**Difrakce způsobená povrchovými vlnami na vodě**

**Úvod**

Vznik a šíření vln na povrchu kapaliny jsou důležité a dobře prozkoumané jevy. U těchto vln je vratná síla působící na kmitající tekutinu částečně síla tíhová, částečně je důsledkem povrchového napětí. Pro vlnové délky mnohem kratší, než je kritická vlnová délka *λ*c, lze zanedbat tíhovou sílu a uvažovat jevy způsobené pouze povrchovým napětím ($λ\_{c}=2π\sqrt{\frac{σ}{ρg}}$, kde *σ* značí povrchové napětí, *ρ* je hustota kapaliny a *g* je tíhové zrychlení).

V této části úlohy budete studovat povrchové vlny kapaliny způsobené povrchovým napětím, s vlnovými délkami kratšími než *λ*c. Povrchové napětí charakterizuje vlastnost kapaliny, díky níž se povrch kapaliny chová jako napnutá membrána. Porušíme-li klidný povrch kapaliny, rozruch se šíří jako vlna po membráně. Zde použijeme jako zdroj povrchových vln na kapalině elektrický vibrátor. Dopadne-li laserový paprsek pod velkým úhlem na takovéto povrchové vlny, chovají se jako odrazová mřížka a vytváří dobře definovaný difrakční obrazec.

Povrchové vlny jsou tlumené (jejich amplitudy postupně klesají se vzdáleností od zdroje). Toto tlumení je způsobeno viskozitou kapaliny, tedy vnitřním třením mezi dvěma sousednímu vrstvami v kapalině při jejich vzájemném pohybu.

**Cíl**

Pomocí difrakce na povrchových vlnách na vodě určit povrchové napětí a viskozitu daného vzorku vody.

**Seznam pomůcek**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| C:\Users\Shirish\Desktop\PhO10June\figuresnew\platformphotos.JPG | [1] | Luxmetr (připojený k světelnému čidlu) |
| [2] | Sestava světelného čidlo připevněná k digitálnímu posuvnému měřítku (šupléře) upevněnému do podstavce stínítka  |
| [3] | Tablet (použitý jako generátor sinusových vln) |
| [4] | Digitální multimetr |
| [5] | Řídící krabička vibrátoru  |
| [6] | Dřevěná základna |
| [7] | Kolejnice umožňující pohyb světelného čidla  |
| [8] | Nastavitelný zdroj stejnosměrného napětí |
| [9] | Imbus klíč, krejčovský metr a plastové měřítko |
| Obrázek 1: Část dřevěné základny  |
| C:\Users\Shirish\Desktop\PhO27June\figures\Standtop.JPG | [10] | Měřítko a jezdec s ukazatelem polohy vibrátoru  |
| [11] | Sestava vibrátoru |
| [12] | Tác na vodu  |
| [13] | Plastový kryt |
| [14] | Sestava k nastavení výšky vibrátoru  |
| [15] | Laser 2 (vlnová délka, *λ*L = 635 nm, 1nm = 10-9 m) |
| [16] | Vzorek vody |
| [17] | 500 ml odměrný válec |
| Obrázek 2: Část vibrátoru a laseru |

