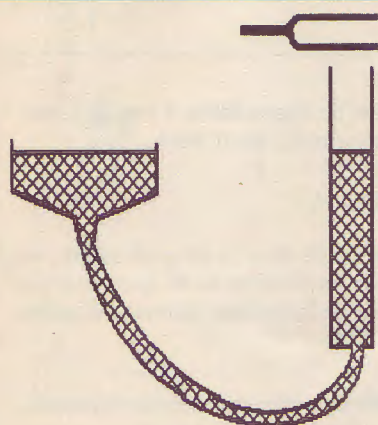


De geluidsnelheid: oude proef in nieuw jasje

Voor het bepalen van de geluidsnelheid komen we diverse proeven tegen. Een oude bekende is de proef met de buis met water met daaraan vast een trechter om de waterhoogte te bepalen. Deze proef is vrij bewerkelijk. Omdat we op school toch nog wat doorzichtige buizen hebben staan die we gebruiken voor het bepalen van de viscositeit, is de volgende variant bedacht op de trechterproef.

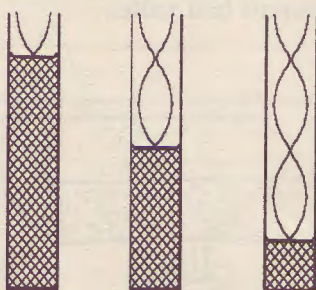


figuur 1: De proef in klassieke uitvoering.

Geluid plant zich voort door middel van golven. Door deze golven in een buis te leiden krijg je in de buis interferentie van de heengaande geluidsgolf en teruggekaatste geluidsgolven. Meestal zullen deze golven elkaar tegenwerken en hoor je weinig. Slechts onder bepaalde voorwaarden zullen deze golven elkaar versterken. Je krijgt dan een staande golf in de buis met een verrassend sterke amplitude.

De geluidsnelheid is in dit geval een constante factor. Geluid met een bepaalde frequentie zal dan een vaste golflengte hebben. Het geluid kaatst in de proef terug tegen het wateroppervlak in de buis en ook bij het open uiteinde. Er komt een staande golf in de buis als de lengte zo is, dat aan het wateroppervlak de golf stilstaat en bij de opening juist beweegt. Dit komt voor bij een lengte van $\frac{1}{4}$ golflengte, $\frac{3}{4}$ golflengte enzovoort. Elke keer als de buis precies een vrije lengte heeft van $\frac{1}{4}$ plus een aantal halve golflengtes zal er resonantie optreden.

Door de afstanden op te meten tussen de verschillende resonanties, kun je de golflengte van het geluid bepalen. Als de frequentie van de stemvork bekend is, kan de geluidsnelheid eenvoudig berekend worden met

$$\text{snelheid} = \text{golflengte} * \text{frequentie}$$


figuur 2: Knopen en buiken.

Opstelling

De opstelling bestaat uit een buis van doorzichtig materiaal, bijvoorbeeld acryl of perspex, van een meter lang en een diameter van ongeveer 4 cm. De onderkant is waterdicht afgesloten, de bovenkant gewoon open.

Deze buis wordt gevuld met water. De andere buis die moet zorgen voor de resonantie moet in de doorzichtige buis passen. Deze resonantie-buis hoeft niet doorzichtig te zijn. Er kan elektrapijp voor gebruikt worden, al is het effect dan niet groot. Op school is bij de loodgieter wat pvc-pijp gehaald dat gebruikt wordt voor stortbakken, met een diameter van 2,9 cm. Dit levert goed hoorbare resonanties op voor weinig geld.

Deze resonantie-buis moet een tweetal cm langer zijn dan de doorzichtige buis, opdat deze helemaal in de doorzichtige buis kan zakken maar toch nog vastgepakt kan worden.

Met een rolmaat en een paar stemvorken is de opstelling klaar. Het verdient wel



figuur 3: De proef in nieuwe uitvoering.

aanbeveling om het geheel met een statief enigzins stabiel te maken. Het statief kan dan ook gebruikt worden om de resonantie-buis even vast te zetten als een resonantie gevonden is.

