1. Hullámtani kísérletek

Tartalom

1. Transzverzális és longitudinális hullámterjedés modellezése 2
   a) „Lépcsőjáró” rugóval 2
   b) Csatolt ingasorral 3
   c) Hosszú rugalmas gumiszalaggal 4
2. Állóhullámok keltése szabályozhatóan (súlyokkal) feszített fonálon. 5
3. Állóhullámok keltése patkómágnes sarkai között kifeszített, váltóárammal izzított dróton 7
4. Húr ("monochord") rezgéseinek vizsgálata 8
5. Pálca (acélszalag), valamint változtatható átmérőjű abroncson rezgéseinek megfigyelése. 10
6. Lemezek rezgéseinek megfigyelése. 11
7. Dob (gumimembrán) rezgéseinek megfigyelése stroboszkópos megvilágításban. 12
8. Hangvilla rezgésének megfigyelése stroboszkópos megvilágításban 13
9. A hang sebességének mérése állóhullámokkal (érettségi mérés) 14
10. Hanglebegés jelenség előállítása két hangvillával. 15
11. Fáziskülönbséggel kibocsátott hanghullámok interferenciája. 16

1. Transzverzális és longitudinális hullámterjedés modellezése

a) „Lépcsőjáró” rugóval

A kísérlet célja

A hullámterjedés két fajtájának szemléletes bemutatása.

Szükséges anyagok, eszközök

- „Lépcsőjáró” rugó (slinky)

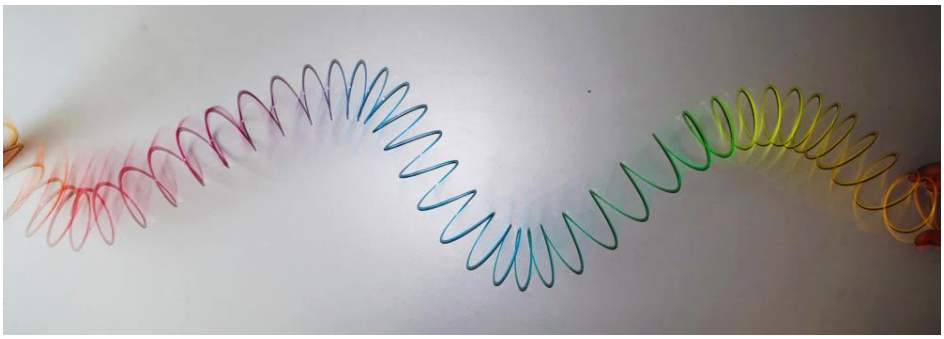
Leírás

Hullámnak a térben és időben terjedő zavart nevezzük. Hullámokat könnyen létrehozhatunk a következő módon: feszítsünk ki egy „lépcsőjáró” rugót (ami egy nagy átmérőjű, laza csavarrugó). Az egyik végét egy gyors mozdulattal merőlegesen térítsük ki és vissza. Ekkor az így létrehozott domb végigfut az egész rugón.

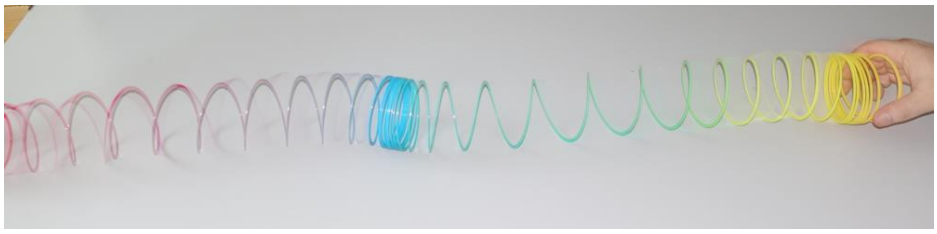
Amennyiben a végét gyors mozdulattal meglökjük, majd visszahúzzuk, akkor a rugó csavarmenetein sűrűsödés és ritkulás vonul végig. A jelenség lényege, hogy a csavarrugó kitérített része valamekkora késéssel maga után húzza a mellette levő, rugalmasan hozzákapcsolt szomszédját és ez vonul végig a teljes testen.

Ha folyamatosan keltjük a hullámokat, akkor azt figyelhetjük meg, hogy az egyes részecskék egy egyensúlyi hely körül rezegnek. Az egyes részek fáziskülönbsége miatt azonban ezt úgy érzékeljük, hogy hullámhegyek és hullámvölgyek, a második esetben pedig ritkulások és sűrűsödések futnak végig a rugón.

