

Diffraction fra overfladebølger på vand

Indledning

Dannelse og udbredelse af bølger på en væskeoverflade er vigtige og velundersøgte fænomener. For sådanne bølger kommer den genoprettende kraft på den svingende væske dels fra tyngdekraften og dels fra overfladespændingen. For bølgelængder meget mindre end en kritisk bølgelængde λ_c kan der ses bort fra tyngdekraftens indflydelse, og vi kan nøjes med at betragte effekter fra overfladespændingen ($\lambda_c = 2\pi \sqrt{\frac{\sigma}{\rho g}}$, hvor σ er overfladespændingen, ρ er væskens densitet og g er tyngdeaccelerationen).

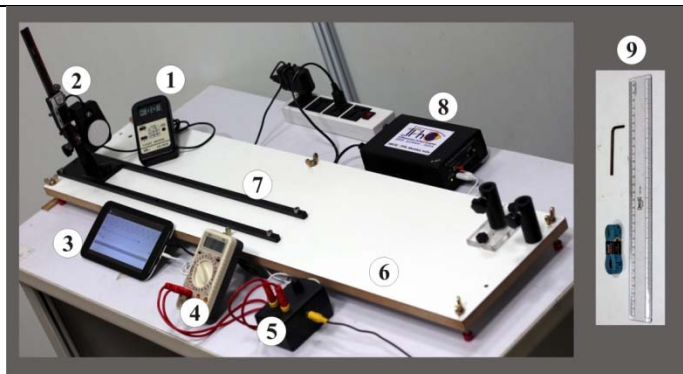
I dette eksperiment undersøger du overfladebølger med en bølgelængde meget mindre end λ_c på en vandoverflade. Overfladespænding er en væskeegenskab, som får væskens overflade til at opføre sig som en udspændt, elastisk membran. Når væskeoverfladen forstyrres, udbreder forstyrrelsen sig som en bølge ligesom på en membran. Her bruges en elektrisk vibrator til at danne overfladebølger på en vandoverflade. Når en laserstråle rammer overfladen næsten parallelt med den, opfører bølgerne sig som et reflektionsgitter, som giver anledning til et veldefineret diffraktionsmønster.

Overfladebølger dæmpes (deres amplitude aftager gradvist) efterhånden som de udbreder sig. Dæmpningen skyldes væskens viskositet, som er gnidning, der bremser relativ bevægelse mellem væskelag.

Formål

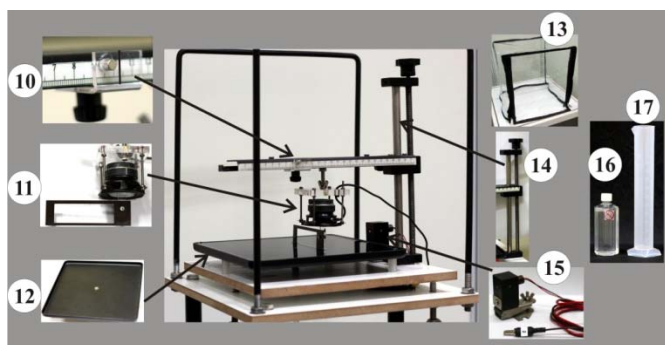
At bestemme overfladespændingen og viskositeten af den udleverede vandprøve ved at bruge diffraction fra overfladebølger.

Apparaturliste



[1]	Lys-meter (forbundet til lysmåleren)
[2]	Lysmåler monteret på en skydelære, som er sat i skærmholderen
[3]	Tabletcomputer (bruges til at generere sinusbølger)
[4]	Digitalt multimeter
[5]	Vibrator kontrol
[6]	Bundplade af træ
[7]	Skinner langs hvilke lysmåleren kan flyttes
[8]	Strømforsyning
[9]	Umbraco-nøgle, målebånd og lineal

Figur 1: Opstilling på bundplade af træ.

