

Difrakcia na povrchových vlnách na vode.

Úvod

Vznik a šírenie vln na povrchu kvapaliny sú dôležité a dobre preskúmané javy. Pre takéto vlny je vratná sila v kmitajúcej kvapaline spôsobená sčasti gravitáciou a sčasti povrchovým napätím. Pre vlnové dĺžky oveľa menšie než kritická vlnová dĺžka λ_c , je vplyv gravitácie zanedbateľný a uvažuje sa iba vplyv povrchového napätia ($\lambda_c = 2\pi \sqrt{\frac{\sigma}{\rho g}}$, kde σ je povrchové napätie, ρ hustota kvapaliny a g tiažové zrýchlenie).

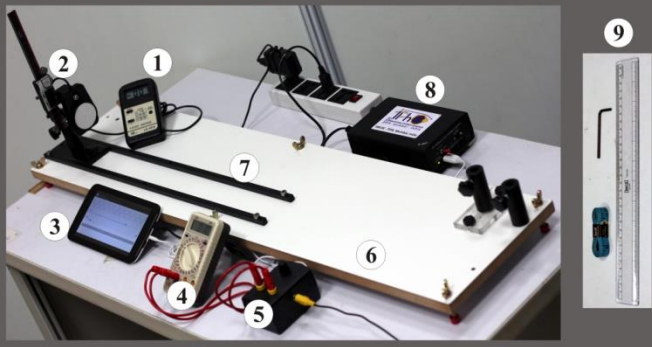
V tejto časti budete skúmať povrchové vlny na povrchu kvapaliny, ktoré majú vlnové dĺžky menšie než λ_c . Povrchové napätie je vlastnosť kvapalín, vplyvom ktorej sa povrch kvapaliny správa ako pružná membrána. Keď sa povrch kvapaliny poruší, porucha sa šíri ako vlna na pružnej membráne. Na vytvorenie vln na povrchu vody sa použije elektricky napájaný vibrátor. Keď laserový lúč dopadá šikmo na povrchové vlny, tieto vlny pôsobia na svetlo ako odrazová difrakčná mriežka a vzniká difrakčný obrazec.

Povrchové vlny sú tlmené (ich amplitúda postupne klesá) pozdĺž smeru ich šírenia. Toto tlmenie je spôsobené viskozitou kvapaliny, vlastnosťou, kedy susedné vrstvy kvapaliny na seba pôsobia v dôsledku relatívneho pohybu.

Úloha

Použiť difrakciu spôsobenú povrchovými vlnami na vodnej hladine na určenie povrchového napätia a viskozity danej vzorky vody.

Zoznam pomôcok

	[1]	Expozimeter (pripojený k boxu senzora svetla)
	[2]	Box senzora svetla pripevnený k posuvnému meradlu umiestnenému na držiaku tienidla
	[3]	Tablet (použitý ako generátor sínusovej vlny)
	[4]	Digitálny multimeter
	[5]	Ovládač vibrátora
	[6]	Drevená doska.
	[7]	Koľajnice pre posúvanie boxu senzora svetla
	[8]	Jednosmerný regulovateľný napájací zdroj
	[9]	Šesťhranný kľúč, meracia páska a pravítko

Obrázok 1: Zostava na drevenej doske


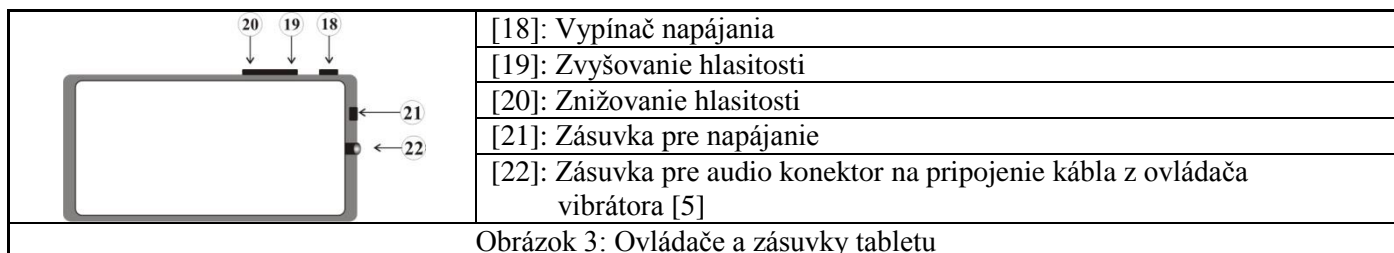
	[10]	Stupnica a jazdec s ukazovateľom polohy vibrátora
	[11]	Zostava vibrátora
	[12]	Tácka s vodou
	[13]	Plastikový kryt
	[14]	Zostava na nastavenie výšky vibrátora
	[15]	Laser 2 (vlnová dĺžka $\lambda_L = 635 \text{ nm}$, $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$)
	[16]	Vzorka vody pre experiment
	[17]	500 ml odmerný valec