**Popis přístrojového vybavení**

1. **Tablet sloužící jako generátor sinových vln**

|  |  |
| --- | --- |
| C:\Users\Shirish\Desktop\tabletschematic.JPG | [18]: Vypínač |
| [19]: Zvýšení hlasitosti |
| [20]: Snížení hlasitosti |
| [21]: Konektor pro nabíjení |
| [22]: Zdířka pro audio konektor kabelu připojeného k řídící krabičce vibrátoru [5] |
| Obrázek 3: Vypínače a konektorové zásuvky tabletu |
| Pozn. | * Nechte neustále tablet nabíjet.
* Jemně *jednou* stiskněte tlačítko vypínače a naběhne úvodní obrazovka.
 |
|  | * Nastavte hlasitost na maximum použitím tlačítka „Zvýšení hlasitosti“ [19].
 |
| C:\Users\Shirish\Desktop\lockscreen.JPG | C:\Users\supshi\Desktop\photos\Screenshot_2015-04-22-22-18-31.png | C:\Users\Shirish\Desktop\appicon.JPG | Cover art |
| Dotkněte se ikonky [23] a posuňte ji. Tablet se odemkne.  | Ťuknutím na ikonu [24] spustíte generátor sinových vln. |
| Obrázek 4: Úvodní dvě obrazovky tabletu |
| C:\Users\Shirish\Desktop\siggenprog.JPG | [25]: Výběr tvaru vlny (ponechte stále na “SIN”) |
| [26]: Posuvník amplitudy |
| [27]: Posuvník frekvence |
| [28]: Pole s číselnou hodnotou frekvence (v Hz) |
| [29]: Indikátor/přepínač stavu aplikace “OFF” – generátor sinových vln je vypnutý“ON” – generátor sinových vln je zapnutý |
| Obrázek 5: Aplikace Generátor sinových vln |
| **C:\Users\Shirish\Desktop\numberpad.JPG** | *Jak změnit frekvenci** Ťukněte na pole s číselnou hodnotou frekvence [28] (obr. 5) a objeví se numerická klávesnice
* Stlačte tlačítko [30] a smažte hodnotu frekvence
* Zadejte potřebnou frekvenci a zmáčkněte tlačítko “Finished”[31].
 |
| Obrázek 6: Obrazovka s numerickou klávesnicí při zadávání hodnoty frekvence |

|  |
| --- |
| *Jak změnit amplitudu** Použijte posuvník amplitudy [26] na obrazovce tabletu nebo otočný regulátor [33] na řídící krabičce vibrátoru [5] a měňte výstupní amplitudu.
 |

**b) Řídící krabička vibrátoru, digitální multimetr, nastavitelný zdroj stejnosměrného napětí a jejich propojení**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| C:\Users\Shirish\Desktop\PhO11June\figures\vibcontrolbox.JPG | C:\Users\Shirish\Desktop\vibpin.JPG | C:\Users\Shirish\Desktop\PhO11June\figuresnew\laserblock.JPG |
| [32]: Zdířky k propojení s multimetrem  | [37]: Proužek vibrátoru | Obrázek 10: Laser 2 s konektorem (připevněný ke kovovému držáku)[15] |
| [33]: Otočný regulátor měnící amplitudu sinových vln  | [38]: Konektor kabelu od sestavy vibrátoru  | C:\Users\Shirish\Desktop\PhO11June\figuresnew\PS.JPG |
| [34]: Zdířka pro konektor kabelu od sestavy vibrátoru  | Obrázek 8: Sestava vibrátoru[11]  |
| [35]: USB konektor k připojení k nastavitelnému zdroji stejnosměrného  | C:\Users\Shirish\Desktop\DMM.JPG | [39]: Přepínač stejnosm. (DC) / střídavé (AC)  | [43]: Přepínač intenzity (ponech v pozici “High”, což znamená „Hodně“.) |
| [36]: Audio konektor k připojení k tabletu  | [40]: Otočný měnič rozsahu | [44]: USB zásuvka pro USB konektor řídící krabičky vibrátoru  |
|  | [41]: Vstupní zdířky | [45]: Zdířka pro konektor laseru 2  |
| Obrázek 7: Řídící krabička vibrátoru [5] | Obrázek 9: Digitální multimetr[4] | Obrázek 11: Nastavitelný zdroj stejnosměrného napětí [8] |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| C:\Users\Shirish\Desktop\PhO27May\figures\Photos5June\IMG_7290.JPG | C:\Users\Shirish\Desktop\PhO11June\figures\Photos10June\IMG_5566.JPG | C:\Users\Shirish\Desktop\QP4March\Photos\Photos\IMG_7095.JPG | C:\Users\Shirish\Desktop\PhO11June\figures\Photos10June\IMG_5572.JPG |
| [36]→[22] | [38]→[34] | [41]↔[32] | [35]→[44] a [42]→[45] |
| Obrázek 12: Propojení tabletu, řídící krabičky vibrátoru a nastavitelného zdroje stejnosmětného napětí  |

**c) Sestava světelného čidla a luxmetr**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **C:\Users\Shirish\Desktop\PhO11June\figures\powerconn.JPG** | C:\Users\Shirish\Desktop\PhO11June\figures\lightmeter.JPG | C:\Users\Shirish\Desktop\PhO11June\figures\Photos10June\IMG_5588.JPG | C:\Users\Shirish\Desktop\PhO11June\figures\Photos10June\IMG_5597.JPG |
| [46]: Kruhová apertura světelného čidla [47]: Vypínač luxmetru[48]: A, B, C – Rozsahy citlivosti luxmetr | Jedna čelist posuvného měřítka pasuje do drážky na zadní straně světelného čidla  | Utáhněte šroub (Vašku, po směru hodinových ručiček) imbus klíčem.  |
| Obrázek 13: Sestava světelného čidla a luxmetr | Obrázek 14: Upevnění sestavy světelného senzoru |

