

## Diffrakció vízfelszínen kialakuló kapilláris hullámokon

### Bevezetés

A folyadékok felszínén kialakuló és terjedő hullámok fontos és jól leírt jelenségek. Ezeknél a hullámoknál a rezgő folyadékra ható visszatérítő erőt részben a gravitáció, részben a felületi feszültség okozza. Ha a hullámhossz sokkal kisebb, mint a  $\lambda_c$  kritikus hullámhossz, a gravitáció hatása elhanyagolható, és csak a felületi feszültség hatását kell figyelembe venni ( $\lambda_c = 2\pi \sqrt{\frac{\sigma}{\rho g}}$ , ahol  $\sigma$  a felületi feszültség,  $\rho$  a folyadék sűrűsége, és  $g$  a nehézségi gyorsulás).

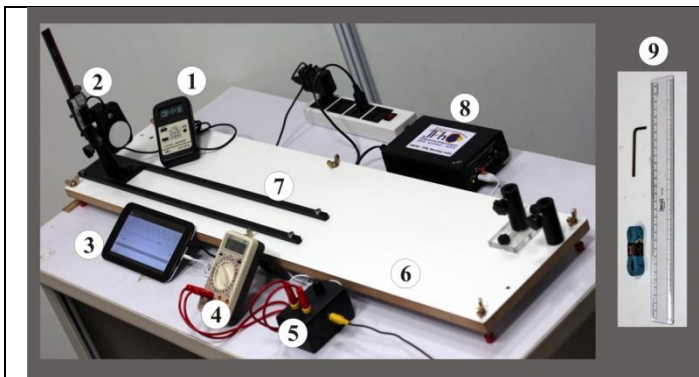
Ebben a részben olyan, a folyadék felületén terjedő felületi feszültség által meghatározott hullámokat, ún. kapilláris hullámokat fognsz tanulmányozni, melyek hullámhossza sokkal kisebb, mint a kritikus  $\lambda_c$  hullámhossz. A felületi feszültség a folyadékok olyan tulajdonsága, amely miatt a folyadékfelszín egy kifeszített membránhoz hasonlít. Ha a folyadékfelszínt megzavarjuk, a zavar hullámként terjed tovább, hasonlóan a membránhoz. Egy elektromos rezgéskeltő segítségével hozunk létre hullámokat a víz felszínén. Ha egy lézersugár lapos szögben esik ezekre a felületi hullámokra, akkor a hullámok reflexiók rácsként működnek, aminek következtében jól meghatározott diffrakciós kép jön létre.

Terjedésük során a kapilláris hullámok csillapodnak (amplitúdójuk fokozatosan csökken). A csillapítás oka a folyadék viszkozitása, amely a szomszédos rétegek egymáshoz viszonyított mozgását fékezi.

### A mérés célja

A rendelkezésre álló vízminta felületi feszültségének és viszkozitásának meghatározása a kapilláris hullámokon létrejövő diffrakció alapján.

### Mérési eszközök



[1]	Fénymérő (összekötve a fényszennozzral)
[2]	Fényszennoz egy ernyő állványra helyezett tolmérőre szerelve
[3]	Tablet (szinuszos hanggenerátorként)
[4]	Digitális multiméter
[5]	Rezgéskeltő szabályozó doboz
[6]	Fa alaplap
[7]	Sín pár a fényszennoz mozgásához
[8]	Egyenáramú tápegység
[9]	Imbusz kulcs, mérőszalag, vonalzó

1. ábra: Fa alaplap egység

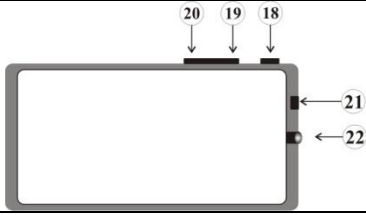


[10]	Skála és csúszka a rezgéskeltő helyzetének jelzésére
[11]	Rezgéskeltő
[12]	Víz tartó
[13]	Műanyag borító
[14]	Rezgéskeltő magasságállító
[15]	2-es lézermódul (hullámhossz: $\lambda_L = 635 \text{ nm}$ , $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ )
[16]	Vízminta a kísérlethez
[17]	500 ml-es mérőhenger