Ha a részecskék rezgése merőleges a terjedés irányára, akkor beszélünk transzverzális hullámról. Ekkor láthatunk hullámhegyeket és hullámvölgyeket. Transzverzális például a vízfelszín hullámzása, gitárhúr rezgése, a fény (elektromágneses hullám) és a gravitációs hullámok.



Amennyiben a részecskék rezgési iránya egybeesik a terjedés irányával, akkor longitudinális hullámról beszélhetünk. Ekkor láthatunk ritkulásokat és sűrűsödéseket. Longitudinális például a hang vagy az autópályán fékező kocsisor.



Módszertani kiegészítések

- Gyakori félreértés a hullámokkal kapcsolatban, hogy csak a szinuszosan váltakozó hullámokat tekintjük annak. Sőt gyakran látható, hogy a periodikusan keltett hullámok hatására állóhullám alakul ki és azt nevezi a tanár hullámnak. Fontos kihangsúlyozni, a hullám általános definícióját. Ennek kialakítását azzal is segíthetjük, ha kezdetben mindig csak egy zavart keltünk és azt elemezzük, utána peridikusan is kelthetjük a zavarokat, de igyekezzünk úgy, hogy a csavarrugó végéről ne verődjön vissza. Utána engedhetjük a visszaverődést is és megfigyelhetjük az állóhullámokat.
- A hullám terjedése rendkívül látványos lassítva. A kísérletek lassított (500 fps) felvételei a demonstrációs labor honlapján megtalálhatók.

b) Csatolt ingasorral

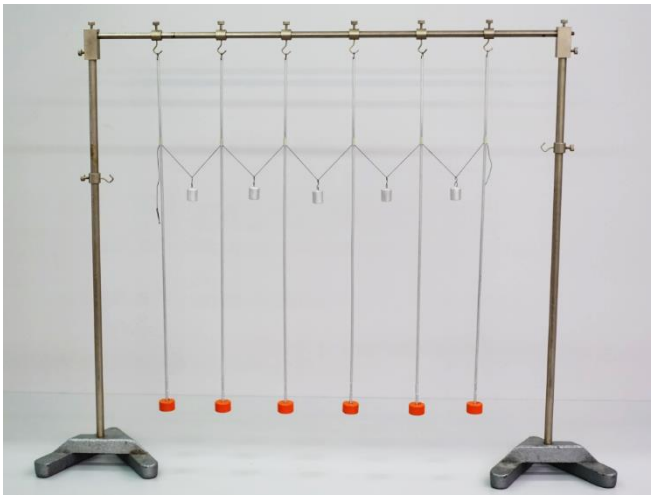
A kísérlet célja

Transzverzális és longitudinális hullám kialakulásának bemutatása. Annak modellezése, hogy a hullám terjedési sebessége hogyan függ az anyagi minőségtől.

Szükséges anyagok, eszközök

- Csatolt ingasor (pl. TANÉRT készlet hullámmozgás demonstrálásához)
- Stopper

Leírás



Mechanikai hullámok keletkezésénél, terjedésénél a közeg részecskéi, térfogatelemei között fellépő rugalmas erők játszanak szerepet. A mechanikai hullámban a rezgésállapot (a rezgés fázisa) és vele a rezgési energia az, ami terjed. A mechanikai hullámok jellegzetességeit, elsődlegesen keletkezésüket és terjedésüket lazán kapcsolódó ingák sorozatából alakított hullámgéppel lehet modellezni. Egyik szélső ingájának merőleges kitérítésével tranzverzális, hosszanti kitérítéssel longitudinális hullámzásba hozható.

Tranzverzális hullámok esetén hegyek és völgyek, longitudinálisok esetén sűrűsödések és ritkulások váltják egymást. A hullámgép ingáinak lengő tömegei a rugalmas anyag részecskéinek egy sorát (egyenként a térfogategységben foglalt tömeg, vagyis a sűrűséget) jelképezik. Az ingákat összekötő fonalakon lógó kis nehezékek a tömegrészecskéket összekötő rugalmas erőket, közvetve tehát a közeg rugalmassági moduluszát képviselik.