De metingen

Met deze opstelling zijn een aantal metingen verricht met verschillende stemvorken.

resonantie	stemvorkfrequentie (Hz)			
	128	440	512	2000
	afstand tot bovenkant in cm			
1	66,7	18,6	16,0	3,1
2	—	57,4	49,7	12,9
3	—	95,9	83,9	20,5
4	—	—	—	28,9
5	—	—	—	38,4
6	—	—	—	46,1
7	—	—	—	55,2
8	—	—	—	63,3
9	—	—	—	71,9
10	—	—	—	81,2
11	—	—	—	89,3
	golflengte in cm			
	267	77,3	67,9	17,2
	geluidsnelheid in m/s			
	342	340	348	345

Volgens binas is de geluidsnelheid rond de 20 °C 343 m/s. Met een onzekerheid van één cm wat betreft de plaats van een resonantie, is de meetonzekerheid in de golflengte ongeveer drie procent. Dit houdt een meetonzekerheid van rond de 9 m/s in voor de geluidsnelheid. De uitkomsten zijn daarom goed te noemen.

De proef in de klas

De proef is door leerlingen in vier en vijf havo uitgevoerd tijdens een roulatiepracticum. De leerlingen werkten hierbij in tweetallen. Ze kregen daarbij een lesuur de tijd om van tenminste twee duidelijk verschillende stemvorken de verschillende resonanties te bepalen. In een verslag moesten zij hun bevindingen en resultaten inleveren. Omdat tijdens dat practicum ook leerlingen bezig waren met andere geluidsbronnen was het geluidsniveau vrij hoog in het lokaal. De leerlingen die met de buizen bezig waren verhuisden dan ook vanzelf naar het kabinet en naar de gang. Dit kon ook omdat de opstelling goed te verplaatsen is. Het enige waterballet wat ontstond, was tijdens het legen van een buis in de gootsteen en is slechts één keer voorgekomen op de 16 maal dat ze gebruikt zijn.

De tijd die de leerlingen kregen was voldoende (50 minuten) om de metingen te doen. Een enkeling moet doorgaan tot de bel, de meesten zijn dan al klaar en aan het verslag bezig. Door de opzet van het practicum 4 havo bij ons op school (vier series van vier proeven rond een bepaald thema) kan het voorkomen dat

leerlingen de proef moeten doen als nog niet alle theorie behandeld is. Door tijdens de proef wat informatie te geven over het ontstaan van de resonanties, zijn ze dan goed in staat om een redelijk verslag in te leveren. De meetresultaten van de leerlingen zijn ook in het algemeen goed te noemen. Een proef die ze prettig vinden om te doen en die ze na wat moeite ook begrijpen.

Bij deze proef kun je zo de leerlingen er uit halen die nadenken tijdens de proef. Omdat het water in de doorzichtige buis zakt door het omhooghalen van de resonantiebuis, moet wel steeds de lengte van de buis tot de waterhoogte gemeten worden. Niet elke leerling heeft dat meteen uit zichzelf al door en meet dan de lengte van de resonantiebus tot de bovenkant van de doorzichtige buis.

Wat is er beter aan deze opstelling?

- De waterhoogte in de resonantiebus is beter te regelen.
- Er is minder kans op een waterballet omdat er niet met trechters geschoven hoeft te worden.
- De opstelling is nu gemakkelijk verplaatsbaar geworden. Hij kan snel het lokaal ingehaald worden voor een practicum en ook weer snel verwijderd.

De opstelling heeft bij mij een vaste plaats veroverd in de practica rond golven en trillingen.

Enkele opmerkingen bij de proef

Het blijkt dat er ook resonanties optreden als je geen water gebruikt. Blijkbaar vormen de doorzichtige buis en de resonantiebus dan één geheel, ook al is de resonantiebus opgetild en moet er ook reflectie optreden bij de overgang van de resonantiebus naar de doorzichtige buis. Wat er precies gebeurt heb ik niet onderzocht.

De buik bovenaan de resonantiebus bevindt zich niet precies op de rand van de bus, maar iets er boven. Met behulp van de opgenomen resonanties moeten de leerlingen de plaats van die buik boven de rand kunnen bepalen.

