IFM –Department of Physics, Chemistry and Biology

TFYA65 Ljudfysik

Laboration 1 - Ljudfysik

Namn	
Personnummer	
Datum	
Godkänd	

Peter Andersson

Per Sandström

1 Introduktion

Den här laborationen kommer att behandla några fenomen inom ljud och stående vågor.

Laborationen utförs med två skilda experimentuppställningar där den ena handlar om ljudvågor i luft och den andra om svängningar i en metallsträng.

Följande fenomen studeras:

- Stående ljudvågor i luft.
- Absorption av ljud och dess frekvensberoende.
- Vibrerande strängar och deras frekvensspektrum.

Det finns några förberedelseuppgifter inbakade i texten. Dessa är markerade med fetstil, **förberedelseuppgift. Förberedelseuppgifterna skall vara lösta innan laborationstillfället.**

1.1 Utförande

Nedan följer en kort beskrivning av den bakomliggande teorin och utrustningen samt de uppgifter som ska utföras. Kombinerat med muntliga instruktioner vid platsen, skall detta möjliggöra genomförandet av experimenten.

Om du tycker att något är oklart vid genomläsningen av denna handledning så misströsta inte - det kommer att klarna då du ser utrustningen framför dig. Tycker du att något är oklart så under laborationen tveka inte att fråga.

2 Stående ljudvågor

Teori om stående vågor

Om två fortskridande vågor samverkar i en punkt kommer deras amplituder att adderas, detta fenomen kallas för interferens eller superpositionsprincipen.

En sinusformad våg med amplitud a, vinkelhastighet $\omega = 2\pi f$, våglängd λ och vågtal $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ kan skrivas som

$$s_1 = a \sin(\omega t - kx)$$

s_1 skall här ses om en variation kring ett jämviktsläge av någon storhet. För ljudvågor kan det vara en luftmolekyls avstånd från sitt jämviktsläge eller tryckets variation kring medelufttrycket. För en sträng kan s_1 motsvara avståndet från jämviktsläget för en punkt på strängen. Vi har ett grundläggande samband mellan vågens fart v, dess våglängd λ och frekvens f, nämligen $v = \lambda f$.

Om vågen reflekteras tillbaks mot en gränsyta vid $x = 0$ så att den vänder kommer vi ha två vågor av samma vinkelfrekvens som möts. Under förutsättning att all energi reflekteras kan den reflekterade vågen skrivas som

$$s_2 = a \sin(\omega t + kx + \phi)$$

Där är fasförskjutningen vid reflektionsytan.

Summan av de två vågorna $s = s_1 + s_2$ blir med hjälp av trigonometriska omskrivningar

$$s = 2a\ \sin(\omega t + \frac{\phi}{2}) \cos(kx + \frac{\phi}{2})$$

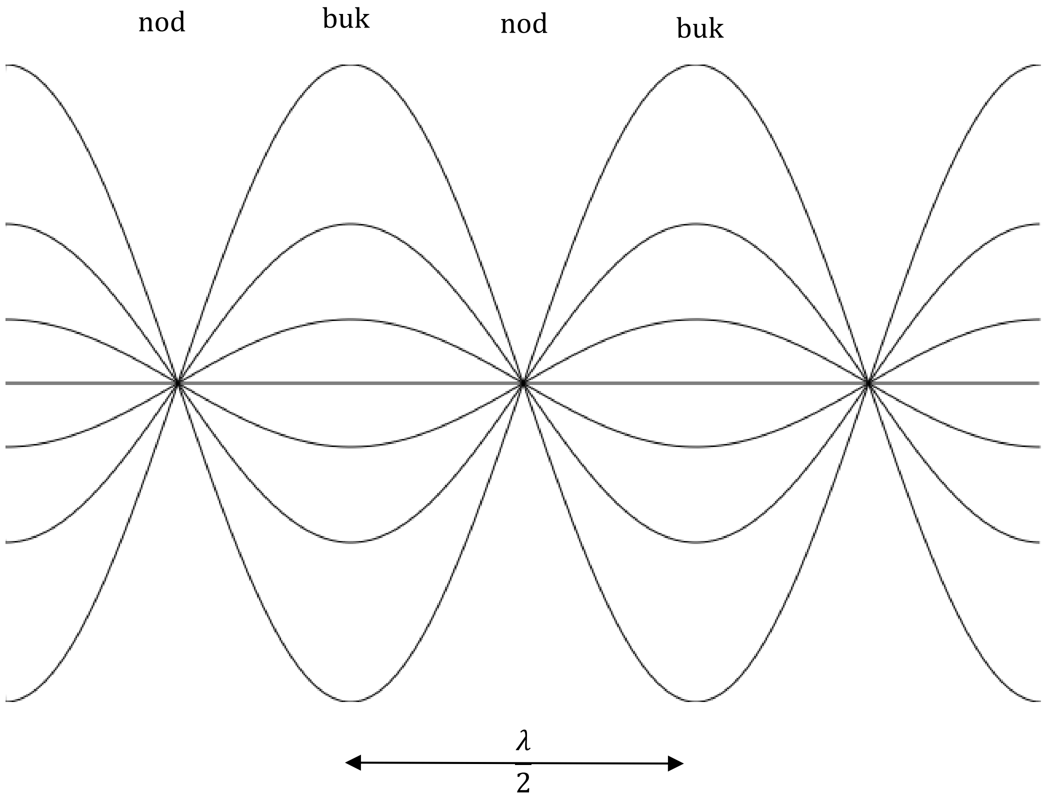
Detta är en stående våg.

