

# Musik og bølger

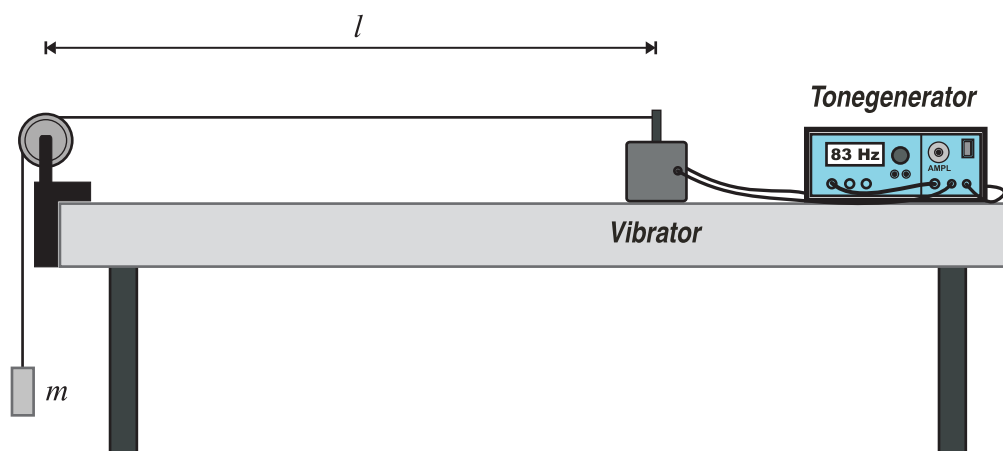
## Formål

Hovedformålet med denne øvelse er at studere det fysiske begreb *stående bølger*, som er vigtigt for at forstå forskellige musikinstrumenters virkemåde. Vi vil studere stående bølger på såvel en snor som i et rør. Som en ekstra bonus vil vi i et af delforsøgene få bestemt *lydens hastighed* i atmosfærisk luft. Begrebet *stødtoner* vil også blive studeret.

## 1. Snorbølgeforsøg

Formålet med denne øvelse er at studere fænomenet *stående bølger* med et snorbølgeforsøg. Vi vil blandt andet se, hvordan frekvenserne af de stående bølger afhænger af, hvor hårdt snoren er spændt ud.

Opstillingen er som angivet på nedenstående figur. Snorens ene ende fastgøres til en *vibrator* og snoren trækkes hen over en trisse, så snorens anden ende hænger frit ned. Heri anbringes et lod med massen  $m$ . Derved kan man kontrollere, hvor stor en kraft snoren er spændt ud med, nemlig med en kraft svarende til tyngdekraften af loddet:  $F = m \cdot g$ . Vibratoren tilsluttes en *tonegenerator*. Før du tænder for tonegeneratoren skal du sikre dig, at der er skruet helt ned for forstærkningen via den relevante drejeknap. Sidstnævnte styrer *amplituden* på bølgerne. Hvis forstærkningen er for stor, kan vibratoren tage skade. Når du langsomt skruer op for forstærkningen, vil du se, at der sendes bølger hen ad snoren. Frekvensen af bølgerne kan reguleres på en drejeknap og frekvensen vises i et display. Husk at måle længden  $l$  af snoren fra vibratoren og til røringpunktet midt på trissen. Noter denne længde ned. Du kan benytte denne længde under hele forsøget, men husk en gang imellem at kontrollere, at vibratoren ikke rykker sig!!!



- a) Vælg et 100 g lod og en muresnor. Mål snorlængden og noter den ned. Du kan eventuelt sætte et kridtmærke på bordet for at sikre dig, at vibratoren ikke flytter sig. Mål herefter frekvenserne for grundsvingningen og de tre første oversvingninger og noter dem ned i første søjle i tabellen herunder:

Svingning	$f$ (Hz)	$\lambda$ (m)	$v$ (m/s)
Grundsvingning			
1. oversvingning			
2. oversvingning			
3. oversvingning			

Snorlængde $\ell$

- b) I det følgende skal du med den samme snor som ovenfor måle frekvensen for 1. oversvingning for forskellige lod-belastninger. Skriv frekvenserne i første søjle.