Feladatok

- A fonalakon lógó kis nehezékek változtatásával kísérletileg szemléltethető, hogy a rezgés annál rövidebb idő alatt terjed végig az ingasoron, minél nagyobb a nehezékek

tömege, azaz a részecskéket összekötő rugalmas erő. Tehát minél nagyobb a közeg rugalmassági modulusza, annál gyorsabban terjed a hullám.
Térítsük ki az egyik oldalsó ingát merőlegesen (legalább 10 cm-es amplitúdóval), azaz indítsunk transzverzális hullámot. Mérjük meg mennyi idő szükséges, hogy a 4. inga is lengésbe kezdjen.
Az ingákat összekötő alumínium súlyokat cseréljük nagyobbakra (növeljük a rugalmassági moduluszt) és ismételjük meg a mérést.

- A lengő tömegeket változtatva azt figyelhetjük meg, hogy annál lassabban terjed a rezgés a pontsoron, minél nagyobb a lengő tömeg, azaz a közeg sűrűsége.
  Az ingák végén található narancssárga súlyok mellé fűzzünk fel még egyet (növeljük a sűrűséget) és ismételjük meg a mérést.
- A kísérletet elvégezhetjük longitudinális hullámmal is. Figyeljünk, hogy a kezdő amplitúdó olyan legyen, hogy az ingák közvetlenül ne ütközzenek.

c) Hosszú rugalmas gumiszalaggal

A kísérlet célja

Transzverzális hullám bemutatása. Visszaverődés vizsgálata nyitott és zárt végen. Állóhullám kialakulásának és a polarizáció jelenségének bemutatása.

Szükséges anyagok, eszközök

- Hosszú (legalább 5 méteres) gumikötél, egyik végén 1-2 méteres madzaggal sorba kötve.

Leírás

A gumikötél azon végét, melyre a madzag van kötve, adjuk egy diák kezébe, majd lazán feszítsük ki az osztályteremben/laborban.

Feladatok

- Határozott mozdulattal üssünk rá felülről a gumikötélre, miközben a diák a gumis végét fogja a szálnak (zárt vég). Az ütés hatására egy völgy fut végig a kötélen, majd visszaverődik. Figyeljük meg, hogy hegyként, vagy völgyként verődik-e vissza! Ismételjük meg a kísérletet csak most alulról üssük meg a gumiszalagot.
- Kérjük meg a diákot, hogy most a madzagot fogva feszítse ki a gumikötelet (nyitott vég). Ezután ismételjük meg az előző kísérletet!
- Nyitott és zárt vég esetén is rázzuk periodikusan a kötelet egyre nagyobb frekvenciával. Figyeljük meg, hogy bizonyos frekvenciánál csomópontok és duzzadóhelyek alakulnak ki.
- A gumiszalagot fűzzük be egy hosszú, egyenes kivágást tartalmazó deszkába. A gumikötelet feszítsük ki, és kör mentén forgassuk az egyik végét. Megfigyelhető, hogy a deszkán való áthaladás után a gumikötél már csak a kivágás iránya mentén rezeg.

Módszertani kiegészítések

- A visszaverődés jelensége gyors, így nehezen látható, hogy ellentétes, vagy azonos fázisban verődik-e vissza a hullám. A kísérletek lassított felvételei (500 fps) a demonstrációs labor honlapján megtalálhatók.

- A kísérlethez kiválóan megfelel a Bunsen-égőkhöz használt gázcsőből 5-8 méter.
- A gumikötél segítségével a pontsoron terjedő hullámok rendkívül sokféle viselkedése, tulajdonsága megfigyelhető, demonstrációs méretekben:
    - hullám visszaverődése szabad, illetve rögzített végről;
    - transzverzális hullám polarizációja, illetve kioltása egy, illetve két réssel;
    - állóhullámok kialakulása, tulajdonságai;
    - a padlóra letett gumikötéllel még a hullámszuperpozíciót/interferenciát is megfigyeltethetjük:

2. Állóhullámok keltése szabályozhatóan (súlyokkal) feszített fonálon.