Figure 2: Napájací jednotka vibrátora a lasera

Opis zariadenia

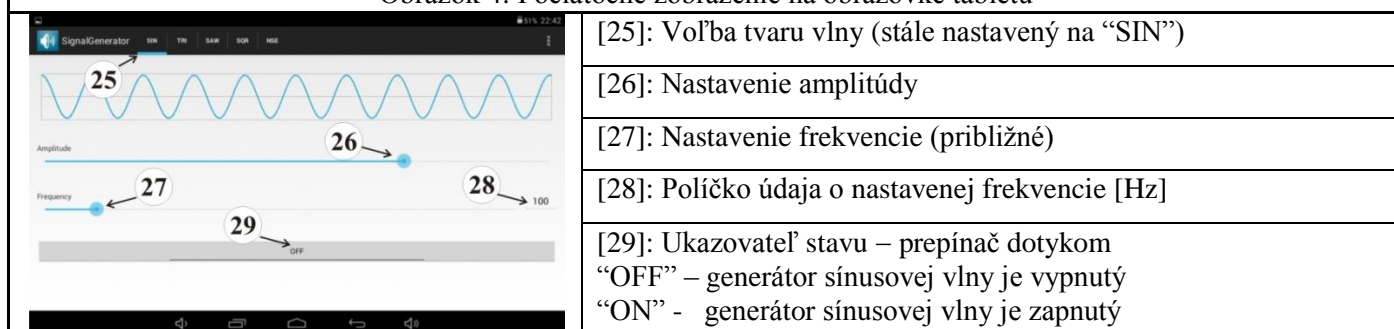
a) Tablet ako generátor sínusovej vlny



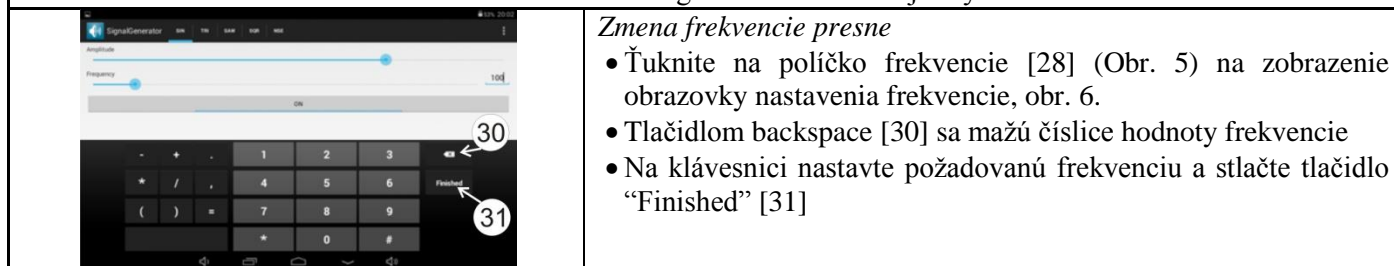
- Pozn.:
- Majte tablet stále pripojený k napájaniu
 - Jemne stlačte vypínač napájania jedenkrát pre zobrazenie základnej obrazovky
 - Nastavte výstupnú hlasitosť na maximum pomocou tlačidla [19]