Om $kx + \frac{\phi}{2} = \frac{\pi}{2} + n\pi$ där $n = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots$ är $\cos\left(kx + \frac{\phi}{2}\right) = 0$ och för ϕ dessa punkter har vi att $s = 0$. Dessa punkter kallas noder och där varierar alltså inte s.

Punkterna för vilka $kx + \frac{\phi}{2} = n\pi$ där $n = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots$ ger

$\left|\cos\left(kx + \frac{\phi}{2}\right)\right| = 1$ dvs vi har där en maximal variation av s och dessa punkter kallas bukar.

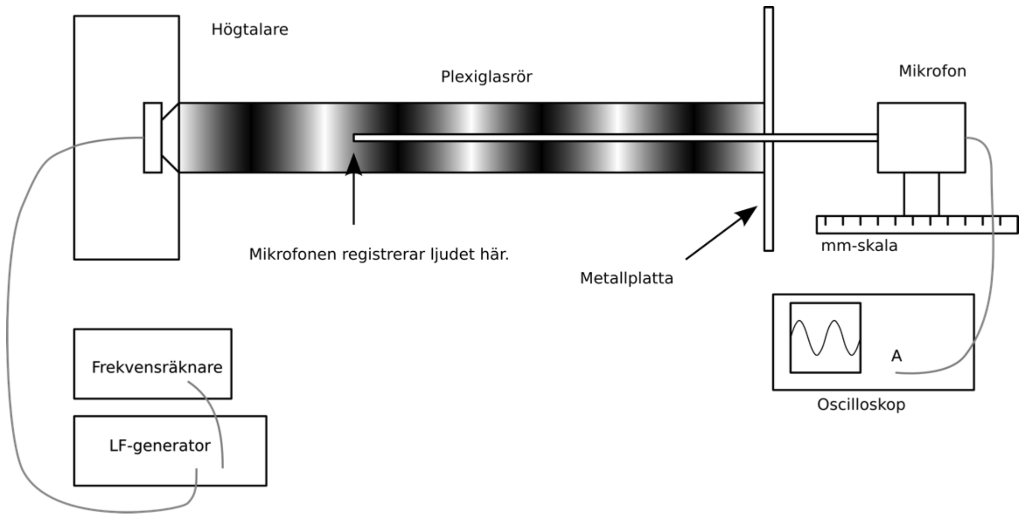
Avståndet mellan två närliggande bukar eller noder fås genom att sätta $kx = 1 \cdot \pi$ vilket ger att $x = \frac{\lambda}{2}$. Om $\phi = 0$ fås en buk vid gränsytan medan $\phi = \frac{\pi}{2}$ ger en nod vid den reflekterande ytan.



Figur 1. Stående våg med bukar och noder. Variationen är maximal i bukarna och noll i noderna. Avståndet mellan två intilliggande bukar eller noder är en halv våglängd.

Experimentuppställning

I denna del av laborationen skall stående ljudvågor studeras. Experimentuppställnigen ser i princip ut enligt figur 2.



Figur 2: Princip för utrustningen till försök 1 och 2.