A kísérlet célja

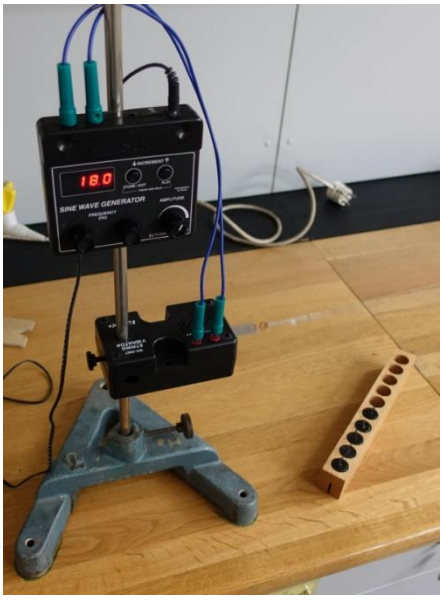
Állóhullámok tulajdonságainak megfigyelése. A feszítő erő és a hullámhossz közötti kapcsolat bemutatása.

Szükséges anyagok, eszközök

- Függvény-generátor (pl. Pasco)
- Zsinor rezgető (pl. Pasco vibrátor)
- Hosszú rugalmas kötél (5 m)
- Súlysorozat (9 db, 50 g-os)
- 2db Bunsen-állvány
- Állványba fogható állócsiga (befogáshoz egy dió)
- 2 kg-os súly (a csigát tartó Bunsen-állvány leszorításához)

Leírás

Ha a rugalmas közegben egyazon irányba terjedő hullámok másik közeg határáról visszaverődve találkoznak az eredeti hullámokkal, akkor megfelelő frekvencia esetén a hullámok interferenciát mutathatnak. Folyamatos hullámkeltés esetén (megfelelő körülmények között) az interferencia eredményeként a közeg egyes helyeinek kitérése zérus lesz, míg más helyek különböző amplitúdójú rezgést végeznek. Ezt a haladó hullámtól eltérő tulajdonságú alakzatot állóhullámnak nevezzük.

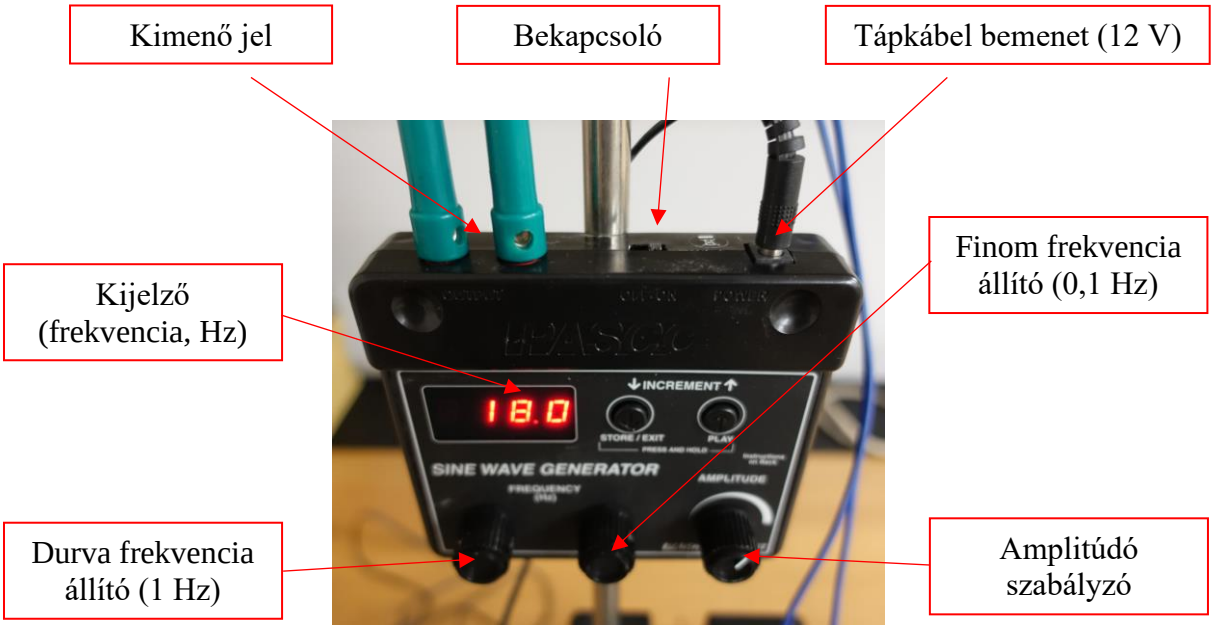


Egy adott hosszúságú gumikötélen a kötélvég megfelelő frekvenciájú mozgatásakor nyugalomban lévő csomópontok és maximális kitéréssel mozgó duzzadóhelyek váltakozását figyelhetjük meg. Azokat a frekvenciákat, amelyeknél az adott eszközön állóhullámok alakulnak ki, a rendszer sajátfrekvenciáinak nevezzük.