Obrázok 4: Počítateľné zobrazenie na obrazovke tabletu



Obrázok 5: Použitie generátora sínusovej vlny

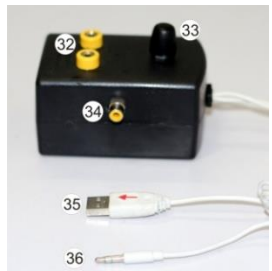

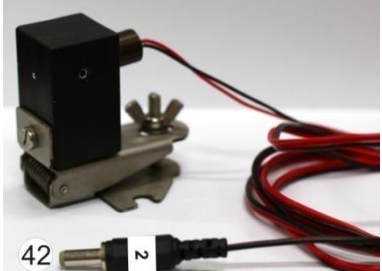







Obrázok 6: Obrazovka znázorňujúca presné nastavenie hodnoty frekvencie

Zmena amplitúdy


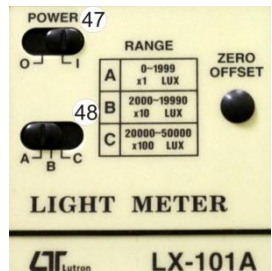

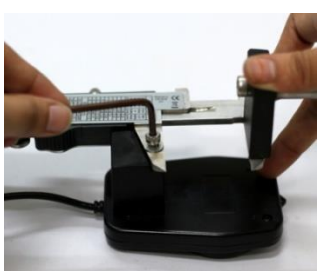
- Na zmenu amplitúdy použite amplitúdový slider [26] na obrazovke tabletu alebo nastavovací gombík [33] na ovládacom bloku vibrátora [5]

b) Ovládač vibrátora, digitálny multimeter, jednosmerný regulovaný zdroj a ich pripojenia

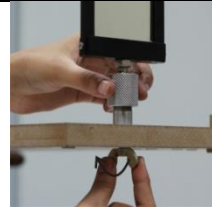
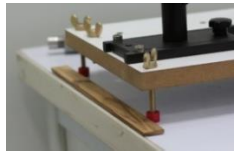
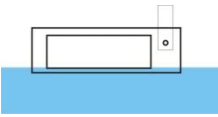
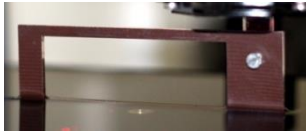

		
[32]: Zásuvky pre pripojenie káblov z multimetra	[37]: Lišta vibrátora	Obrázok 10: Laser 2 [15] (pripevnený na kovový držiak) s konektorom [42]
[33]: Gombík na zmenu amplitúdy sínusovej vlny	[38]: Konektor kábla zo sústavy vibrátora	
[34]: Zásuvka pre konektor kábla zo zostavy vibrátora	Obrázok 8: Zostava vibrátora [11]	[43]: Prepínač intenzity (udržujte v polohe "High")
[35]: USB konektor na pripojenie k jednosmernému regulovanému zdroju	[39]: AC/DC prepínač	[44]: Zásuvka pre USB konektor z ovládača vibrátora
[36]: Audio konektor na pripojenie k tabletu	[40]: Nastavenie rozsahu	[45]: Zásuvka pre konektor z lasera 2
	[41]: Vstupné svorky	
Obrázok 7: Ovládač vibrátora [5]	Obrázok 9: Digitálny multimeter[4]	Obrázok 11: Jednosmerný regulovaný zdroj [8]

			
[36]→[22]	[38]→[34]	[41]↔[32]	[35]→[44] and [42]→[45]
Obrázok 12: Pripojenia medzi tabletom, ovládačom vibrátora a jednosmerným regulovaným zdrojom			

c) Sústava senzora svetla a expozimetra

			
[46]: Kruhový otvor - apertúra na senzore svetla	[47]: Vypínač expozimetra	Jedna čeľusť posuvného meradla sa upevní do otvoru na zadnej strane senzora svetla	Skrutku utiahnite šesťhranným kľúčom
[48]: A, B, C – Rozsahy citlivosti expozimetra			
Obrázok 13: Sústava senzora svetla a expozimetra		Obrázok 14: Pripojenie boxu senzora svetla	

Začiatkové nastavenie

				
Obrázok 15 Odstránenie pravého reflektora	Obrázok 16: Skrutky v doske sa dotýkajúce lišty	Obrázok 17: Správna poloha lišty vibrátora a čierneho gombíka pre nastavenie výšky		

1. Odpojte konektor lasera 1 a pripojte konektor lasera 2 do zásuvky DC regulovaného zdroja. Poznámka: Laser 2 už bol nastavený pre špeciálny uhol dopadu. Nedotýkajte sa lasera 2!

2. Odstráňte pravý reflektor použitý v E-I otočením skrutky pod drevenou doskou (Obr. 15).

3. Odstráňte tienidlo používané v E-I a vložte držiak senzora svetla do držiaka tienidla. Držiak tienidla umiestnite medzi vodiace koľajnice.

4. Umiestnite drevenú základnú dosku [6] tak, aby sa jej skrutky dotýkali drevenej lišty pripevnenej k pracovnému stolu (Obr. 16).

