**Det halvåbne resonansrør**

**Formål**

Øvelsens formål er

(1) at undersøge sammenhængen mellem længden af et halvåbent resonansrør samt grundtonens resonansfrekvens, samt (2) at bestemme lydens fart i atmosfærisk luft, *v*.

**Apparatur**

Reagensglas, mikrofon, målebånd, termometer.

**Teori**

***Stående bølger i resonansrør***

Når der sendes lydbølger ned i et resonansrør, der er lukket i bunden, kan der dannes stående bølger ved, at de indkommende bølger svinger i takt med de reflekterede bølger. Der vil opstå *resonanssvingninger*, og lyden vil blive forstærket. Det vil dog kun ske, når lydens bølgelængde og luftsøjlens længde netop er således, at lydbølgen har bug ved rørets munding og knude ved vandoverfladen, der udgør luftsøjlens bund. Der vil være knudepunkt for den stående lydbølge ved vandoverfladen, da luftmolekylerne her ikke kan bevæge sig frit. Til gengæld vil luftmolekylerne kunne bevæge sig frit ved rørets åbne ende. Dette vil netop være tilfældet, når der er et *ulige* antal kvarte bølgelængder mellem rørets munding og dets bund (tegn og overvej hvorfor!). Omsat til matematisk sprog betyder det, at der skal gælde:

hvor *L* er afstanden mellem rørets munding og vandoverfladen, er lydens bølgelængde, og *n* er et positivt, helt tal.

***Grundtonens resonansfrekvens og rørets længde***

Grundtonens resonansfrekvens, , hænger sammen med grundtonens bølgelængde, , via bølgeformlen

Hvor  er lydhastigheden i luft.

Vi kender sammenhængen mellem længden af resonansrøret, , og grundtonens bølgelængde ud fra

hvor , dvs.

Vi kan nu indsætte udtrykket for grundtonens bølgelængde i bølgeformlen,

Vi har nu en sammenhæng mellem grundtonens resonansfrekvens og rørets længde. Vi vil benytte følgende opskrivning af udtrykket (kan du komme frem til det udtryk ud fra ligningen ovenfor?)

***Omskrivning til lineær sammenhæng mellem rørets målte længde og grundtonens resonansfrekvens***

Vi elsker at omskrive forskellige fysiske sammenhænge om som lineære sammenhænge, da vi er gode til at arbejde med lineære funktioner :-) Vi kan omskrive udtrykket herunder til en lineær sammenhæng

ved at opfatte som vores y-værdi og som vores x-værdi.

Lad os omdøbe *L* og hhv. x og y i udtrykket, så får vi følgende opskrivning

Vi kender udtrykket for en lineær sammenhæng som

Hvor og er konstanter. Hvis vi kigger på udtrykket ovenfor, så indgår , der er lydhastigheden. Den må vi antage er konstant, da temperaturen ikke ændrer sig i forsøget. Hermed kan vi opfatte som en konstant og det bliver hældningen af vores rette linje, så og .

Hvis vi måler sammenhængende værdier af *L* og kan vi dermed danne den ovenstående lineære sammenhæng og bestemme hældningen af linjen ved hjælp af lineær regeression.

***Temperaturafhængigheden af lydhastigheden i luft***

Udbredelseshastigheden *v* af bølger i en luftsøjle er netop lydhastigheden:

Vi måler resonansfrekvenserne 
(h, f2, fa, ...) med mikrofonen og 
laver analyse i VoggerPCQ. 
Luftmolekylerne svinger ikke ved 
knudepunktet (K) på 
vandoverfladen, men 
luftmolekylerne svinger 
maksimalt ved bug (B), der ligger 
ved rørets åbning. 
I/fl **Forsøgets udførelse**

Start med at blæse i et helt tomt reagensglas og optag frekvensspektret af lyden vha. Logger Pro, beskrevet herunder. Mål længden fra kant til bunden af glasset, *L*, og mål frekvensen nogle gange. Når I er sikre på at have fået fat i den rigtige frekvens, skriver I den ned i tabellen herunder og husker at gemme et skærmklip af frekvensspektret, hvor du viser, hvordan du har aflæst frekvensen af grundtonen, (*n* = 1).

Forsøget fortsætter ved at du hælder lidt vand i glasset (cirka en cm) og forsøget gentages med den nye luftsøjle. Mål den nye længde af luftsøjlen (fra kanten af glasset til vandoverfladen).

Fortsæt til I har 7-8 målinger.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 1. måling | 2. måling | 3. måling | 4. måling | 5. måling | 6. måling | 7. måling | 8. måling |
| *L* (m) |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *f1* (Hz) |  |  |  |  |  |  |  |  |

LoggerPro-instruktion: I skal måle lyden med en mikrofon sat til jeres computer via LabQuestMini. Til databehandlingen skal I bruge LoggerPro, der vil kunne beregne lydens frekvens(er) fra det optagede signal i mikrofonen. Herunder er en beskrivelse af, hvordan I skal gøre

Et billede, der indeholder tekst, linje/række, nummer/tal, Font/skrifttype

Automatisk genereret beskrivelse

Brug LoggerPro. Tilslut en LabQuest mini og en mikrofon til jeres computer. Logger Pro optager nu lydtrykket som funktion af tiden. Husk at indstille den tid, du vil optage lyden i. Vælg fx 1 sek.

En lydbølge er sammensat af en grundtone samt en række overtoner (*ved superpositions princippet*). I LoggerPro er der et værktøj der kan adskille lydbølgen så man kan finde grundtone og overtone frekvenserne. Dette kaldes en Fast Fourier Transform analyse (FFT).

Tryk på menupunkt: Indsæt->Flere grafer->FFT-graf. Man får hermed et såkaldt *frekvensspektrum*, dvs. en graf, hvor man har opsplittet lyden efter de frekvenser, der indgår i den. Netop for grundtonen og overtonerne kan man se nogle klare toppe i grafen. Det er grundtonen, I skal aflæse frekvenserne for.

Husk at måle temperaturen, *T,* af luften i rummet.

**Databehandling/Analyse**

Indtast dine målte værdier af og i LoggerPro. Herefter beregner du . Du er nu klar til at lave en graf over den lineære sammenhæng

der svarer til

Og kan ved hjælp af lineær regression bestemme hældningen , hvorfra du kan bestemme lydhastigheden og derefter sammenligne den med den teoretiske værdi for lydhastigheden. Husk at beregne den procentvise afvigelse.

**Ekstra**

Det viser sig dog, at bugen for de stående svingninger ligger lidt udenfor mundingen af den åbne ende af resonansrøret. Bølgen stikker cirka ud af røret åbne ende. Det kan vi tage hensyn til i vores ovenstående udtryk ved at lægge til længden på venstre side, således der står den længde, som vores kvarte bølge fylder, det vil sige summen af den målte længde af luftsøjen og mundingskorrektionen,

Hvis vi nu igen isolerer får vi følgende udtryk

Hermed kan vi opfatte

og

Vi har dermed en lineær sammenhæng hvor og og hældningskoefficienten er og skæring med y-aksen er . Se illustrationen på nedenstående figur

Vi måler resonansfrekvenserne 
f2, fJ, ...) med mikrofonen og 
laver analyse i Loggerprq. 
Luftmolekylerne svinger ikke ved 
knudepunktet (K) på 
vandoverfladen, men 
luftmolekylerne svinger 
maksimalt ved bug der ligger 
ved rørets åbning — eller det vil 
sige, at svingningsbugen ligger 
Lo = • r udenfor røret, hvor r 
er reagensglassets radius, 
illustreret med de stiplede linjer. 
I/fl 