie je een 'springdrum'. Een springdrum is een muziekinstrument. Een springdrum bestaat uit drie delen: een holle koker, een vel en een lange spiraalveer. Door de koker met de hand te schudden geeft de springdrum geluid.

Sandra wil graag meer te weten komen over de werking van de springdrum. Ze start haar onderzoek door het geluid van het instrument vast te leggen met een microfoon en een computer. Dit levert het trillingsdiagram uit figuur 2 op.

figuur 2



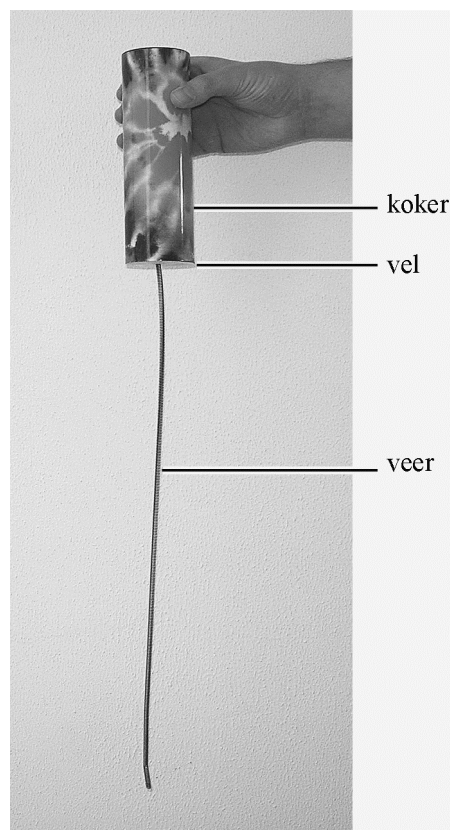
Uit deze figuur volgt dat de grondfrequentie van dit geluid $3,0 \cdot 10^2$ Hz is.

2p 12 Toon dat aan.

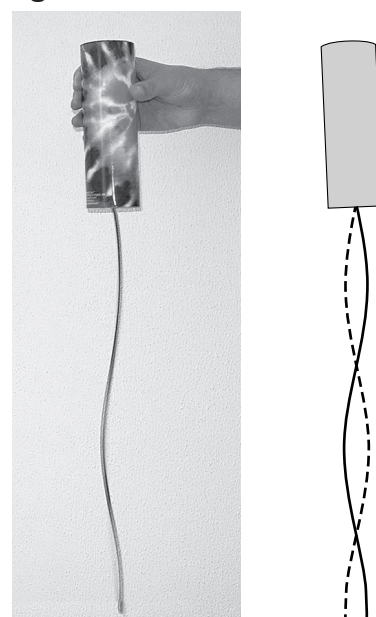
Sandra ziet dat tijdens het schudden van de springdrum een transversale staande golf ontstaat in de spiraalveer. Zie figuur 3. In de tekening rechts zijn de uiterste standen van de veer schematisch weergegeven. Sandra meet dat de snelheid van de transversale golf in de veer 2 ms^{-1} bedraagt. Ze stelt de hypothese dat de trilfrequentie van de veer gelijk is aan de grondfrequentie van het geluid dat de springdrum voortbrengt.

3p 13 Maak met behulp van figuur 3 een schatting van de golflengte in de veer en toon daarmee aan dat de hypothese van Sandra onjuist is.

figuur 1



figuur 3



Het blijkt dus dat de schudfrequentie (die de veer in trilling brengt) niet gelijk is aan de grondfrequentie van het geluid.

Dan bedenkt Sandra dat er tijdens het schudden van de koker ook een longitudinale golf in de veer ontstaat. Sandra denkt dat deze longitudinale golf het vel van de drum in trilling brengt.

- 1p **14** Geef een argument, waarom het logischer is dat een longitudinale golf in de veer het vel in trilling brengt dan een transversale golf.

In de veer ontstaan meerdere longitudinale golven overeenkomend met de grondtoon en een aantal boventonen. We gaan ervan uit dat bij het vlies een knoop zit. Eén van de boventonen in de veer komt overeen met de grondtoon van 300 Hz van de luchtkolom in de koker.

