

Diffraction på grund av ytspänningsvågor på vatten

Inledning

Hur vågor bildas och utbreder sig på en vätskeyta är ett viktigt och välstuderat fenomen. Den återförande kraften på den oscillerande vätskan beror dels på gravitationen och dels på ytspänningen. För våglängder mycket kortare än en kritisk våglängd, λ_c , är effekten från gravitationen försumbar, och då behöver man bara ta hänsyn till ytspänningen ($\lambda_c = 2\pi \sqrt{\frac{\sigma}{\rho g}}$, där σ är ytspänningen, ρ densiteten och g tyngdaccelerationen).

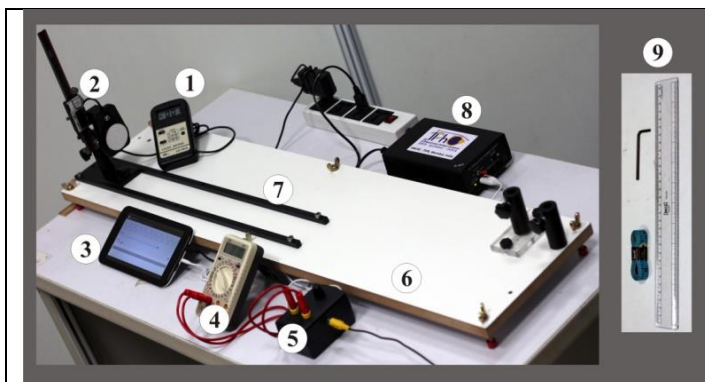
I detta problem ska du studera ytspänningsvågor med våglängder kortare än λ_c . Ytspänning är en egenskap som gör att en vätskeyta beter sig som ett uttöjt membran. När ytan störs kommer störningarna att utbreda sig som en våg på membranet. En eldriven vibrator används för att skapa dessa vågor. När en laserstråle infaller nästan parallellt med ytan kommer vågorna att bete sig som ett reflektionsgitter och skapa ett diffraktionsmönster.

Ytspänningsvågor dämpas (deras amplitud avtar gradvis) när de utbreder sig. Denna dämpning beror på vätskans viskositet, en egenskap som i sin tur beror på att närliggande vätskelager motverkar relativ rörelse mellan varandra.

Mål

Använda diffraction från ytspänningsvågor på vatten för att bestämma ytspänningen och viskositeten hos ett vattenprov.

Utrustning



[1]	Ljusbmätare (ansluten till en ljussensor)
[2]	Ljussensor monterad på ett digitalt skjutmått placerad på ett skärmfäste
[3]	Datorplatta (används som sinusvåggenerator)
[4]	Digital multimeter
[5]	Vibrators styrlåda
[6]	Träplattform
[7]	Spår för att flytta ljussensorn
[8]	Likspänningsaggregat
[9]	Insexnyckel (sexkantnyckel), mättejp och plastlinjal

Figur 1: Träplattformens utrustning

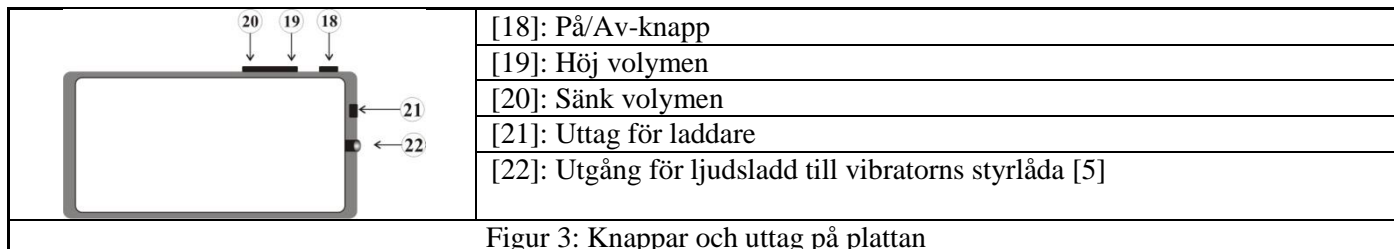


[10]	Linjal och ryttare med vibrators positionsmarkör
[11]	Vibrator
[12]	Vattentråg
[13]	Plastskydd
[14]	Ställning för justering av vibrators höjd
[15]	Laserkälla 2 (Våglängd $\lambda_L = 635 \text{ nm}$, $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$)
[16]	Vattenprov för experimentet
[17]	Mätcyliinder (500 ml)