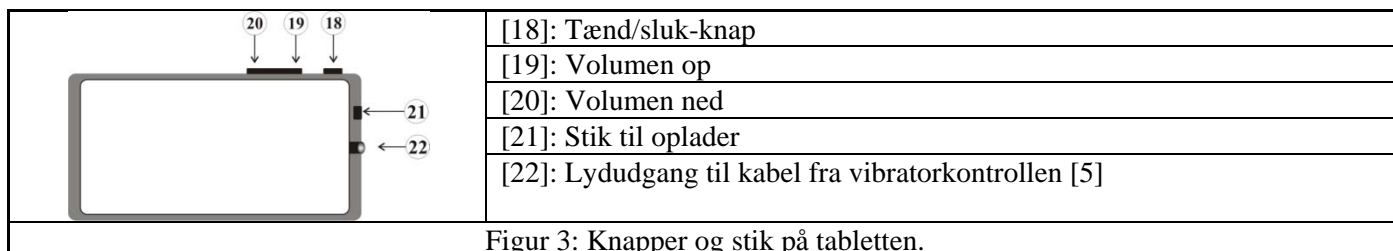


[10]	Måleskinne med viser til aflæsning af vibratorens position.
[11]	Vibratorenhed.
[12]	Vandbakke.
[13]	Plastikdækken.
[14]	Justering af vibratorhøjde (røres ikke).
[15]	Laser 2 (bølgelængde $\lambda_L = 635 \text{ nm}$, $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$).
[16]	Flaske med vand til eksperimentet.
[17]	500 mL måleglas.

Figur 2: Vibrator/laser-opstilling.

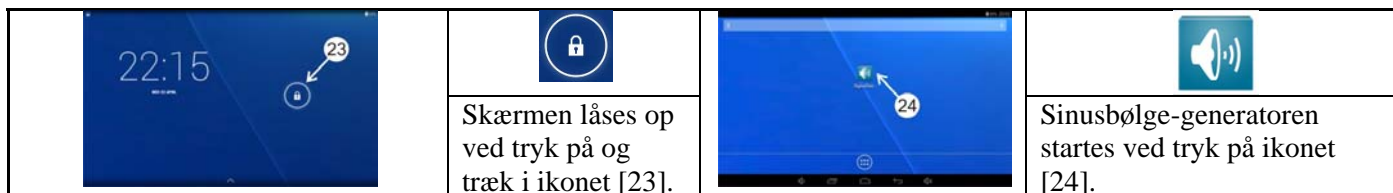
Beskrivelse af apparatur

a) Tabletcomputer til generering af sinusbølger

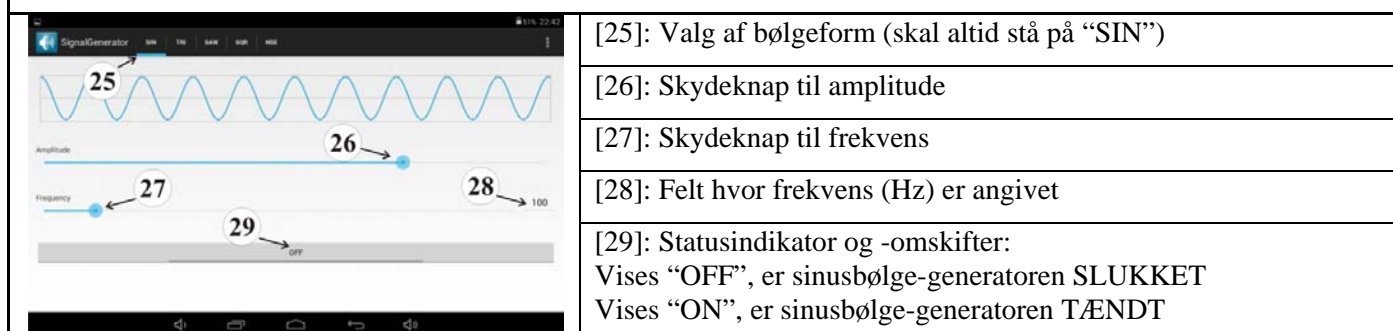


Figur 3: Knapper og stik på tabletten.