Voor de golfsnelheid v_L van een longitudinale golf in een veer geldt:

$$v_L = \ell \cdot \sqrt{\frac{C}{m}}$$

Hierin is:

- ℓ de lengte van de veer (in m);
- C de veerconstante (in N m^{-1});
- m de massa van de veer (in kg).

De veer heeft een massa van 15 g en is 46 cm lang en heeft een veerconstante van 128 N m^{-1} .

- 5p **15** Bereken met behulp van deze gegevens de hoeveelste boventoon van de longitudinale golf overeenkomt met de grondtoon van 300 Hz van de luchtkolom in de koker.
Bereken daartoe ook de golflengte van de longitudinale golf in de veer.

Een volwassene met een massa van 85 kg staat gedurende 1 minuut aan de buitenzijde van de muur. Zie figuur 3. Veronderstel dat men aan de buitenkant van deze muur een activiteit meet van 4 Bq per cm^2 . Hiermee bedoelt men dat er per cm^2 muuroppervlak 4 γ -deeltjes (van 1,0 MeV) per s worden doorgelaten.

figuur 3



Voor de equivalente dosis (het dosisequivalent) H geldt:

$$H = Q \frac{E}{m}$$

Hierin is:

- H de equivalente dosis (in Sv);
- Q de zogenoemde (stralings)weegfactor (kwaliteitsfactor); in dit geval geldt dat $Q = 1$;
- E de geabsorbeerde stralingsenergie (in J);
- m de massa van de bestraalde persoon (in kg).

- 5p 9 Laat met een berekening zien dat de equivalente dosis die deze persoon ontvangt ver onder de norm ligt die in Binas vermeld staat. Schat daartoe eerst het oppervlak van de man uit figuur 3 dat bestraald wordt en bereken hoeveel γ -deeltjes hem per seconde treffen.

Opgave 3 Xylofoon

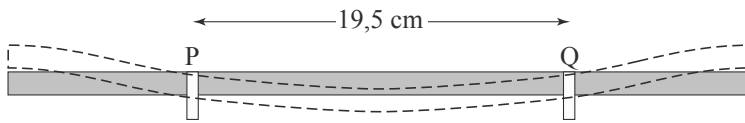
Een xylofoon is een muziekinstrument. Dit instrument bestaat uit een metalen frame, waarop houten klankstaven liggen die een toon voortbrengen als je er met xylofoonstokken op slaat. Onder de klankstaven hangen resonantiebuizen die het geluid versterken. Zie figuur 4.

figuur 4



Een van de klankstaven steunt op de plaatsen P en Q op het frame.
Zie figuur 5. Wanneer de klankstaaf in het midden wordt aangeslagen, ontstaat er in de staaf een staande transversale golf met knopen in de punten P en Q.

figuur 5

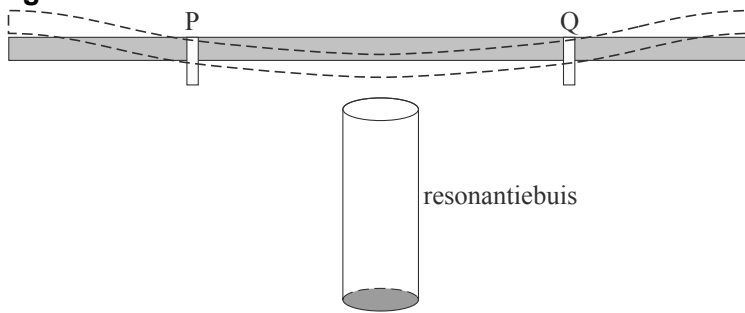


Deze klankstaaf brengt bij kamertemperatuur een toon voort met een frequentie van 440 Hz.

- 3p **10** Bereken de voortplantingssnelheid van de transversale golven in deze staaf.

De resonantiebuizen die onder de klankstaven hangen, zijn aan de bovenkant open en aan de onderkant gesloten. Zie figuur 6.

figuur 6



Na het aanslaan van een klankstaaf ontstaat in de lucht van de bijbehorende resonantiebuis een staande longitudinale golf met 1,3 cm boven de buis een buik. De resonantiefrequentie is gelijk aan de frequentie van de klankstaaf. De resonantiebuis brengt de grondtoon voort. De temperatuur is 20 °C.