Figur 2: Vibrator och laserkälla

Beskrivning av utrustningen

a) Datorplattan som en sinusvåggenerator

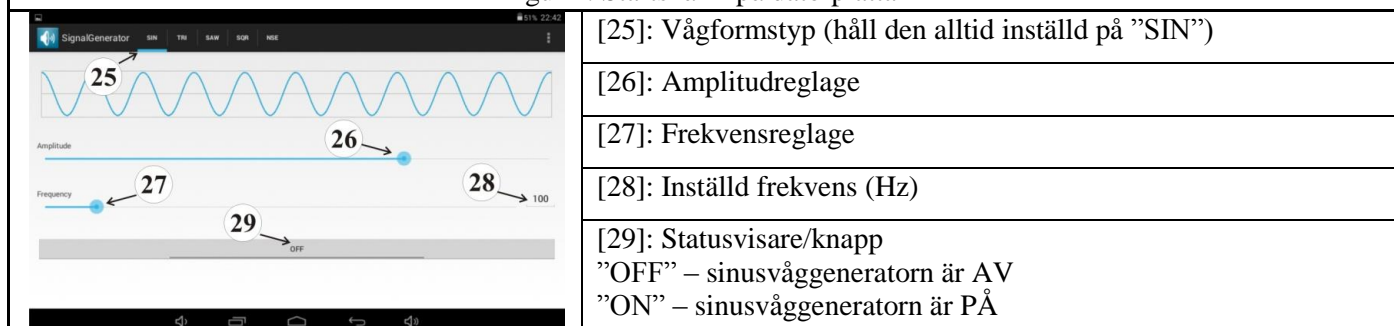


Figur 3: Knappar och uttag på plattan

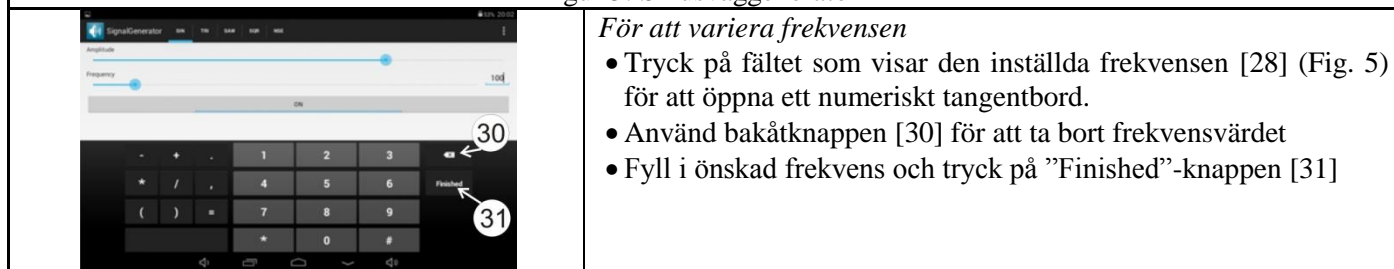
- OBS
- Ha alltid laddaren ansluten till datorplattan.
 - Tryck *en gång* på På/Av-knappen för att visa startskärmen.
 - Håll alltid volymen på max med knappen "Höj volymen" [19].



Figur 4: Startskärm på datorplattan



Figur 5: Sinusvåggeneratoren

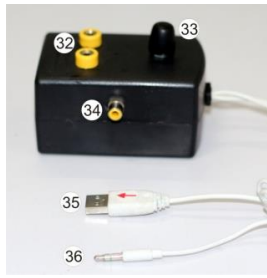

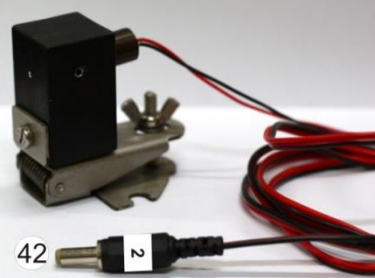




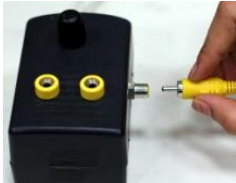


Figur 6: Skärm för att ställa in frekvensen

För att variera amplituden

- Använd amplitudreglaget [26] på datorskärmen eller vrid på knappen [33] på vibratorns styrlåda [5] för att variera amplituden.

b) Vibratorns styrlåda, digital multimeter, likspänningsaggregat och deras anslutningar