Lod	$f$ (Hz)	$\lambda$ (m)	$v$ (m/s)
50 g			
100 g			
150 g			
200 g			

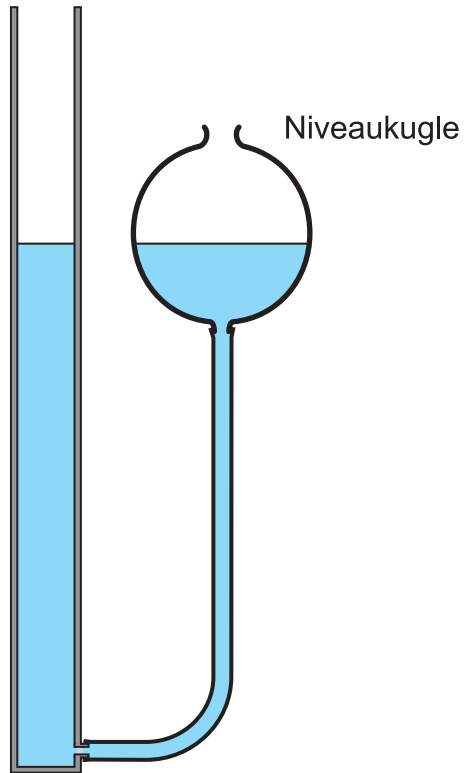
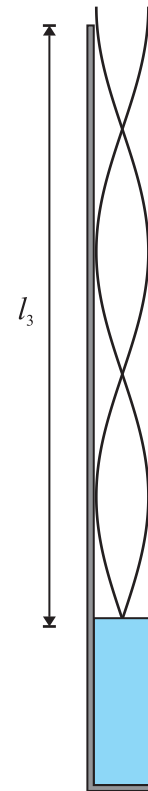
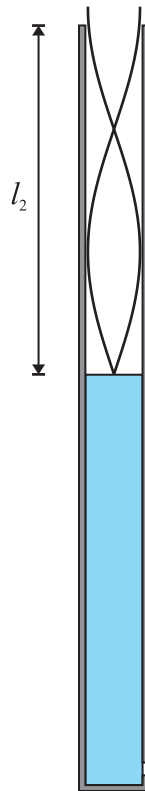
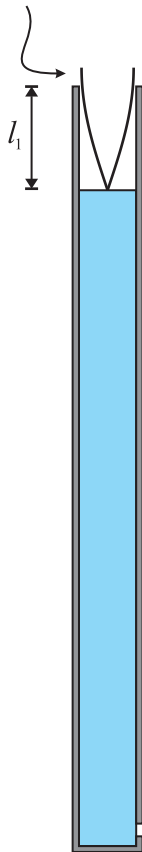
Snorlængde $\ell$

## 2. Resonansrør

I dette forsøg skal vi studere stående bølger (resonans) i et rør og endda bruge forsøget til at bestemme en værdi for lydets hastighed i atmosfærisk luft.

På næste side ser du billedet af et rør med vand i. Vandstanden kan reguleres ved hjælp af en såkaldt *niveauekugle*. Når en stemmegaffel anslås over røret, vil lydbølger med stemmegafflens frekvens forplante sig ned i røret. Indkommende bølger vil *interferere* med reflekterede bølger. For ganske bestemte rørlængder vil der opstå *stående bølger*, også kaldet resonans. Fænomenet kan registreres ved, at der forekommer en særlig høj lyd her. De stående bølger *skal* have *knude* i ved vandoverfladen, da luften ikke kan bevæge sig her, og *bug* omkring rørets top. Her er luften i stor bevægelse. Det viser sig, at bugen forekommer et lille stykke  $k$  udenfor røret. Dette stykke betegnes *mundingskorrektionen*. Første resonans forekommer, når røret har en længde af ca.  $1/4$  bølgelængde, de næste resonanser forekommer når røret er henholdsvis ca.  $3/4$  og ca.  $5/4$  bølgelængder langt. som det er illustreret med kurver på figuren på næste side. Tag en stemmegaffel med frekvensen 440 Hz uden resonanskasse (hvorfor mon?) og slå den an, mens du sænker/hæver vandstanden i røret ved hjælp af niveauekuglen, indtil du finder de tre steder, hvor lyden tydeligt forstærkes.