5. Zdvihnite bočnú stenu plastového krytu vibrátorovej/laserovej jednotky. Nalejte presne 500 ml vody do vaničky [12] s použitím odmerného valca [17].

6. Zapnite laser. Zamerajte odrazený laserový lúč na svetelný senzor. Keď pohybuje sústavou svetelného senzora dozadu a dopredu pozdĺž koľajnic, stopa laserového lúča by sa mala pohybovať vertikálne (nie šikmo voči vertikále). Menším bočným posunutím drevenej dosky a vertikálnym pohybom sústavy senzora svetla možno dostať laserovú stopu presne na otvor (apertúru). Intenzita indikovaná expozimetrom bude maximálna, ak stred laserového bodu bude zhodný so stredom otvoru.

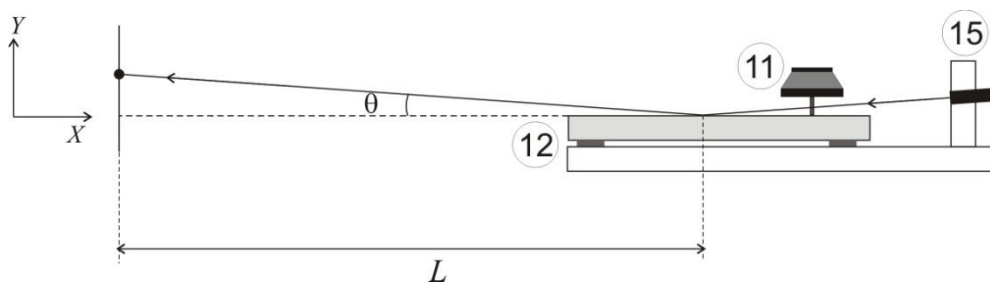
7. Pásik vibrátora už bol nastavený do správnej vertikálnej polohy. **NENASTAVUJTE** čierny gombík na nastavenie výšky sústavy [14] (Obr. 17).

8. So sústavou vibrátora možno pohybovať dozadu a dopredu horizontálne. Ukazovateľ polohy vibrátora ukazuje polohu sústavy na stupnici [10].

9. Pokiaľ sa zaznamenávajú dáta, dajte záklopku plastového krytu dole, aby sa chránil povrch vody pred vplyvom prúdenia vzduchu.

Experiment

Časť C: Meranie uhla θ laserovým lúčom a povrchom vody



Obrázok 18: Meranie uhla θ

Úlohy	Opis	Body
C1	Posúvajte senzor svetla po vhodných krokoch pozdĺž koľajníc. Určujte súradnicu X tak, aby s jej zmenšovaním klesala aj zvislá odchýlka Y stopy lúča. Namerané hodnoty zapíšte do tabuľky Table C1. (Nastavte vhodný rozsah expozimetra)	1.0
C2	Zostrojte vhodný graf (označte ho Graph C1) a pomocou jeho smernice určte uhol θ v stupňoch.	0.6

Časť D: Určenie povrchového napätia σ danej vzorky vody

Z teórie difrakcie vyplýva vzťah

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

kde, $k = 2\pi/\lambda_w$ je vlnové číslo povrchovej vlny,

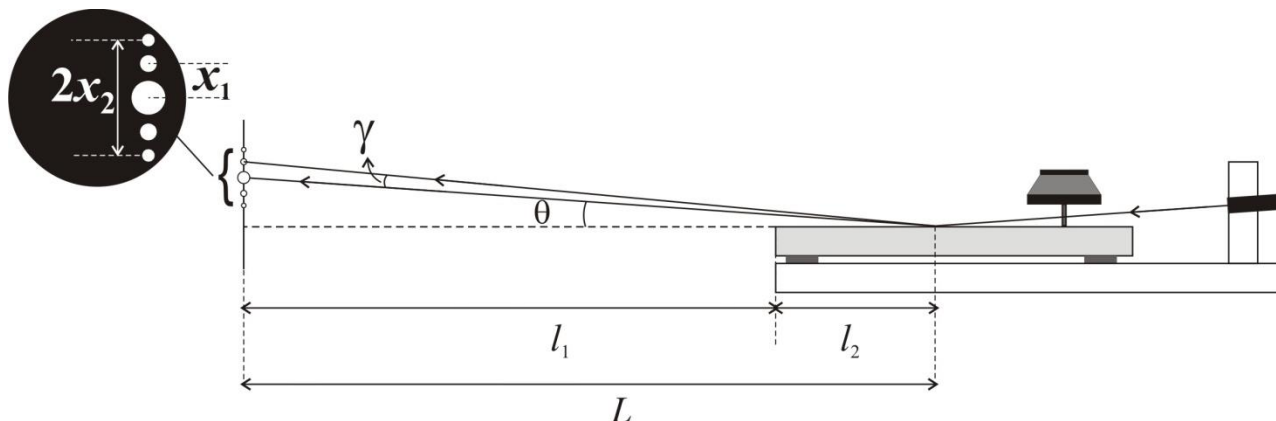
λ_w a λ_L sú vlnové dĺžky povrchovej vlny a svetla lasera.