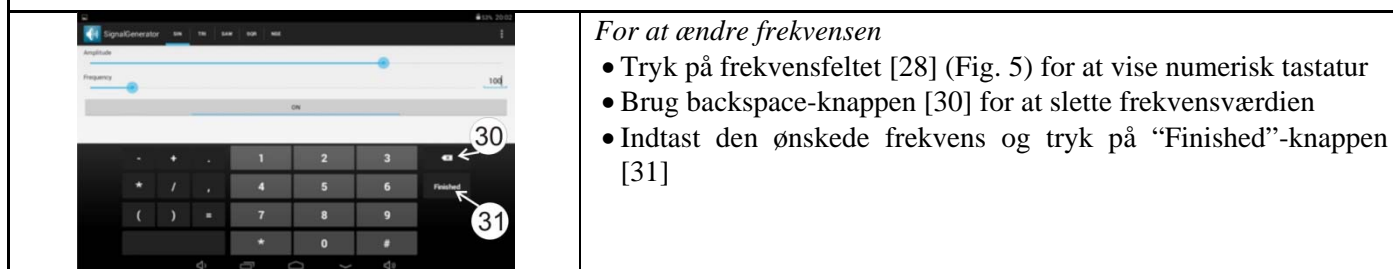
- Bemærk:
- Tabletten skal være tilsluttet sin oplader under hele eksperimentet.
 - Tryk forsigtigt *én gang* på tænd/sluk-knappen for at vise startskærmen.
 - Volumen skal altid være på maksimum; brug “volumen op”-knappen [19].



Figur 4: Tabletens startskærme.



Figur 5: Applikation til generering af sinusbølger.

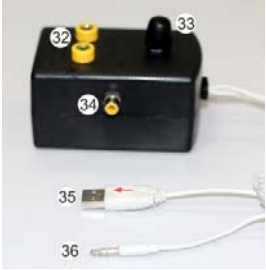

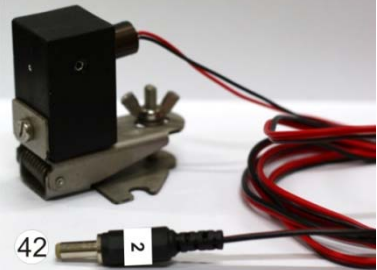








Figur 6: Skærm der viser numerisk tastatur til indtastning af frekvensværdi.

For at ændre amplituden


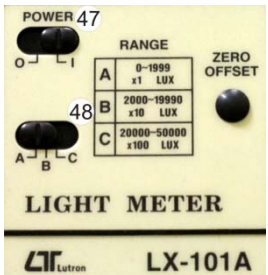


- Brug skydeknap til amplitude [26] på tabletskærmen eller drejeknappen [33] på vibratorkontrollen [5].

b) Vibratorkontrol, digitalt multimeter, strømforsyning og tilhørende kabler

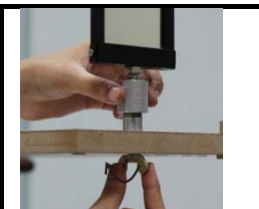
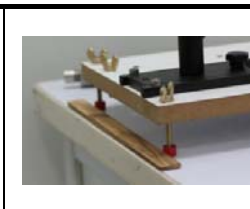
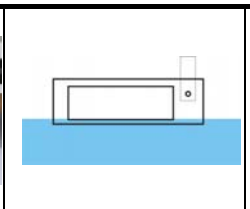