**Počáteční nastavení**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| C:\Users\Shirish\Desktop\PhO7June\figuresnew\removemirror.JPG | E:\IMG_5462.JPG | C:\Users\Shirish\Desktop\Fig5.JPG | C:\Users\Shirish\Desktop\PhO11June\figures\Photos10June\IMG_5632.JPG | C:\Users\Shirish\Desktop\PhO16June\figures\IMG_5211.JPG |
| Obrázek 15: Odstranění pravého zrcadla | Obrázek 16: Stojné šrouby dotýkající se dřevěného pásku | Obrázek 17: Správná poloha proužku vibrátoru a černý mechanický otočný regulátor nastavení výšky.  |

1. Odpojte konektor laseru 1 a připojte konektor laseru 2 do zdířky regulovatelného zdroje stejnosměrného napětí. Pozn: Laser 2 je již nastaven na konkrétní úhel dopadu. Nedotýkejte se laseru!

2. Odstraňte pravé zrcadlo z úlohy E-I povolením křídlové matky pod dřevěnou základnou (obr. 15).

3. Odstraňte stínítko z úlohy E-I a vložte sestavu světelného čidla do základny stínítka. Vložte základnu stínítka mezi vodící kolejnice dráhy [7].

4. Umístěte dřevěnou základnu [6] tak, aby se její stojné šrouby dotýkaly dřevěného pásku nalepeného na pracovní stůl (obr. 16).

5. Zvedněte čelní stěnu plastového krytu části vibrátoru a laseru. Nalijte přesně 500 ml vzorku vody do tácu [12] pomocí odměrného válce [17].

6. Zapněte laser. Zachyťte odraženou stopu laseru na světelné čidlo. Při pohybu sestavy světelného čidla podél kolejnicové dráhy by se laserová stopa měla pohybovat pouze ve svislém směru a ne pod nenulovým úhlem vzhledem ke směru svislému. Drobné boční posunutí dřevěné základny a posunutí sestavy světelného čidla ve svislém směru vám pomůže zachytit laserovou stopu přesně na aperturu. Intenzita měřená luxmetrem bude maximální, pokud bude střed laserové stopy přesně ve středu apertury.

7. Proužek vibrátoru již byl nastaven do správné svislé polohy. **Nedotýkejte se** černého knoflíku na regulování výšky sestavy vibrátoru [14] (obr. 17).

8. Sestavou vibrátoru lze pohybovat ve vodorovném směru. Ukazatel polohy vibrátoru ukazuje polohu sestavy na měřítku [10].

9. Při vlastním měření mějte čelní stěnu platového krytu dole, aby vám nefoukalo z okolí na vodní hladinu.

**Experiment**

**Část C: Měření úhlu *θ*, který svírá laserový paprsek a vodní hladina**



Obrázek 18: Měření úhlu *θ*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Úlohy | Popis | Body |
| C1 | Pohybujte sestavou světelného čidla po vhodných krocích podél dráhy. Zapisujte posunutí X sestavy a odpovídající změnu výšky Y laserové stopy. Zapište svá měření do tabulky C1. (K měření svislého posunutí využijete luxmetr, nastavte tedy vhodný rozsah.)  | **1,0** |
| C2 | Sestrojte vhodný graf (označte jej Graph C1) a určete úhel *θ* ve stupních ze směrnice vašeho grafu.  | **0,6** |

**Part D: Určování povrchového napětí *σ* daného vzorku vody**

Z teorie ohybu (difrakce) lze ukázat, že platí

 $k=\frac{2π}{λ\_{L}}sinθ sinγ$ (1)

kde, $k=^{2π}/\_{λ\_{w}}$ označuje vlnové číslo povrchových vln,

*λ*w je vlnová délka povrchového vlnění a *λ*L je vlnová délka laseru.

Úhel *γ* značí úhlovou vzdálenost mezi nultým (prostředním) maximem a maximem prvního řádu (obr. 19).