2. ábra: Rezgéskeltő/lézer egység





## Mérési eszközök leírása

### a) Tablet mint szinuszos hanggenerátor

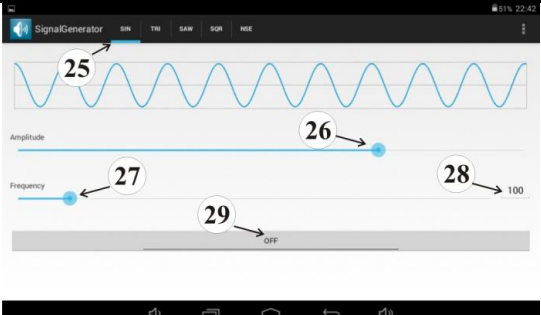
	[18]: Bekapcsológomb (Power Switch)
	[19]: Hangerő fel (Volume up)
	[20]: Hangerő le (Volume down)
	[21]: Töltő csatlakozó
	[22]: Audio csatlakozó az [5]-ös rezgéskeltő szabályozó dobozból jövő vezetékhez

3. ábra: A tablet kapcsolói és csatlakozói

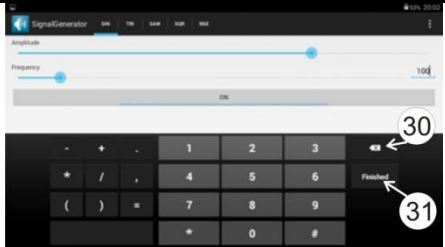
- Megjegyzések
- A tablet mindig legyen rajta a töltőjén.
  - Finoman nyomd meg *egyszer* a bekapcsoló gombot (power switch), hogy megjelenjen a kezdőképernyő.
  - Állítsd a kimenő hangerőt (output volume) a maximális értékre a [19]-es "Volume up" gombbal.

			
Érintsd meg és húzd el a [23]-as ikont a zárolás feloldásához		Koppints a [24]-es ikonra a szinuszos hanggenerátor elindításához	

4. ábra: A tablet kezdőképernyője

	[25]: Hullámforma választó (legyen mindig "SIN")
	[26]: Amplitúdó csúszka
	[27]: Frekvencia csúszka
	[28]: Frekvencia érték mező (Hz)
	[29]: Alkalmazás állapot jelző/kapcsoló "OFF" – a hanggenerátor KI van kapcsolva "ON" – a hanggenerátor BE van kapcsolva

5. ábra: A szinuszos hanggenerátor alkalmazás (sine wave generator application)

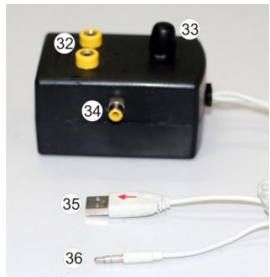

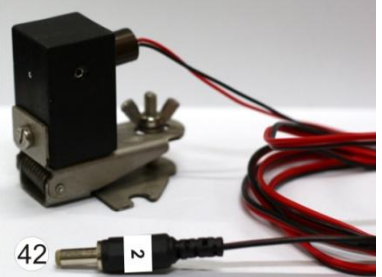

	<p><i>A frekvencia változtatása</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Koppints a frekvencia megadásához a [28]-as mezőre (5. ábra), hogy megjelenjen a numerikus billentyűzet</li> <li>• Használd a [30]-as backspace gombot a régi érték törlésére</li> <li>• Írd be a kívánt frekvenciát, és nyomd meg a [31]-es "Finished" gombot</li> </ul>
---	--





6. ábra: A numerikus billentyűzet (number pad) a frekvencia megadására

#### Az amplitúdó változtatása


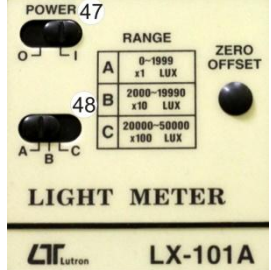

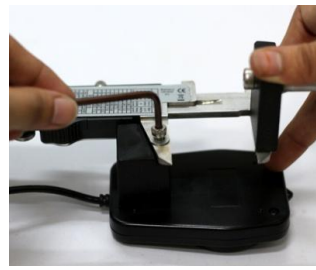
- A kimenő amplitúdó állításához használd vagy a tableten lévő [26]-os csúszkát, vagy az [5]-ös rezgéskeltő szabályozón lévő [33]-as állítógombot.