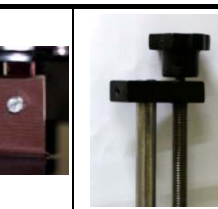
		
<p>[32]: Stik til kabler fra multimeteret. [33]: Drejeknap til styring af sinusbølgens amplitude. [34]: Stik til kabel fra vibratorenhed. [35]: USB-kabel der skal forbindes til strømforsyningen. [36]: Kabel der skal forbindes til tablettens lydudgang.</p>	<p>[37]: Vibratorplade. [38]: Kabel der skal forbindes til vibratorkontrollen.</p>	<p>Figur 10: Laser 2 [15] (monteret på holder) med kabel [42].</p>
<p>Figur 7: Vibratorkontrol [5].</p>	<p>Figur 8: Vibratorenhed [11].</p>  <p>[39]: AC/DC-omskifter. [40]: Valg af måleområde. [41]: Indgangs-stik.</p>	 <p>[43]: Intensitetsomskifter (skal altid stå på "High" i E-II). [44]: Stik til USB-kablet fra vibratorkontrollen. [45]: Stik til kablet fra laser 2.</p>
<p>Figur 9: Digitalt multimeter [4].</p>	<p>Figur 11: Strømforsyning [8].</p>	

			
<p>[36]→[22]</p>	<p>[38]→[34]</p>	<p>[41]↔[32]</p>	<p>[35]→[44] og [42]→[45]</p>
<p>Figur 12: Forbindelser mellem tablet, vibratorkontrol og strømforsyning.</p>			

c) Lysmåler og lys-meter

			
<p>[46]: Cirkulært hul til sensoren i lysmåleren. [47]: Lys-meterets tænd/sluk-knap. [48]: A, B, C: Lys-meterets måleområder.</p>	<p>En af skydelærens kæber passer ind i lysmålerens fordybning.</p>	<p>Monteringsskruen strammes ved brug af Umbraco-nøglen.</p>	
<p>Figur 13: Lysmåler og lys-meter.</p>	<p>Figur 14: Montering af lysmåleren på skydelær.</p>		

Indledende justeringer

				
<p>Figur 15: Afmontering af den højre reflektor.</p>	<p>Figur 16: Bundpladeskruer, der rører trælisten.</p>	<p>Figur 17: Korrekt placering af vibratorpladen og sort drejeknap til justering af højden (røres ikke).</p>		

1. Tag stikket fra laser 1 ud og indsæt i stedet stikket fra laser 2 i strømforsyningen stillet på "High". Bemærk: Laser 2 er allerede justeret til en passende, fast indfaldsvinkel. Rør ikke ved laseren!

2. Fjern den højre reflektor brugt i E-I ved at skrue på vingemøtrikken under bundpladen (Fig. 15).

3. Fjern skærmen brugt i E-I og monter lysmåleren i skærmens holder. Placer skærmholderen mellem skinnerne [7].

4. Placer bundpladen [6], så dens skruefødder rører ved trælisten, som er fastgjort til arbejdsbordet (Fig. 16).

5. Løft forsiden på det plastikdække, som beskytter vibrator/laser-enheden. Fyld præcis 500 mL vand fra flasken op i målebægeret [17], og hæld det derefter op i bakken [12].

6. Tænd for laseren. Sørg for at den reflekterede laserplet rammer lysmåleren. Når du flytter lysmåleren frem eller tilbage langs skinnen, skal laserpletten bevæge sig lodret og ikke skråt. Man kan få laserpletten til at ramme det lille hul i lysmåleren præcist ved mindre sidelæns justeringer af bundpladen. Lys-meteret viser maksimal intensitet, når laserplettens centrum rammer hullets centrum.