Uhol γ je uhlová odchýlka medzi nultým maximom a maximom prvého rádu (Obr. 19).

Frekvencia f vlnenia závisí od vlnového čísla k vzťahom

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

kde, $\omega = 2\pi f$, ρ je hustota vody a q je celé číslo.



Obrázok 19: Schéma zariadenia

1. Upevnite box senzora svetla (použite upevňovací pás na podstavci tienidla) v polohe podľa obr. 1. Zvoľte vhodný rozsah expozimetra.

Úloha	Opis	Body
D1	Zmerajte dĺžku l_1 medzi otvorom senzora svetla a okrajom tácky s vodou. Vidíte čiaru, kde sa laserový lúč dotýka hladiny vody. Stred tejto čiary je bod dopadu lúča. Zmerajte vzdialenosť l_2 tohto bodu od okraja tácky. Dostanete dĺžku L . Zapíšte ju do odpovedového hárku (answersheet).	0.3

2. Nastavte polohu vibrátora na značku 7,0 cm na vodorovnej stupnici [10].
3. Nastavte frekvenciu sínusovej vlny na 60 Hz a nastavte jej amplitúdu tak, aby boli prvé a druhé difrakčné maximumán difrakčného obrazca dobre viditeľné (Obr. 19 – zväčšený výrez).

Úlohy	Opis	Body
D2	Zmerajte vzdialenosť medzi maximami druhého rádu pod a nad nultým maximom. Potom vypočítajte x_1 . Výsledky zapíšte do tabuľky Table D1. Celé opakujte pre vyššie frekvencie, ktoré meníte po vhodných krokoch.	2.8
D3	Zostrojte vhodný graf (označte ho Graph D1) a do tabuľky Table D2 vložte hodnoty potrebné na určenie q . Napíšte výslednú rovnicu (2) s hodnotou q zaokrúhlenou na najbližšie celé číslo.	0.9
D4	Podľa rovnice (2) určte potrebné veličiny a zostrojte vhodný graf (označte ho Graph D2) a z jeho smernice určte povrchové napätie σ . Hodnoty veličín zapíšte do tabuľky Table D3. ($\rho = 1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	1.2

Časť E: Určenie koeficientu útlmu δ a viskozity kvapaliny η

Povrchová vlna je tlmená v dôsledku viskozity vody. Amplitúda vlny h exponenciálne klesá so vzdialenosťou s meranou od vibrátora

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

kde, h_0 je amplitúda pri vibrátore a δ koeficient útlmu.

Amplitúda h_0 závisí od efektívnej hodnoty napätia U privedeného na vibrátor,

$$h_0 \propto (U)^{0.4} \quad (4)$$

Koeficient útlmu závisí od viskozity podľa vzťahu

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

kde η je viskozita kvapaliny.

- Nastavte vibrátor na ukazovateľ polohy 8,0 cm.
- Frekvenciu nastavte na 100 Hz.
- Nastavte senzor svetla pomocou posuvného meradla tak, aby maximum 1. rádu dopadalo na otvor senzora.
- Amplitúdu sínusovej vlny nastavte pomocou U tak, aby bol údaj expozimetra 100 na rozsahu A. Poznačte si napätie U zodpovedajúce údaju expozimetra.
- Posúvajte vibrátor v smere od dopadu lúča po krokoch 0,5 cm a vždy nastavte napätie U tak, aby expozimeter ukazoval 100. Zapisujte hodnoty U .

Úlohy	Opis	Body
E1	Zapíšte údaje pre každý krok do tabuľky Table E1.	1.9
E2	Zostrojte vhodný graf (označený Graph E1) a z jeho smernice určte koeficient útlmu.	1.0
E3	Vypočítajte viskozitu η danej vzorky vody.	0.3