- 3p **11** Bereken de lengte van de resonantiebuis die onder de klankstaaf van 440 Hz hangt.

Zonder de resonantiebuis geeft de klankstaaf op een bepaalde afstand een geluidsdrumniveau van 60 dB, mét resonantiebuis van 77 dB.

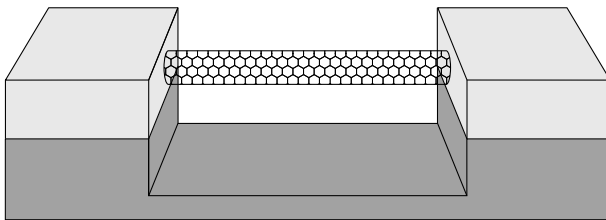
- 3p **12** Bereken de verhouding van de geluidsintensiteiten met en zonder resonantiebuis.

Protonenweegschaal?

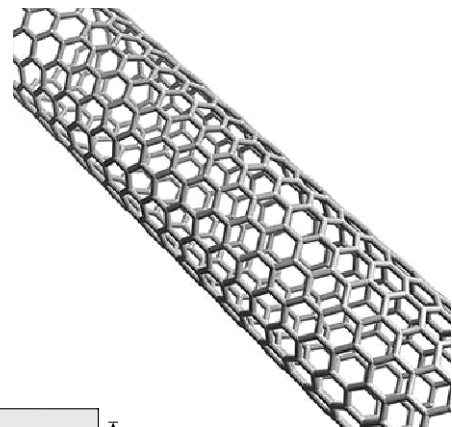
Onderzoekers beweren dat ze een ‘weegschaal’ hebben ontwikkeld, die een enkel proton kan wegen. De weegschaal bestaat uit een nanobuisje dat aan twee zijden is vastgeklemd en trilt als een staande golf. Zie figuur 1. Deze figuur is niet op schaal. Als een deeltje aan het buisje vasthecht, verandert de trillingstijd. Hieruit is de massa van dat deeltje te bepalen.

Het nanobuisje is opgebouwd uit koolstofatomen die in een honingraatstructuur zijn geordend. Zie figuur 2. De massa van het vastgeklemd nanobuisje bedraagt $6,2 \cdot 10^{-22}$ kg.

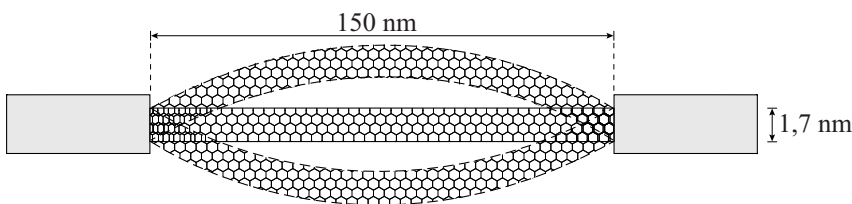
figuur 1



figuur 2



figuur 3



In figuur 3 staat de ‘weegschaal’ schematisch getekend met de bijbehorende afmetingen in de evenwichtsstand en de uiterste standen van de staande golf. Het buisje trilt met de grondfrequentie van 1,86 GHz.

3p 16 Bepaal de golfsnelheid in het nanobuisje.

Als één of meer deeltjes aan het nanobuisje vasthechten, verandert de resonantiefrequentie van het buisje. Voor de frequentieverandering stellen de onderzoekers de volgende formule op:

$$\Delta f = \frac{-\Delta m}{2m_{\text{nano}}} \cdot f_0$$

Hierin is:

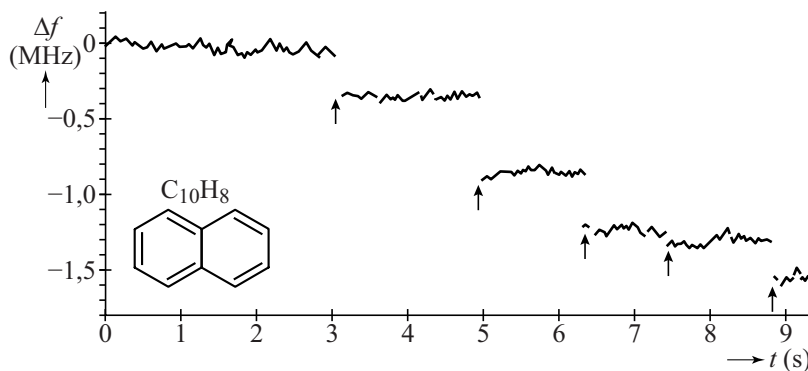
- f_0 grondfrequentie van het nanobuisje vóór vasthechten (in Hz);
- Δf de frequentieverandering ten opzichte van f_0 (in Hz);
- Δm de massa van de aangehechte deeltjes (in kg);
- m_{nano} de massa van het nanobuisje (in kg).

Uit de formule is op te maken dat de resonantiefrequentie afneemt als er één of meer deeltjes aan het nanobuisje vasthechten.

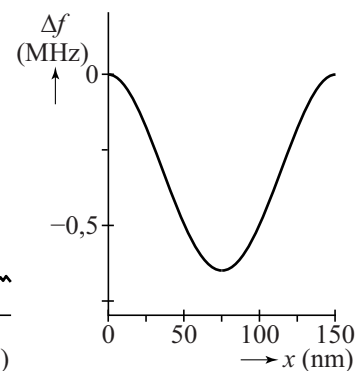
- 3p 17 Voer de volgende opdrachten uit:
- Geef aan hoe uit de gegeven formule volgt dat de resonantiefrequentie afneemt.
 - Leg uit of de golfsnelheid groter wordt, kleiner wordt of gelijk blijft als een deeltje vasthecht aan het nanobuisje.

Om de weegschaal te 'ijken' laat men eerst één molecuul en daarna meer moleculen naftaleen ($C_{10}H_8$) aan het buisje vasthechten. De massa van een molecuul naftaleen bedraagt 128 u. Gedurende een meettijd van ongeveer 10 seconde bepalen de onderzoekers een aantal keer per seconde Δf . De resultaten gaven zij weer in figuur 4. Met vijf pijlen zijn vijf momenten aangegeven waarop een extra naftaleenmolecuul vasthecht.

figuur 4



figuur 5



Op tijdstip $t = 8,8$ s zijn er in totaal 5 naftaleenmoleculen vastgehecht.

- 4p 18 Laat zien of op dit tijdstip de gemeten Δf overeenkomt met de Δf die uit de formule volgt.

In figuur 4 is te zien dat niet alle stapjes in Δf even groot zijn.

In figuur 5 staat de frequentieverandering Δf uitgezet tegen de positie x van één naftaleenmolecuul op het nanobuisje.

- 2p 19 Leg met behulp van figuur 5 uit waarom de stapjes van Δf in figuur 4 niet even groot zijn.

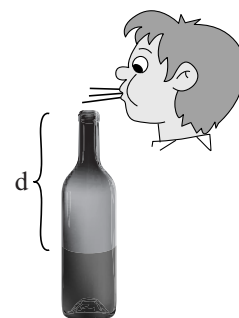
In figuur 4 is te zien dat de metingen van deze weegschaal 'ruis' hebben. Ruis is een continue (kleine) variatie in de waarden door meetonnauwkeurigheden. Zo is tot $t = 3$ s de waarde van Δf niet constant. Met deze 'weegschaal' willen de wetenschappers de massa bepalen van één enkel proton.

- 3p 20 Laat zien of de massa van één enkel proton met deze opstelling gemeten kan worden. Tip: bepaal hiertoe de nauwkeurigheid waarmee er gemeten moet worden om de massa van één enkel proton te kunnen bepalen.