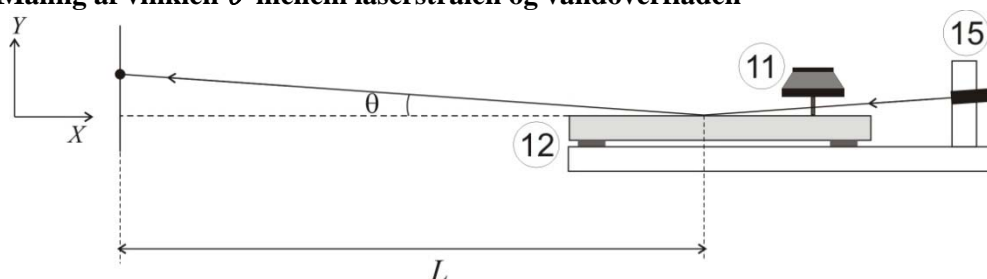
7. Vibratorenheden er forhåndsindstillet i den korrekte vandrette position. **Rør IKKE ved** den sorte drejeknap som ellers kan justere højden [14] (Fig. 17).

8. Vibratorenheden kan flyttes frem og tilbage i vandret retning. Vibratorens position markeres af viseren på måleskinnen [10].

9. Sørg for, at forsiden på vibrator/laser-enhedens plastikdækken altid er lukket, således at vandoverfladen er skærmet mod luftstrømninger.

Eksperiment

Del C: Måling af vinklen θ mellem laserstrålen og vandoverfladen



Figur 18: Måling af vinklen θ .

Opgaver	Beskrivelse	Point
C1	Forskyd lysmåleren i passende skridt hen ad skinnen. Notér i Tabel C1 forskydningen langs x -retningen og den tilhørende forskydning af laserpletten i y -retningen. (Vælg et passende måleområde på lys-meteret.)	1.0
C2	Tegn en passende graf (kald den Graf C1) og brug hældningen til at bestemme vinklen θ i grader.	0.6

Del D: Bestemmelse af overfladespændingen σ af vandprøven

Man kan ved brug af diffraktionsteori vise, at

$$k = \frac{2\pi}{\lambda_L} \sin(\theta) \sin(\gamma), \quad (1)$$

hvor: $k = 2\pi/\lambda_w$ er bølgetallet for overfladebølgerne,

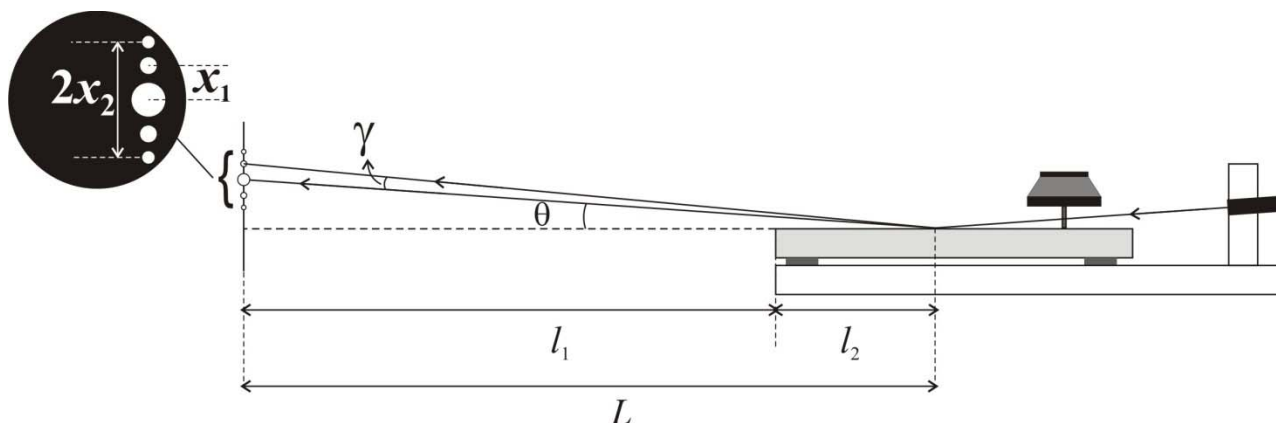
λ_w og λ_L er bølgelængderne af henholdsvis overfladebølgerne og laserlyset, og

γ er vinkelafstanden mellem det centrale maksimum og førsteordens-maksimummet (Fig. 19).