Stemmegaffel

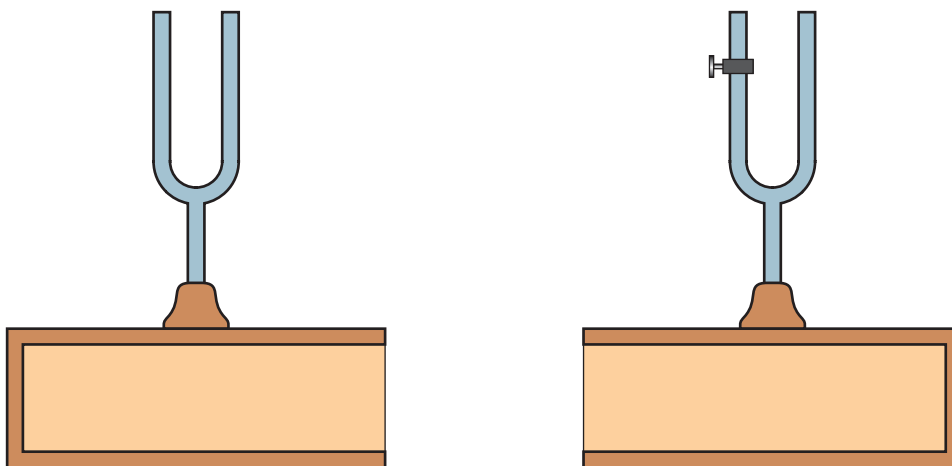
Mundingskorrektion:  $k$ 

Noter længderne for de tre resonanser ned og skriv dem i tabellen herunder.

Resonans	Rørlængde (m)
1. resonans	$l_1 =$
2. resonans	$l_2 =$
3. resonans	$l_3 =$

### 3. Stødtoneforsøg

I dette forsøg skal vi studere fænomenet *stødtoner*, som forekommer, når to lydbølger med samme amplitude og omtrent samme frekvens interfererer. Fremskaf to stemmegaffler med samme frekvens, for eksempel 440 Hz, og anbring dem på deres tilhørende resonanskasser. Anbring de to resonanskasser tæt på hinanden, så åbningerne vender mod hinanden. Anslå begge stemmegaffler med en gummihammer. Hvad hører du? Anbring nu en lille skrue på den ene stemmegaffel for at ændre dens frekvens en smule. Hvad hører du nu, når du anslår stemmegafflerne? Undersøg hvilken virkning det har, hvis du anbringer skruen forskellige steder på stemmegafflen. Kan du høre stødtonerne? Hvis der er en frekvensmåler til stede, kan du måle de to stemmegafflers frekvens  $f_1$  og  $f_2$  og udregne  $f_{\text{stød}} = f_2 - f_1$ . Prøv at lytte for at vurdere om denne værdi for stødtone-frekvensen lyder rimelig.



## Opgaver i tilknytning til forsøgene

### Forsøg 1 (Snorbølgeforsøg)

Udfyld resten af tabellen under forsøg 1a). For at beregne bølgelængder og bølgehastigheder, se eventuelt eksempel 2 i noten *Fysik & musik*. Kan du bekræfte, at bølgehastigheden er uafhængig af frekvensen, dvs. altid er den samme?