En högtalare är tätt ansluten till ena änden av ett grovt plexiglasrör med ca 5 cm diameter. Från högtalaren sänds en ljudvåg axiellt in i röret, som kommer att fungera som en ljudledare. I den andra änden kan en reflektor i form av en metallplatta anslutas tätt till röret. Ljudvågen reflekteras mycket bra mot metallplattan och i röret blir det då en samverkan mellan två mot-riktade vågor, som har i stort sett samma amplitud. I ett litet hål i reflektorn kan ett smalt rör med tät passning i hålet föras axiellt i det grova röret. Det smala röret blir också en ljudledare och leder ljudet från änden inne i det stora röret till den andra utanför reflektorn. Den yttre änden är ansluten till en mikrofon, som alltså registrerar vad som händer inne i det grova röret just där det smala röret mynnar. Mikrofonen är i sin tur ansluten till ett oscilloskop som visar ljudsvängningarna inne i det grova röret. Mikrofonen mäter tryckvariatonerna vid änden på det smala röret.

2.1 Stående ljudvågor

- För att få en tydlig stående våg skall ljudsvängningen endast ske axiellt i det grova röret. Det är fallet om våglängden är större än ca 2 rördiametrar. Vid kortare våglängder uppstår även icke-axiella moder som kommer att störa mätningarna. Se alltså till att du arbetar med frekvenser sådana att våglängden är större än 2 rör-diametrar.

- För att kunna observera en stående våg bör vi ha åtminstone två bu-kar eller noder som vi kan mäta på. Det innebär att det lilla rörets längd måste vara minst en halv våglängd av den stående vågen i det grova röret.

Förberedelseuppgift: Vilken frekvens skall vi hålla oss under för att det inte skall uppstå oönskade icke axiella moder i det grova röret, om rörets diameter är 5 cm?

Svar: ____

Förberedelseuppgift: Vilken frekvens skall vi hålla oss över för att vi skall kunna observera minst en halv våglängd av den stående vågen i det grova röret om det lilla röret kan skjutas in maximalt 30 cm i det grova röret?

Svar: ____

Laborationsuppgift

- Skruva fast metallreflektorn och för in det smala röret i det grova röret genom hålet i reflektorn.
- Anslut högtalaren till signalgeneratorn.
- Anslut mikrofonen till oscilloskopet.
- Välj en lämplig frekvens i intervallet som bestäms av de två frekvenserna som har bestämts i de förberedande uppgifterna.
- För det smala röret axiellt i det grova och konstatera att du ser bukar och noder på olika positioner i röret. En stor amplitud på oscilloskopet motsvarar en tryckbuk (där vi har maximala tryck-variationer) medan en trycknod (där vi har minimala tryck-variationer) i det grova röret ger en minimal amplitud på oscilloskopet.

Undersök om det är en tryckbuk eller en trycknod precis i änden på det grova röret.

Svar:

____

Hur kan detta förklaras fysikaliskt?

Svar: ____

____

2.2 Absorption av ljud

Bakomliggande teori

Absorption av ljud är mycket viktigt för hur akustiken i ett rum upplevs. Väggmaterial med låg absorption ger ett rum med lång efterklangstid, dvs ljudet lever kvar länge i rummet även sedan ljudkällan har tystnat. Om du har varit i ett helt tomt rum har du säkert märkt att det ekar ganska mycket. Ekot blir mycket mindre framträdande om det finns mjuka material som absorberar en del av ljudet. I den här laborationen skall vi undersöka ett sätt att mäta ett materials förmåga att absorbera ljud.

Det finns olika typer av absorbenter. Absorptionen i en porös absorbent uppstår på grund av att partiklarna förlorar en del av sin rörelseenergi i absorbenten genom friktion så att deras hastighet minskar.

Du skall placera ett poröst material i det grova röret framför metall-reflektorn. Den infallande vågen kommer då delvis att absorberas, varför den reflekterade vågens amplitud blir mindre än den infallandes. I röret blir det då två motriktade vågor med olika amplituder och den resulterande vågen blir allmänt

$$p(x,t) = p_i \sin(\omega t - kx) + p_r\, sin(\omega t + kx) \qquad (1)$$

där p_i och p_r är tryckamplitud i infallande resp. reflekterad våg, dvs $p_i > p_r$.