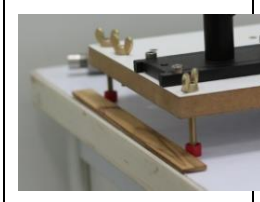
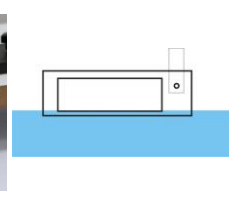
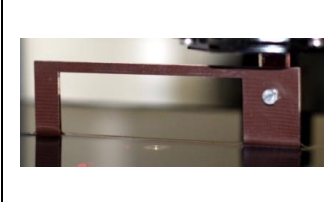

		
[32]: Uttag för att koppla in sladdar från multimetern	[37]: Vibratorbricka	Figur 10: Laserkälla 2 [15] (monterat på ett metallfäste) med sladd [42]
[33]: Knapp för att variera amplituden från sinusvåggeneratoren	[38]: Sladd från vibratorm	
[34]: Uttag för sladden till vibratorm	Figure 8: Vibrator [11]	
[35]: USB-sladd som ska anslutas till likspänningsaggregatet	[39]: AC/DC-läge	[43]: Intensitetsswitch (håll den inställd på "High")
[36]: Ljudsladd som ska anslutas till datorplattan	[40]: Välj mätintervall	[44]: USB-uttag för USB-sladd från vibratorns styrlåda
	[41]: Uttag för att koppla in sladdar	[45]: Uttag för sladden till laserkälla 2
Figur 7: Vibratorns styrlåda [5]	Figur 9: Digital multimeter [4]	Figur 11: Likspänningsaggregatet [8]

			
[36]→[22]	[38]→[34]	[41]↔[32]	[35]→[44] and [42]→[45]
Figure 12: Anslutningar mellan datorplattan, vibratorns styrlåda och likspänningsaggregatet			

c) Ljussensor och ljusmätare

			
[46]: Circular apertur (öppning) hos ljussensorn	[47]: På/Av-knapp hos ljusmätaren	En av skjutmättets skänklar (jaw) passar i ett spår (slot) på ljussensorns baksida	Fäst skruven med insexnyckeln
[48]: A, B, C – Känslighetsintervall hos ljusmätaren			
Figur 13: Ljussensor och ljusmätare		Figur 14: Hur du monterar ljussensorn	

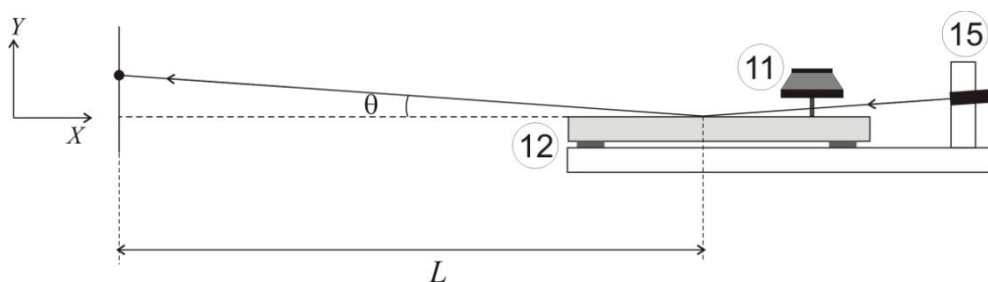
Inledande justeringar

				
<p>Figur 15: Ta bort den högra spegeln</p>	<p>Figur 16: Skruvben som vidrör träplattan</p>	<p>Figur 17: Korrekt position av vibratorbrickan och svart reglage för att justera höjden.</p>		