**b) Rezgékeltő szabályozó doboz, digitális multiméter, egyenáramú tápegység, összeköttetések**

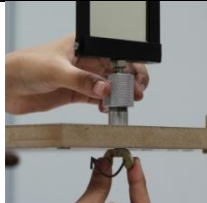
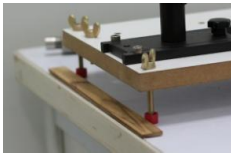
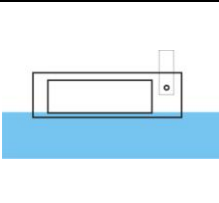
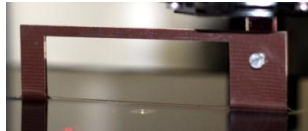

		
[32]: Aljzat a multiméterből jövő vezeték csatlakoztatására	[37]: Rezgékeltő csik	10. ábra: 2-es lézermódul [15] (fémömbre szerelve) csatlakozóval [42]
[33]: A szinuszos jel amplitúdóját állító gomb	[38]: A rezgékeltő csatlakozójának dugása	
[34]: Aljzat a rezgékeltőből jövő vezeték csatlakoztatására	8. ábra: Rezgékeltő [11]	[43]: Intenzitás kapcsoló (tartsd a "High" értéken)
[35]: USB csatlakozó, amit az egyenáramú tápegységhez kell csatlakoztatni	[39]: AC/DC kapcsoló	[44]: USB aljzat a rezgékeltő szabályozó dobozból jövő USB csatlakozóhoz
[36]: Vezeték, amit a tablet audió kimenetéhez kell csatlakoztatni	[40]: Méréshatár-váltó tekerőgomb	[45]: A 2-es lézermódul tápvezetékének csatlakozója
[41]: Bemeneti csatlakozók		
7. ábra: Rezgékeltő szabályozó doboz [5]	9. ábra: Digitális multiméter [4]	11. ábra: Egyenáramú tápegység [8]

			
[36]→[22]	[38]→[34]	[41]↔[32]	[35]→[44] és [42]→[45]
12. ábra: Összeköttetések a tablet, a rezgékeltő szabályozó doboz és az egyenáramú tápegység között			

**c) Fényszenzor és fénymérő**

			
[46]: Kör alakú nyílás (apertúra) a fényszenzoron [47]: A fénymérő ki/bekapcsolója [48]: A, B, C – A fénymérő érzékenységállásai		A tolómérő csúszkája a fényszenzor hátulján lévő részbe illik.	A csavar meghúzásához használd az imbuszkulcsot.
13. ábra: Fényszenzor és fénymérő		14. ábra: A fényszenzor rögzítése	

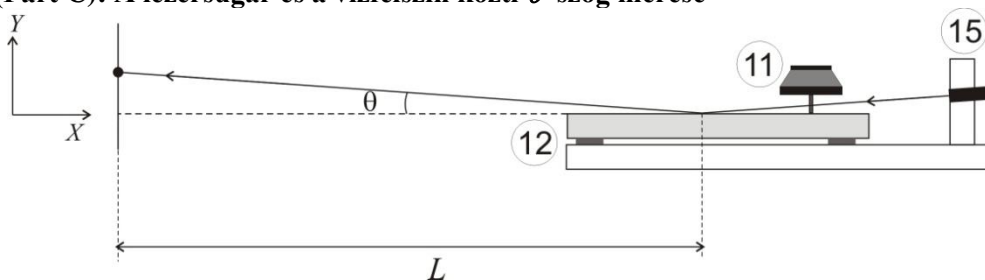
### Kezdeti beállítások

				
15. ábra: A jobb oldali tükröt eltávolítása	16. ábra: Az alsó csavarok érintik a facsíkot	17. ábra: A rezgékeltő csík megfelelő helyzete és a fekete gomb a magasság beállításához		