Det allmänna uttrycket (1) för två motriktade vågor med olika amplitud kan man, genom att lägga till och dra ifrån $p_r\, sin(\omega t - kx)$, skriva om till

$$p(x,t) = p_i\, sin(\omega t - kx) - p_r\, sin(\omega t - kx) + p_r\, sin(\omega t - kx) + p_r\, sin(\omega t + kx) \qquad (2)$$

vilket med några trigonometriska omskrivningar blir

$$p(x,t) = (p_i - p_r)\, sin(\omega t - kx) + 2p_r\, cos(kx) sin(\omega t) \qquad (3)$$

Den första termen $(p_i - p_r)\, sin(\omega t - kx)$ är en fortskridande våg med amplituden $(p_i - p_r)$ och den andra termen $2p_r\, cos(kx)sin(\omega t)$ en svängning med lägesberoende amplitud dvs. en stående våg med amplituden $2p_r$ i bukarna ($kx = n\pi$) och noll i noderna ($kx = \frac{\pi}{2} + n\pi$).

För x sådana att $\cos(kx) = 0$ blir amplituden i den resulterande svängningen $(p_i - p_r)$ och för x sådana att $|\cos(kx)| = 1$ blir amplituden $(p_i + p_r)$. Det blir bukar och noder men amplituden i noderna blir inte noll som i en ideal stående våg. Avstånden mellan närliggande bukar eller noder är dock desamma som vid den ideala stående vågen, dvs en halv våglängd.

Vi skall nu mäta storleken av amplituderna i bukar och noder för att bestämma absorptionen enligt följande.

Om I_i är den infallande ljudintensiteten och I_r är den reflekterade så är den absorberade intensiteten $I_a = I_i - I_r$

Absorptionen α är kvoten mellan absorberad och infallande intensitet, dvs

$$\alpha = \frac{I_a}{I_i} = \frac{I_i - I_r}{I_i} = 1 - \frac{I_r}{I_i} \tag{4}$$

Vidare gäller att intensiteten är proportionell mot ljudtrycket i kvadrat vilket ger

$$\alpha = 1 - \left(\frac{p_r}{p_i}\right)^2 \tag{5}$$

Vi kan inte mäta trycket separat för den infallande och reflekterade vågen, mikrofonen mäter resultatet när de samverkar. Det vi mäter med utrustningen är utsignalen från mikrofonen vilken är proportionell mot de resulterande tryckamplituderna i spetsen på det tunna röret. I bukarna och noderna har vi $(p_i + p_r)$ respektive $(p_i - p_r)$. Kvoten mellan dessa kallas ståendevågförhållandet S. Vi har alltså

$$S = \frac{p_i + p_r}{p_i - p_r} \tag{6}$$

Det gäller att absorptionen α kan uttryckas i S enligt

$$\alpha = \frac{4S}{(S+1)^2} \tag{7}$$

Förberedelseuppgift: Visa att (6) insatt i (7) ger högerledet i (5).

Laborationsuppgift

Mätning 1

Placera en absorbent i röret mot metallreflektorn (muntlig instruktion) och mät absorptionen för några olika frekvenser så att du kan skissa ett diagram med absorptionen α mot frekvens.

Skissa ett diagram med α mot f utifrån mätningarna:

Mätning 2

Det finns även möjlighet att byta positionen på det absorberande materialet. Välj en frekvens på ca 1,5 kHz och variera absorbentens avstånd x från reflektorn. Vi definierar avståndet x som avståndet till absorbentens yta som är vänd från reflektorn. Mät absorptionskoefficienten för olika avstånd x.

Skissa ett diagram med α mot x utifrån mätningarna:

Det finns ett maximum i absorptionen vid ett visst avstånd *x,* vilket kan hittas genom att ställa mikrofonen i en nod och variera absorbentens position *x*. Där vi har en maximal signal kommer vi att ha maximal absorption eftersom S blir som minst då är $(p_i - p_r)$ som störst vilket är det mest avgörande för S.

Vid vilket avstånd är det maximal absorption:

____

Hur stort är avståndet med maximal absorption uttryckt i våglängder?

____

Hur kan vi förklara att det blir maximal absorption vid den positionen?

____

3 Vibrerande sträng

En vibrerande spänd sträng är ett bra exempel på en kontrollerad vibration som består av en grundton och ett antal övertoner. Vibrationsfrekvenserna för strängen bestäms av de möjliga stående vågor som kan uppstå på stängen. Den resulterande vågformen blir betydligt mer komplicerad än de rena sinusvågor den byggs upp av.

Eftersom stängens ändar inte kan röra sig måste det vara en nod i varje ände för att det skall uppstå en stående våg på strängen. Eftersom det är en halv våglängd mellan noderna innebär det att vi kan ha stående vågor på strängen om villkoret $L = \frac{\lambda}{2}n$ är uppfyllt, där $n = 1,2,3, \ldots.$ och L är strängens längd.