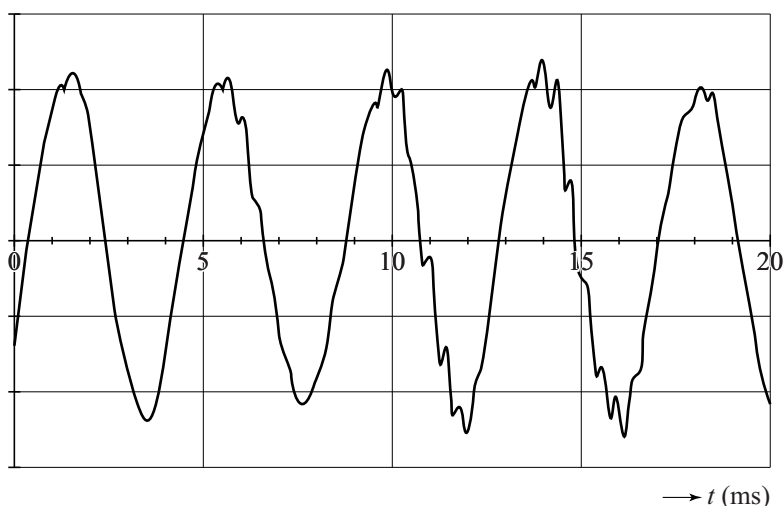
Onderzoek naar geluid uit een fles

Chiara en Michel doen onderzoek aan geluid uit een fles. Zij blazen lucht over de hals van een fles en horen geluid. De fles is gevuld met water tot een afstand d onder de flesopening. Zie figuur 1. Bij kamertemperatuur meten zij het geluid met een geluidssensor. Bij een afstand $d = 13,0$ cm vinden zij de grafiek van figuur 2.

figuur 1



figuur 2



Uit figuur 2 volgt dat de grondfrequentie van het geluid $2,4 \cdot 10^2$ Hz is.

2p 1 Toon dat aan.

Michel denkt dat dit geluid ontstaat doordat er in de fles een staande golf ontstaat met een knoop bij het wateroppervlak en een buik bij de flesopening. Met deze gegevens berekent Michel de geluidssnelheid en vindt een uitkomst die niet overeenkomt met de waarde in BiNaS.

3p 2 Voer de volgende opdrachten uit:

- Toon aan dat de berekende geluidssnelheid niet overeenkomt met die in BiNaS.
- Toon aan dat de gemeten frequentie geen boventoon kan zijn.

Chiara en Michel gaan op zoek naar een andere verklaring. Bij een excursie in het Teylers Museum zien zij een set helmholtz-resonatoren uit de 19e eeuw. Deze werden gebruikt om te analyseren welke toonhoogtes in een stem voorkwamen.

Zie figuur 3. Eenmaal thuisgekomen vinden ze op internet een site over helmholtz-resonatoren en vinden de formule:

figuur 3



$$f = \frac{v}{2\pi} \sqrt{\frac{A}{V\ell}}$$

Hierin is:

- v de geluidssnelheid in m s^{-1} ;
- A het oppervlak van de resonatoropening in m^2 ;
- V het volume van de lucht in de resonator in m^3 ;
- ℓ de lengte van de hals van de resonator in m.

1p 3 Beschrijf een methode om het volume van de lucht in de fles te meten.

Chiara en Michel gaan deze formule op de fles toepassen.

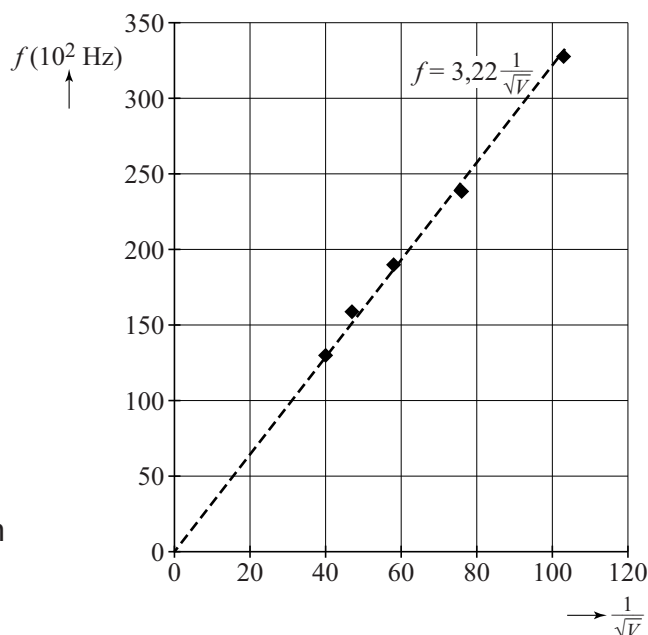
Voor hun fles meten ze: $A = 2,54 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ en $\ell = 0,070 \text{ m}$.