- Húzd ki az 1-es lézermodul csatlakozóját az egyenáramú tápegységből, és dugd be a 2-esét. Figyelem! A 2-es lézer be van előzetesen állítva egy meghatározott beesési szögre. Ne nyúlj hozzá!
- Távolítsd el az E-I mérésben használt jobb oldali tükröt az alsó csavar kitekerésével (15. ábra).
- Távolítsd el az E-I mérésben használt ernyőt, és rakd a helyére a fény szenzort az ernyő tartójába. Helyezd az ernyő tartóját a [7]-es sín pár közé.
- Helyezd el a [6]-os fa alaplapot úgy, hogy a csavarok az asztalra ragasztott facsíkokhoz illeszkedjenek (16. ábra).
- Emeld fel a rezgékeltő/lézer egység oldalán a műanyag borító oldallapját. Önts pontosan 500 ml-t a vízmintából a [12]-es tartóba a [17]-es mérőhenger segítségével.
- Kapcsold be a lézert. Keresd meg a visszavert fényfoltot a fény szenzoron. Ha a fény szenzor állványát előre-hátra mozgatod a sín pár között, akkor a fényfoltnak függőlegesen kell mozognia, nem ferdén. A fa alaplap kicsiny oldalirányú állításával és a fény szenzor függőleges mozgatásával elérheted, hogy a lézervény éppen a fény szenzor apertúrájára (kör alakú nyílására) essen. A fény mérő által mutatott intenzitás akkor lesz maximális, ha a lézer fényfolt közepe és az apertúra közepe egybeesik.
- A rezgékeltő csík már be van állítva a megfelelő függőleges helyzetbe. **NE állítsál** a [14]-es magasság állító fekete gombon (17. ábra).
- A rezgékeltő vízszintesen előre-hátra mozgatható. A rezgékeltő helyzet csuszkaája a [10]-es skálán mutatja a rezgékeltő helyét.
- A mérés során a műanyag borítás oldallapját tartsd leeresztve, hogy védjed a vízfelszínt a huzattól.

### Mérés

#### C rész (Part C): A lézersugár és a vízfelszín közti $\theta$ szög mérése



18. ábra: A  $\theta$  szög mérése

Feladat	Leírás	Pont
C1	Mozgasd a fényszenzort megfelelő lépésekben a sín pár között. Jegyezd fel a fényszenzor X elmozdulását és a lézer folt ehhez tartozó Y elmozdulását. A leolvasott eredményeket írd be a „Table C1” táblázatba! (A fénymérőn válassz megfelelő méréshatárt.)	1.0
C2	Rajzolj egy megfelelő grafikont (a jele „Graph C1” legyen), és a meredekségből határozd meg a $\theta$ szöget!	0.6

**D rész (Part D): A rendelkezésre álló vízminta  $\sigma$  felületi feszültségének meghatározása**

A diffrakció elméletéből levezethető:

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

ahol  $k = 2\pi/\lambda_w$  a kapilláris hullámok hullámszáma,

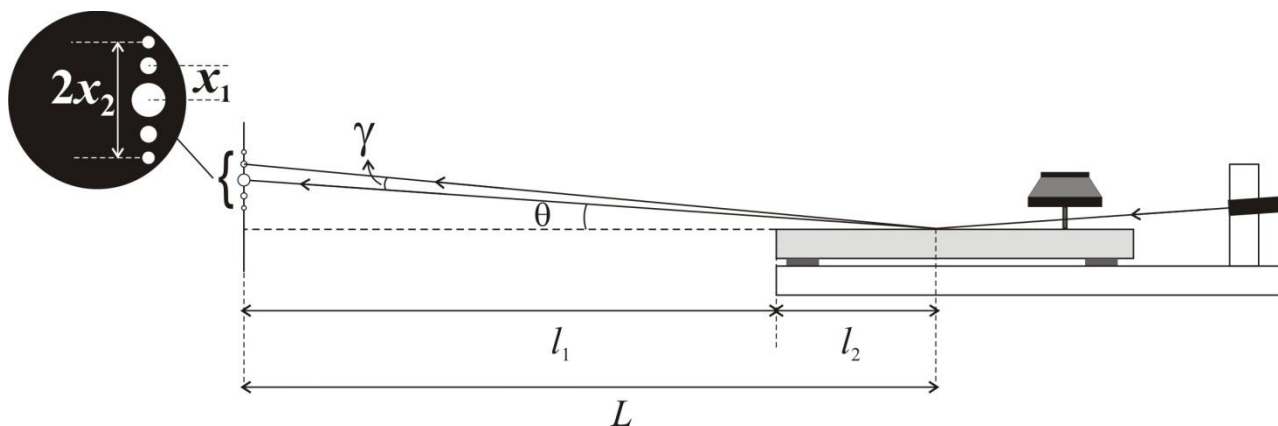
$\lambda_w$  és  $\lambda_L$  a kapilláris hullámok, illetve a lézerfény hullámhossza.

A  $\gamma$  szög a központi maximum és az elsőrendű maximum közti szögtávolság (19. ábra).

A hullám rezgési frekvenciája ( $f$ ) és a  $k$  hullámszám kapcsolata:

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

ahol  $\omega = 2\pi f$ ,  $\rho$  a víz sűrűsége és  $q$  egész szám.