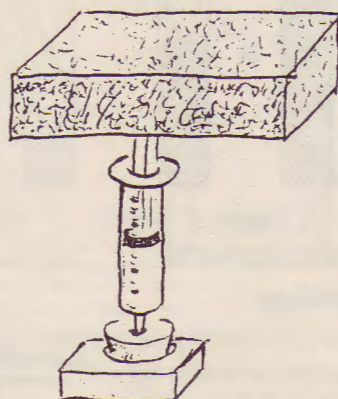
Leerlingen zijn in staat om stemvormen zo aan te slaan dat er boventonen ontstaan. Ze vinden dan ook resonanties op plaatsen waar je ze niet direct zou verwachten. Iets om op te letten.

Met een elektrapijp in de doorzichtige buis met water kun je het effect van de lengte van een orgelpijp laten horen door de elektrapijp aan te blazen en dan de lengte zonder water te veranderen. Hetzelfde effect kun je horen bij het vullen van de buis met water.

ROB VAN HAREN
Nijmegen

Het Dynamisch Modellen Systeem en de afgesloten injectiespuit

Een injectiespuit dichtmaken en dan maar bakstenen erop laden. Leerlingen genieten ervan om zo de Wet van Boyle te leren kennen. In de bovenbouw kun je er ook nog leuke proefwerkvragen over stellen. Nog leuker wordt het, als je met DMS (Dynamisch Modellen Systeem) een model maakt, dat beschrijft wat er gebeurt als je een baksteen op de injectiespuit laat vallen.



Omdat de oppervlakte A van de zuiger constant blijft, geeft Boyle:

$$p_0 \cdot l_0 = p_t \cdot l_t$$

waarin p de druk in de spuit en l de lengte van de luchtkolom in de spuit voorstelt. Indien de zuiger een afstand x is gezakt geldt:

$$l_t = 10 - x.$$

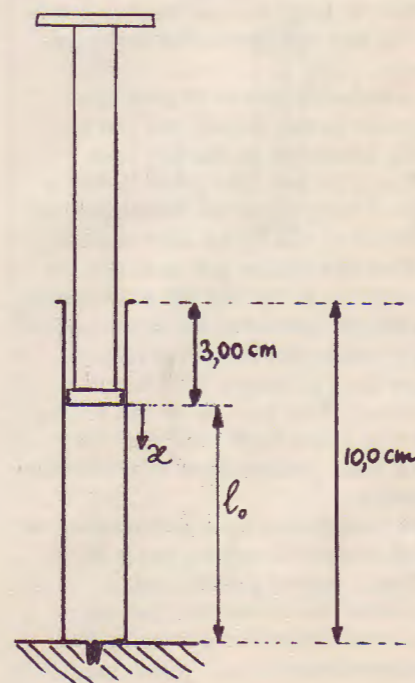
Voor de druk in de spuit geldt dus:

$$p_t = p_0 \frac{10}{(10-x)}$$

waarin x afhangt van de tijd.

Voor de versnelling gaan we uit van de

figuur 1: Schets van de doorsnede van de injectiespuit.



De proefwerkvraag is bijvoorbeeld: Een met lucht gevulde dichtgemaakte injectiespuit heeft een zuiger met een diameter van 1,85 cm. De lengte van de luchtkolom in de spuit bedraagt 7,0 cm. Op de zuiger wordt een massablok van 5,0 kg los neergezet. De zuiger zakt hierdoor 4,5 cm. Toon met een berekening aan, dat dit theoretisch mogelijk is.

Dat is nog te doen met Boyle. Veel lastiger wordt het als u vraagt naar de versnelling van de zuiger na 2,25 cm zakken, waarbij de wrijving nog verwaarloosd mag worden. Echt een vraag voor uitblinkers! Met DMS krijgt u alle leerlingen enthousiast hiervoor. De zwakkere geeft u de formules van het model, waarna zij aan de slag kunnen met het variëren van de startwaarden. De betere vraagt u om een model te ontwerpen voor het zakken van de zuiger van een injectiespuit, waarop een baksteen gezet wordt. Een beetje hulp is dan wel geboden.

Als u meer wilt weten van DMS: er is ondertussen genoeg literatuur voorhanden. De grafieken illustreren de mogelijkheden. Nu geef ik alleen nog kort afleiding van de formules voor de druk en de versnelling.