Verder meten ze de frequentie als functie van het volume. Zie tabel 1.

tabel 1

V (10^{-6} m^3)	f (10^2 Hz)
94	3,3
172	2,4
298	1,9
448	1,6
630	1,3

figuur 4



Ze laten een rekenprogramma op de computer een coördinaat-transformatie toepassen. Daarna laten ze het programma een lijn (trendlijn) door de punten tekenen en de functie van die lijn bepalen. Zie figuur 4. De eenheid langs de horizontale as staat niet vermeld.

2p 4 Leg uit wat de eenheid langs de horizontale as moet zijn.

4p 5 Voer de volgende opdrachten uit:

- Geef de reden dat de lijn door de oorsprong moet gaan.
- Bereken de geluidssnelheid met behulp van de gegeven functie.
- Leg uit of Chiara en Michel mogen concluderen dat hun proef beschreven mag worden met de formule van Helmholtz.

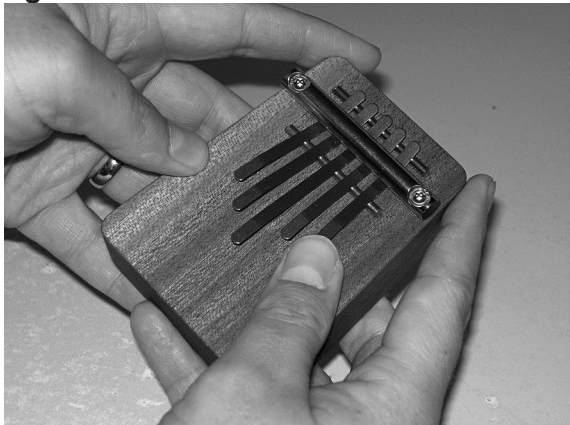
Je ziet dat de frequentie-metingen zijn gegeven in 2 significante cijfers, maar dat de helling van de getekende lijn gegeven is in 3 significante cijfers.

1p 6 Geef de reden dat hierbij het aantal significante cijfers toeneemt.

Opgave 1 Duimpiano

In figuur 1 is een zogenaamde duimpiano te zien. Dit is een muziekinstrument dat bestaat uit een houten blok met daarop een aantal metalen strips. De strips kunnen in trilling worden gebracht door ze met de duim naar beneden te duwen en los te laten. Er ontstaat dan een staande golf in de strip. In figuur 2 is een zijaanzicht van de duimpiano te zien.

figuur 1



figuur 2

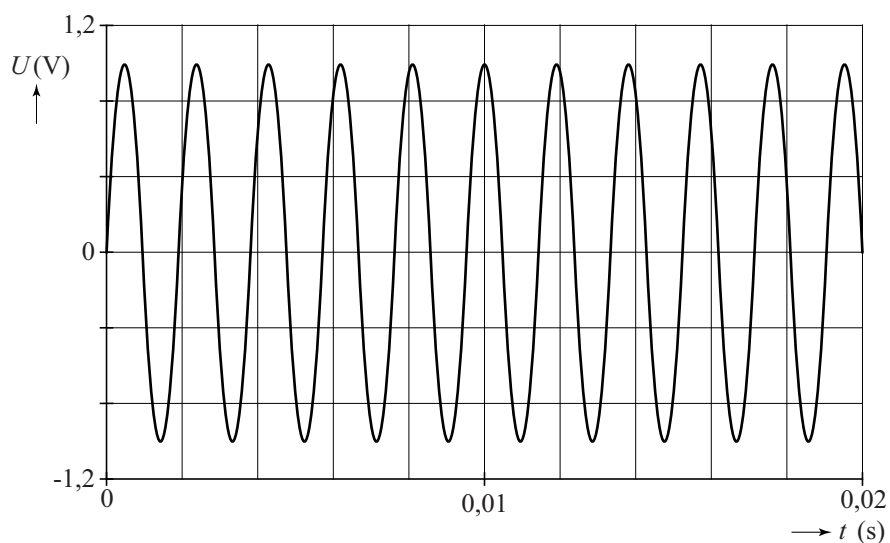


In figuur 1 is te zien dat er vijf strips op de duimpiano zijn gemonteerd. De tonen die door de strips worden voortgebracht, zijn bekend. De frequenties waarmee de strips in hun grondtoon trillen, zijn weergegeven in de tabel hieronder.