19. ábra: Az elrendezés vázlata

- Rögzítsd a [2]-es fényszenzort (az ernyő tartójának rögzítőcsavarjával) a sín pár végén az 1. ábrán látható helyzetben. Állítsd a fénymérőt a megfelelő méréshatárra.

Feladat	Leírás	Pont
D1	Mérd meg a fényszenzor apertúra és a víztároló külső pereme közti $l_1$ távolságot. Látni fogsz egy vonalat, ahol a lézerfény a víz felszínére esik. Ennek a vonalnak a középpontja a lézerfény beesési pontja. Mérd meg ennek a pontnak a peremtől mért $l_2$ távolságát. Határozd meg $L$ értékét. Írd be az eredményeket a válaszlapba.	0.3

- Állítsd be a rezgéskeltő helyzetét 7,0 cm-re a [10]-es vízszintes skálán.
- Állítsd a szinuszhullám frekvenciáját 60 Hz-re, és állítsd be az amplitúdót úgy, hogy az első- és másodrendű diffrakciós maximumok jól láthatók legyenek (19. ábra betétábrája).

Feladat	Leírás	Pont
D2	Mérd meg a központi maximum feletti és alatti másodrendű maximumok távolságát. Ebből számold ki $x_1$ értékét. Írd be az eredményeidet a „Table D1” táblázatba. Ismételd meg ezt különböző, megfelelő lépésekben növelt frekvenciák esetében is!	2.8
D3	Határozd meg a megfelelő változókat, amelyeket grafikonon ábrázolva a meredekségből megkaphatod $q$ értékét. Írd be a változók értékeit a „Table D2” táblázatba. Készítsd el a grafikon $q$ meghatározásához. (a jele „Graph D1” legyen). Írd fel a (2)-es egyenletet $q$ megfelelő, egész szám értékével.	0.9
D4	A (2)-es egyenlet alapján határozd meg a megfelelő változókat, amelyeket grafikonon ábrázolva a meredekségből megkaphatod $\sigma$ értékét. Írd be a változók értékeit a „Table D3” táblázatba. Készítsd el a grafikon $\sigma$ meghatározásához (a jele „Graph D2” legyen). ( $\rho = 1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ).	1.2

**E rész (Part E): A  $\delta$  csillapítási tényező és a folyadék  $\eta$  viszkozitásának meghatározása**

A kapilláris hullámok a víz viszkozitása miatt csillapodnak. A hullám  $h$  amplitúdója a rezgéskeltőtől mért  $s$  távolsággal exponenciálisan csökken:

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

ahol  $h_0$  az amplitúdó a rezgéskeltő helyén és  $\delta$  a csillapítási tényező.

Kísérleti eredmények alapján a  $h_0$  amplitúdó és a rezgéskeltőre kapcsolt feszültség ( $V_{\text{rms}}$ ) kapcsolata:

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

A csillapítási tényező és a folyadék viszkozitásának kapcsolata:

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

ahol  $\eta$  a folyadék viszkozitása.

1. Állítsd a rezgéskeltő helyzetjelzőjét 8,0 cm-re.
2. Állítsd be a frekvenciát 100 Hz-re.
3. Állítsd be a tolmérő segítségével a fény szenzort úgy, hogy a diffrakciós kép elsőrendű maximuma éppen a fény szenzor apertúrájára essen.
4. Állítsd be a szinuszos jel amplitúdóját ( $V_{\text{rms}}$ ) úgy, hogy a fény mérő kijelzője az A méréshatárban éppen 100 legyen. Jegyezd fel az ennek megfelelő  $V_{\text{rms}}$  értéket.
5. Távolítsd a rezgéskeltőt a lézerefény beesési pontjától 0,5 cm-es lépésekben, és állítsd be a  $V_{\text{rms}}$  feszültséget mindig akkorára, hogy a fény mérő kijelzője 100-at mutasson. Jegyezd fel a megfelelő  $V_{\text{rms}}$  értékeket.

Feladat	Leírás	Pont
E1	Minden lépésben írd be az értéket a „Table E1” táblázatba!	1.9
E2	Rajzolj egy megfelelő grafikon (a jele „Graph E1” legyen), és a meredekségből határozd meg a $\delta$ csillapítási tényezőt!	1.0
E3	Számítsd ki a rendelkezésre álló vízminta $\eta$ viszkozitását!	0.3