1. Koppla ur laser 1 och koppla in laser 2 till likspänningsaggregatets uttag. Notera: Laser 2 har redan justerats till en specifik infallsvinkel. Rör inte laserkällan!
2. Ta bort den högra spegeln som användes i E-I genom att vrida skruven under träplattformen.
3. Ta bort skärmen som användes i E-I och montera ljussensorn i skärmfästet. Placera skärmfästet mellan ledskenorna [7].
4. Placera träplattformen [6] så att skruvbenen rör vid träplattan som är fäst vid arbetsbordet (Fig. 16).
5. Fäll upp ena väggen av plastsyddet som täcker vibratorn och lasern. Häll exakt 500 ml av vattenprovet i tråget [12] med hjälp av mätcyldern [17].
6. Sätt på lasern. Hitta den reflekterade laserpricken på ljussensorn. När du flyttar ljussensorn fram och tillbaka längs skenorna ska laserpricken röra sig vertikalt och inte i en vinkel mot lodlinjen. Med små justeringar i sidled av träplattformen och vertikala förflyttningar av ljussensorn kan du få laserpricken precis i mitten av öppningen. Intensiteten som visas av ljusmätaren kommer att vara maximal om laserprickens centrum träffar öppningens centrum.
7. Vibratorbrickan är redan monterad i den korrekta vertikala positionen. Använd INTE den svarta höjdjusteringsknappen [14] (Fig. 17).
8. Vibratorn kan flyttas fram och tillbaka horisontellt. Vibratorns positionsmarkör visar dess position på linjalen [10].
9. Ha plastsyddet nerfällt när du mäter så skyddas vattnet från luftströmmar.

Experiment

Del C: Mätning av vinkeln θ mellan laserstrålen och vattenytan



Figur 18: Mätning av vinkeln θ

Uppgift	Beskrivning	Poäng
C1	Flytta ljussensorn i lämpliga steg längs skenorna. Notera förflyttningen i X-led och motsvarande förflyttning i Y-led hos laserpricken. Skriv dina värden i Tabell C1. (Välj lämpligt mätintervall hos ljusmätaren.)	1.0
C2	Plotta en lämplig graf (märk den Graf C1) och bestäm vinkeln θ i grader med hjälp av lutningen.	0.6

Del D: Bestämning av ytspänningen σ hos det utdelade vattenprovet

Från diffraktionsteori kan man visa att

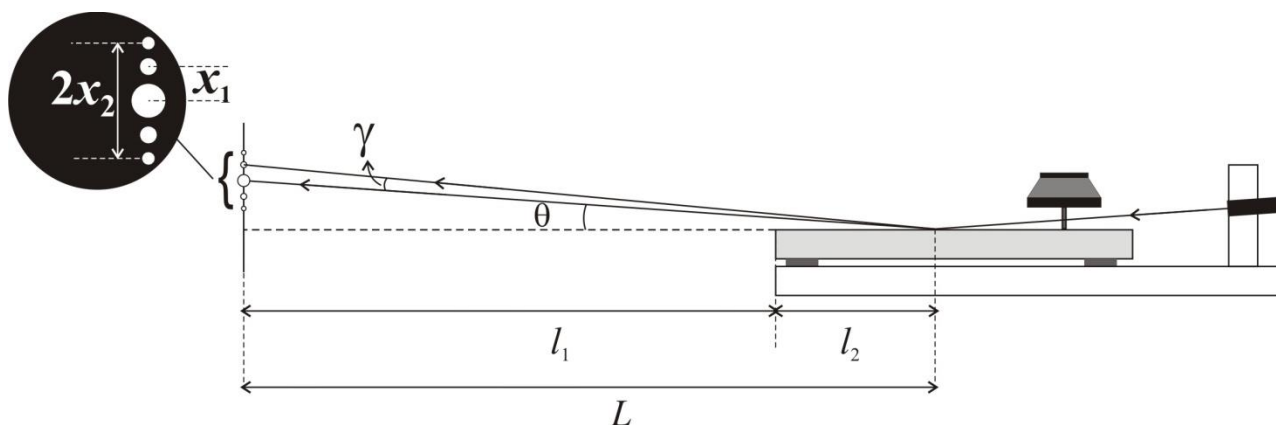
$$k = \frac{2\pi}{\lambda_L} \sin \theta \sin \gamma \quad (1)$$

där $k = 2\pi/\lambda_w$ är vågtalet hos ytspänningsvågorna, λ_w och λ_L är våglängderna hos ytspänningsvågorna respektive lasern, och γ är vinkeln mellan centralmaximum och första ordningens maximum (Fig. 19).

Vibrationsfrekvensen (f) hos vågorna relaterar till vågtalet k genom

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

där $\omega = 2\pi f$, ρ är vattnets densitet och q är ett heltal.



Figur 19: Skiss av uppställningen

1. Fixera ljussensorn [2] (med hjälp av skruven vid skärmfästet) i positionen som visas i Fig. 1. Välj lämpligt mätintervall på ljusmätaren.