Strip	1	2	3	4	5
Toon	Gis''	C''	F'	F''	C'''
Frequentie (Hz)	831	523	349	698	1047

Van één van de strips is het geluid opgenomen en weergegeven in figuur 3.

figuur 3



3p 1 Bepaal, aan de hand van figuur 3, van welke strip het geluid opgenomen is.

Op de uitwerkbijlage is een bovenaanzicht weergegeven van de duimpiano. Deze figuur is op ware grootte. De strips zijn genummerd van 1 tot en met 5. Met behulp van een stippellijn is tevens aangegeven waar de strips vastzitten.

- 4p **2** Bepaal de voortplantingssnelheid van de golf in strip 3.
- 4p **3** Laat zien dat de voortplantingssnelheden van de golven in de strips 3 en 4 niet gelijk zijn.

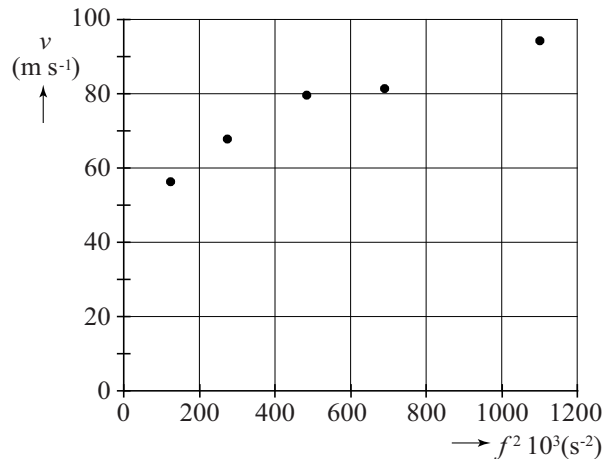
Nader onderzoek heeft uitgewezen dat de golfsnelheid in een strip afhankelijk is van de frequentie. Met behulp van de gegevens van de duimpiano kan het verband tussen de golfsnelheid en de frequentie worden onderzocht. Hiertoe zijn drie mogelijke hypothesen onderzocht:

- I Er is een recht evenredig verband tussen v en f .
- II Er is een recht evenredig verband tussen v en f^2 .
- III Er is een recht evenredig verband tussen v en \sqrt{f} .

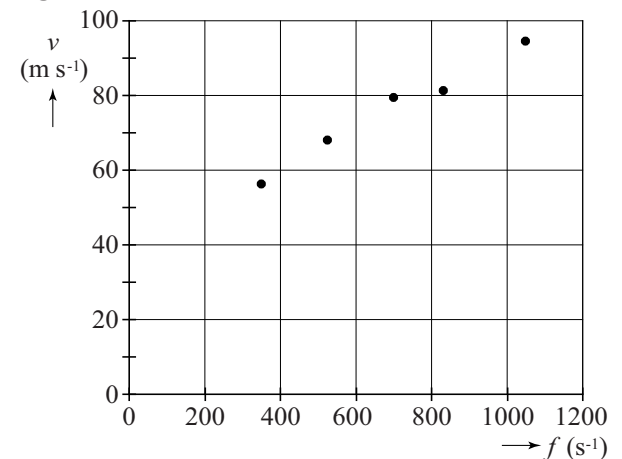
Om te achterhalen welke hypothese juist is, zijn drie grafieken getekend in figuur 4 a tot en met c.

- 2p **4** Leg uit welke hypothese door de meetgegevens wordt ondersteund.

figuur 4 a



figuur 4 b



figuur 4 c