Udfyld resten af skemaet under forsøg 1b) på samme måde, som du gjorde til forsøg 1a). Hvad sker der med bølgehastigheden på snoren, når spændingen i snoren øges?

Der findes en formel, som kan bruges til at bestemme bølgehastigheden på en snor (eller tråd eller streng), hvis man kender den kraft  $F$ , hvormed snoren er spændt ud samt snorens masse pr. meter:

$$(1) \quad v = \sqrt{\frac{F}{m_l}}$$

I forsøget kan kraften bestemmes som tyngdekraften på det lod, som spænder snoren ud. Formlen for tyngdekraften er  $F = m \cdot g$ , hvor  $m$  er massen af loddet og  $g$  er tyngdeaccelerationen på  $9,82 \text{ m/s}^2$ .

**Ekstra** (frivilligt):

Passer resultaterne fra delforsøg 1b) *kvalitativt* med formelen (1)? Altså forudsiger formelen (1) overordnet set – uden at regne med konkrete tal – pointen fra delforsøg 1b)?

### Forsøg 2 (Resonansrør)

Hvis vi antager, at mundingskorrektionen er den samme ved alle tre resonanser, kan man i princippet få bølgelængden for de stående bølger *eksakt* ved brug af følgende formel:

$$(2) \quad \lambda = 2 \cdot (l_2 - l_1)$$

Forsøg at forstå dette ved at kigge på figuren på side 3. På tilsvarende vis haves:

$$(3) \quad \lambda = 2 \cdot (l_3 - l_2)$$

Benyt formlerne (2) og (3) til at bestemme to værdier for bølgelængden. Man kan derefter benytte gennemsnittet af de to tal som en god værdi for bølgelængden for de lydbølger, som stemmegaflden sender ned i røret! Bestem herefter *lydens hastighed* i atmosfærisk luft ved at anvende formelen  $v = f \cdot \lambda$ . Passer værdien nogenlunde overens med den, som vi kender?

### Forsøg 3 (Stødtoner)

Her skal du overordnet forklare hvad *stødtoner* er og hvordan de kan skabes ved at anslå to ens stemmegafler samtidigt, den ene dog med en lille skrue på. Forklar hvad skruen gør og kom ind på formlen for stødtone-frekvensen  $f_{\text{stød}} = f_2 - f_1$ , idet du giver nogle eksempler på dens brug.

### Musikinstrumenter

Skriv omkring en halv side om, hvordan forsøgene i denne øvelse, samt din øvrige tilegnede viden om bølger i øvrigt, har gjort dig klogere på forståelsen af musikinstrumenters virkemåde. Du kan lade dig inspirere af nogle af nedenstående punkter. Du skal *ikke* kommentere det hele! Vælg kraftigt ud, men sørg for, at der er lidt sammenhæng i det, så det hele ikke fremstår som spredte, løsrevne facts. Fysiske forklaringer er vigtige. Som materiale kan du kigge i noten *Fysik & musik*.

- Lighedspunkter og forskelle mellem forsøg 1 og 2 og det, der foregår på en guitarstreng henholdsvis i en orgelpibe.
- Hvad er stående bølger? Hvorfor kaldes de stående?
- Hvordan udbreder lyd sig?
- Fænomenet overtoner
- Rene toner og sammensatte toner
- Hvilken fysisk forskel er der på høje og dybe toner?
- Hvilke frekvenser kan det menneskelige øre høre?
- Hvordan dannes lyden på en guitar?
- Hvordan dannes lyden fra et klaver?
- Hvordan dannes lyden i en orgelpibe?
- Hvordan kan man regulere tonen på en blokfløjte. Forklar og sammenlign med orgelpiber.
- Hvilken funktion har resonanskassen på en guitar?
- Hvordan kan man regulere den tone, som kommer fra en guitarstreng?
- Hvorfor har orgler i kirker så forskellig længde?
- Hvad siger amplituden for en lydbølge noget om?
- Hvordan kan stødtoner bruges til at stemme en guitar?