Uppgift	Beskrivning	Poäng
D1	Mät avståndet l_1 mellan ljussensorns öppning och vattenstrågets yttre kant. Du kommer se en linje där lasern träffar vattenytan. Denna linjes centrum är laserstrålens infallspunkt. Mät avståndet l_2 mellan denna punkt och kanten. Beräkna L . Skriv ditt svar i svarsbladet.	0.3

2. Sätt vibrationsmarkörerna på positionen 7,0 cm längs den horisontella linjalen [10].
3. Ställ in sinusvågens frekvens till 60 Hz och justera dess amplitud så att första och andra ordningens maximum i diffraktionsmönstret syns tydligt (förstoring i Fig. 19).

Uppgift	Beskrivning	Poäng
D2	Mät avståndet mellan andra ordningens maximum ovanför och nedanför centralmaximumet, och beräkna härifrån x_1 . Skriv dina observationer i Tabell D1. Upprepa detta genom att öka frekvensen i lämpliga steg.	2.8
D3	Identifiera lämpliga variabler för att kunna rita en graf vars lutning ger värdet på q . Anteckna variablernas värden i Tabell D2. Plotta grafen (märk den Graf D1) och bestäm q . Skriv ner ekvation 2 med ett heltalsvärde på q .	0.9
D4	Identifiera lämpliga variabler från ekvation 2 för att kunna rita en graf vars lutning ger värdet på σ . Anteckna variablernas värden i Tabell D3. Plotta grafen (märk den Graf D2) och bestäm σ . ($\rho = 1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$).	1.2

Del E: Bestämning av dämpningskonstanten δ och vätskans viskositet η

Ytspänningsvågorna dämpas på grund av vattnets viskositet. Vågamplituden, h , avtar exponentiellt med avståndet s från vibratorn,

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

där h_0 är amplituden i vibratorns position och δ är dämpningskonstanten.

Amplituden h_0 kan experimentellt relateras till den pålagda spänningen (V_{rms}) över vibratorn som

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

Dämpningskonstanten relaterar till vätskans viskositet η enligt

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

1. Sätt vibratorns positionsmarkör på 8,0 cm.
2. Ställ in frekvensen på 100 Hz.
3. Justera ljussensorn med skjutmättet så att första ordningens maximum träffar öppningen.
4. Justera amplituden hos sinusvågen (V_{rms}) så att ljusmätaren visar 100 i mätintervall A. Skriv ner motsvarande värde på V_{rms} .
5. Flytta bort vibratorn från laserstrålens infallspunkt i steg om 0,5 cm och justera V_{rms} så att ljusmätaren visar värdet 100. Skriv ner motsvarande värden på V_{rms} .

Uppgift	Beskrivning	Poäng
E1	Skriv ner dina data för varje steg enligt punkt 5 i Tabell E1.	1.9
E2	Plotta en lämplig graf (märk den Graf E1) och bestäm dämpningskonstanten δ från dess lutning.	1.0
E3	Bestäm viskositeten η hos det utdelade vattenprovet.	0.3

Diffraktion på grund av ytspänningsvågor i vatten

Del C: Mätning av vinkeln θ

[C1]

Tabell C1

Mätning Nr.		
1		
2		
3		
4		
5		
6		

Poäng

[C2]

Graf C1 för att bestämma θ : _____ som funktion av _____

$\theta =$ _____

Del D: Bestämning av vätskans ytspänning

[D1]:

$l_1 =$ _____	$l_2 =$ _____	$L =$ _____
---------------	---------------	-------------

[D2]:

Tabell D1

Mätning Nr.					
1					
2					
3					
4					
5					
6					

[D3]:

Graf för att bestämma q : _____ som funktion av _____

Poäng

Tabell D2

Mätning Nr.		
1		
2		
3		
4		
5		
6		

Poäng

Lutning = _____

$q =$ _____

Ekvation 2:

Bestämning av ytspänningen:

[D4]:

Graf för att bestämma σ : _____ som funktion _____

Tabell D3

Mätning Nr.		
1		
2		
3		
4		
5		
6		

Lutning =

Poäng

Ytspänningen:

 $\sigma =$ _____

Del E: Bestämning av vattenprovets viskositet

[E1]: Signalgeneratorns frekvens = _____ Hz

Tabell E1

Mätning Nr.				
1				
2				
3				
4				
5				
6				

Poäng

[E2]:

Graf för att bestämma δ : _____ som funktion av _____

$$\delta = \underline{\hspace{2cm}}$$

[E3]:

Bestämning av viskositeten η :

$$\eta = \underline{\hspace{2cm}}$$

Poäng