Om n = 1 säger vi att vi har strängens grundton, vars frekvens kan bestämmas om vi vet vågutberedningsfarten i strängen. Övriga n ger övertoner, deras frekvenser ligger som multiplar av grundtonen under förutsättning att vågutberedningsfarten i strängen är oberoende av frekvensen. På svenska benämns övertonerna som den n-1:a övertonen dvs n=2 ger den första övertonen, n=3 den andra övertonen osv.

En modell av vågutberedningsfarten är vid små avvikelser från jämviktsläget och antaget att strängen saknar styvhet, given av

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \tag{8}$$

Där T är spänningen i Newton och μ är strängens massa per längdenhet (kg/m).

Förberedelseuppgift:

Tag fram ett uttryck för frekvenserna där det kan finnas stående vågor som en funktion av T, μ, L och n.

$$\boldsymbol{f_n} =$$

Utrustning

På labbplatsen finns en enkel version av en ”diddley bow” vilket i princip består av en bräda med två upphöjningar med en uppspänd sträng emellan. Det här är ett mycket enkelt instrument men man kan få det att låta rätt kul.

Se exempelvis dessa underhållande youtubeklipp:

https://www.youtube.com/watch?v=JPOMYHKWGTE

https://www.youtube.com/watch?v=r_F7aiOvdwE

Den är även en perfekt uppställning för att illustrera olika egenskaper hos ett stränginstrument och stående vågor. I vår version ligger brädan på bordet och spänningen i strängen bestäms av en vikt som kan ändras.

För att ta upp vibrationerna från strängen finns det en flyttbar gitarrpickup kopplad till ett ljudkort och en dator. Med hjälp av datorns mjukvara kan man studera frekvensinnehållet i signalen.

Pickupen är en single coil-pickup som består av en spole med några tusen varv och ett antal stavmagneter. När ett ferromagnetiskt material rör sig i magnet-fältet från magneterna kommer en spänning att induceras i spolen.

Frekvensanalys med FFT

Med hjälp av datorn på labbplatsen kan vi studera frekvensinnehållet i svängningarna. Om det inte redan är i gång starta programmet Baudline. Med det här programmet kan man göra en spektrumanalys av signalen från ljudkortet. Med programmet får man även en graf med frekvensspektrat som funktion av tiden.

Med ”pause” knappen kan man pausa mätningen för att titta närmare på signalen.

Testa att slå an gitarrsträngen och se hur frekvensspektrat utvecklas som funktion av tiden.

Frekvensberäkning

Mät strängens massa per längdenhet med hjälp av våg och måttband. Montera strängen och väg upp en vikt på ca 4-7 kg och placera den på hållaren för att spänna strängen.

Beräkna frekvensen för grundtonen utifrån ekvationen för vågutberedningsfarten.

Beräknad frekvens:

Använd programmet för att läsa av frekvensen på grundtonen genom att placera musmarkören på grundtonens frekvenstopp.

Uppmätt frekvens för grundtonen:

____

Ligger den uppmätta frekvensen ungefär inom förväntad felmarginal med tanke på hur noggrant vi kan mäta ingående variabler?(Gör ingen detaljerad felanalys, resonera utifrån att antalet värdesiffror någorlunda bör överens-stämma.)

____

Justera programmet så att du kan se frekvensområdet 0-3kHz. Slå an strängen och studera övertonerna.

Är alla övertoners frekvenser multiplar av grundtonen?

____

____

Studera hur energin vid de olika frekvenserna avtar med tiden.

Hur ser den generella trenden för hur snabbt de olika övertonerna dämpas vid olika frekvenser ut?

____

Troligen går det att hitta övertoner som dämpas betydligt snabbare eller långsammare än närliggande övertoner.

Försök förklara detta:

____

Genom att mycket lätt röra vid strängen med fingret vid anslaget går det att släcka ut övertoner med en buk vid beröringspunkten. Det här är inte helt lätt men försök genom att toucha mitten av strängen för att få bort det mesta av grundtonen och de jämna övertonerna. Studera frekvensspektrumet och se om varannan överton släcks ut.

*Var skall vi dämpa stängen för att släcka ut alla övertoner förutom den tredje övertonen och multiplar av den? (dvs när n=4*m, m=1,2,3…)*

____

Prova att genomföra detta och studera spektrumet i programmet.