Vibrationsfrekvensen f af overfladebølgerne kan udtrykkes ved bølgetallet k som

$$\omega = \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}} k^q, \quad (2)$$

hvor $\omega = 2\pi f$, ρ er vandets densitet, og q er et heltal.



Figur 19: Diagram som viser opstillingen.

1. Brug spændeskruen på skærmholderen til at fastspænde lysmåleren [2] for enden af skinnen i den position, der er vist på Fig. 1. Vælg et passende måleområde på lys-meteret.

Opgave	Beskrivelse	Point
D1	Mål længden l_1 mellem lysmålerens åbning og den ydre kant af vandbakken. Man kan se et lysende linjestykke, hvor laserstrålen rammer vandoverfladen. Midtpunktet af dette linjestykke kaldes laserstrålens indfaldspunkt. Mål afstanden l_2 mellem dette punkt og ydersiden af vandbakken. Bestem L og anfør værdien på svararket.	0.3

2. Placér vibratorenheden, så viseren på den vandrette skala [10] peger på 7.0 cm.
3. Indstil sinusbølge-generatoren til frekvensen 60 Hz og justér amplituden således, at første- og andenordens maksimaene i diffraktionsmønstret ses tydeligt (Fig. 19 øverst til venstre).

Opgaver	Beskrivelse	Point
D2	Mål afstanden mellem det øverste og det nederste andenordens maksimum og beregn herved x_1 . Indfør dine målinger og resultater i Tabel D1. Gentag dette, idet frekvensen øges i passende trin.	2.8
D3	Identificér nogle passende variable til at lave en graf, hvis hældning kan bruges til at beregne værdien af q . Indfør disse variable og deres værdier i Tabel D2. Tegn grafen (kald den Graf D1) og bestem q . Opskriv Ligning 2 med den passende heltalsværdi af q .	0.9
D4	Fra denne Ligning 2, identificér nogle passende variable til at lave en graf, hvis hældning kan bruges til at beregne værdien af overfladespændingen σ . Indfør disse variable og deres værdier i Tabel D3. Tegn grafen (kald den Graf D2) og bestem σ . ($\rho = 1000 \text{ kg m}^{-3}$.)	1.2

Del E: Bestemmelse af dæmpningskonstanten δ og af vandets viskositet η

Overfladebølgerne dæmpes på grund af vandets viskositet. Bølgeamplituden h aftager eksponentielt med afstanden s , målt fra vibratorpladen,

$$h = h_0 e^{-\delta s}, \quad (3)$$

hvor h_0 er amplituden ved vibratorpladen, og δ er dæmpningskonstanten.

Amplituden h_0 afhænger af den spænding V_{rms} , som driver vibratoren. Denne afhængighed er empirisk blevet bestemt som

$$h_0 \propto (V_{\text{rms}})^{0.4} \quad (4)$$

Dæmpningskonstanten afhænger af vandets viskositet η som

$$\delta = \frac{8}{3} \frac{\pi \eta f}{\sigma}. \quad (5)$$

1. Placér vibratorenheden, så viseren på den vandrette skala peger på 8.0 cm.
2. Sæt frekvensen til 100 Hz.
3. Brug skydelæren til at justere lysmåleren, således at diffraktionsmønsterets førsteordens-maksimum rammer hullet.
4. Justér spændingen V_{rms} på vibratorkontrollen, så lys-meteret viser 100 på måleområde A, og notér værdien af V_{rms} .
5. Forskyd vibratorenheden så afstanden fra lysets indfaldspunkt øges i trin af 0.5 cm og justér for hvert trin V_{rms} , så lysmeteret igen viser 100. Notér værdierne af V_{rms} .

Opgaver	Beskrivelse	Point
E1	Notér i Tabel E1 dine data for hvert trin.	1.9
E2	Tegn en passende graf (kald den Graf E1) og brug hældningen til at bestemme dæmpningskonstanten δ .	1.0
E3	Beregn viskositeten η for det udleverede vand.	0.3