Pro frekvence kmitání (*f*) vln s vlnovým číslem *k*platí

 $ω=\sqrt{\frac{σ}{ρ}k^{q}}$, (2)

kde, $ω=2πf$, *ρ* je hustota vody a *q* je celé číslo.

****

Obrázek 19: Schéma experimentálního složení

1. Upevněte sestavu světelného čidla [2] (pomocí utahovacího šroubu na stojanu stínítka) na konci kolejnic v poloze zobrazené na obr. 1. Zvolte vhodný rozsah na luxmetru.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Úloha | Popis | Body |
| D1 | Změřte vzdálenost *l*1 mezi aperturou světelného čidla a vnějším okrajem tácu s vodou. Na hladině uvidíte úsečku v místě, kde laserový svazek dopadá na vodní hladinu. Střed této úsečky považujte za bod dopadu laserového paprsku. Změřte *l*2, vzdálenost středu úsečky od vnějšího okraje tácu. Vypočtěte *L*. Zapište své výsledky do listu odpovědí.  | **0,3** |

1. Nastavte sestavu vibrátoru tak, aby ukazatel polohy byl v poloze 7,0 cm na vodorovné měřítku [10].
2. Nastavte frekvenci sinových vln na 60 Hz a nastavte amplitudu kmitů tak, aby maxima prvního a druhého řádu byla jasně viditelná (obr. vložený v obr. 19).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Úlohy | Popis | Body |
| D2 | Změřte vzdálenost mezi maximy 2. řádu nad a pod prostředním maximem. Z těchto hodnot vypočtěte *x*1. Zapište dvé výsledky do tabulky D1. Opakujte měření několikrát pro rostoucí frekvence ve vhodných krocích. | **2,8** |
| D3 | Určete vhodné proměnné, abyste mohli sestrojit vhodný graf, z jehož směrnice půjde snadno spočítat hodnota *q*. Zapište hodnoty těchto proměnných do tabulky D2. Sestrojte graf, ze kterého určíte hodnotu *q* (označte graf D1). Napište rovnici (2) s vhodnou celočíselnou hodnotou *q*. | **0,9** |
| D4 | Z rovnice (2) určete vhodné proměnné, abyste mohli sestrojit vhodný graf, z jehož směrnice půjde snadno spočítat hodnota *σ* . Zapište hodnoty těchto proměnných do tabulky D3. Sestrojte graf, ze kterého určíte hodnotu *σ* (označte graf D2). (*ρ* =1000 kg.m-3). | **1,2** |

**Část E: Určení konstanty útlumu *δ* a viskozity kapaliny *η***

Povrchové vlny jsou tlumené díky viskozitě vody. Amplituda vlny *h* klesá exponenciálně se vzdáleností *s* měřené od vibrátoru,

 $h=h\_{0}e^{-δs}$ (3)

kde, *h*0 je amplituda u vibrátoru a *δ* konstanta útlumu.

Z experimentu plyne, že amplituda *h*0 závisí na napětí *V*rms přivedeném na sestavu vibrátoru následujícím způsobem,

 $h\_{0}∝\left(V\_{rms}\right)^{0.4}$ (4)

Vztah mezi konstantou útlumu a viskozitou je

 $δ=\frac{8}{3}\frac{πηf}{σ}$ (5)

kde, *η* je viskozita kapaliny.

1. Nastavte ukazatel polohy vibrátoru na 8,0 cm.
2. Nastavte frekvenci na 100 Hz.
3. Pomocí posuvného měřítka nastavte výšku světelného čidla tak, aby maximum prvního řádu difrakčního obrazce dopadalo na aperturu.
4. Nastavte amplitudu sinových vln (*V*rms) tak, aby luxmetr ukazoval 100 v rozsahu A. Zapište odpovídající hodnotu *V*rms.
5. Pohybujte vibrátorem směrem od bodu dopadu laserového paprsku po krocích 0,5 cm a pokaždé nastavte amplitudu *V*rms, aby luxmetr ukazoval hodnotu 100. Zapisujte příslušné *V*rms.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Úlohy | Popis | Body |
| E1 | Zapište svá měření v každém kroku do tabulky E1.  | **1,9** |
| E2 | Sestrojte vhodný graf (označte jej Graph E1) a určete konstantu útlumu *δ* z jeho směrnice. | **1,0** |
| E3 | Vypočtěte viskozitu *η* daného vzorku vody.  | **0,3** |