Állítsuk össze a képen látható kísérleti összeállítást.

A csigás Bunsen-állványt helyezzük el az asztal egyik szélén, a másik állványt pedig az asztal másik széléhez közel. Rögzítsük a zsineg egyik végét a vibrátor nyelvéhez, vessük át a csigán és terheljük a másik végét súlyokkal. A vibrátor rezgésének frekvenciáját függvénygenerátorral szabályozzuk.

Az ebben az összeállításban használt függvénygenerátor legfontosabb részeit a következő ábra mutatja.



Feladatok

- Állítsuk a függvénygenerátort 10 Hz-re, az amplitúdót középállásba. A zsinór végére akasszunk 1 db 50 g-os súlyt. A lépkedjünk 1 Hz-enként felfelé, míg állóhullám kialakulását nem látjuk. Ekkor finoman változtassuk a frekvenciát úgy, hogy megtaláljuk a maximális amplitúdót Jegyezzük fel a frekvenciát, valamint a duzzadóhelyek és csomópontok számát. Keressünk meg legalább 5 különböző frekvenciához tartozó állóhullámot. Ekkor látható, hogy az n-edik sajátfrekvencia az első sajátfrekvencia n-szerese. Mivel a hullám zárt végről verődik vissza, a szélén csomópontnak kell kialakulnia. Így az első kialakuló hullám egy félhullám, azaz 1 duzzadóhelye van. A második sajátfrekvenciánál egy teljes hullám alakul ki, 2 duzzadóhellyel, ezután másfél hullám 3 duzzadóhellyel - és így tovább.
  Vigyázat! Sokszor előfordul, ha állóhullám közelében vagyunk, hogy a vibrátor hallhatóan kattog. Ekkor az amplitúdót csökkenteni kell, míg a hang meg nem szűnik!
- Állítsuk az amplitúdó szabályzót középállásba. A zsinór végére akasszunk 4 db 50 g-os súlyt. Állítsunk be a fordulatszám szabályozásával olyan állapotot, hogy a kötél hosszán csupán egy félhullám alakuljon ki. A terhelést az előző négyszeresére növelve azt láthatjuk, hogy megkétszereződik a duzzadóhelyek száma.
  Ennek az az oka, hogy a zsineg feszítettségével (F) a transzverzális hullám c terjedési sebessége a

$$c = \sqrt{\frac{F}{\rho A}}$$

összefüggésnek megfelelően változik, ahol ρ a zsineg sűrűsége, A a keresztmetszetének területe. A két végén rögzített L hosszúságú zsineg sajátfrekvenciája és a terjedési sebesség között fennáll a

$$f_n = n\frac{c}{2L}$$

összefüggés, ahol n a duzzadóhelyek száma és f_n a hozzá tartozó sajátfrekvencia. Így tehát könnyen belátható az $f_n \sim \sqrt{F}$ arányosság. (A kisebb feszítettség melletti, 1 duzzadóhellyel rendelkező sajátfrekvencia megegyezik a négyszeres feszítettségű rendszer 2-es sajátfrekvenciájával.)

Módszertani kiegészítések

- Érdemes a kísérlethez kapcsolódóan meglepő és/de szemléletes videókat bemutatni.

Állóhullám a Volgograd hídon

Gitárhúrok rezgése

3. Állóhullámok keltése patkómágnes sarkai között kifeszített, váltóárammal izzított dróton

A kísérlet célja

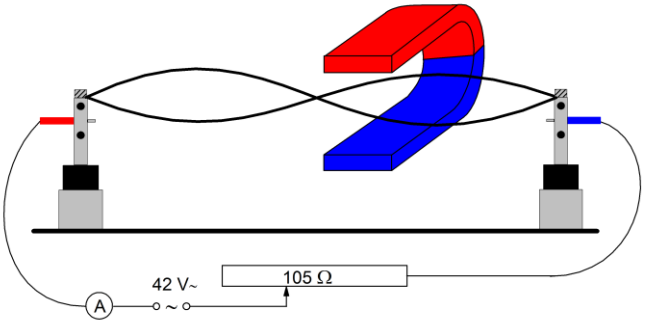
Állóhullám kialakulásának bemutatása. Érdeklődés felkeltése látványos kísérlettel.

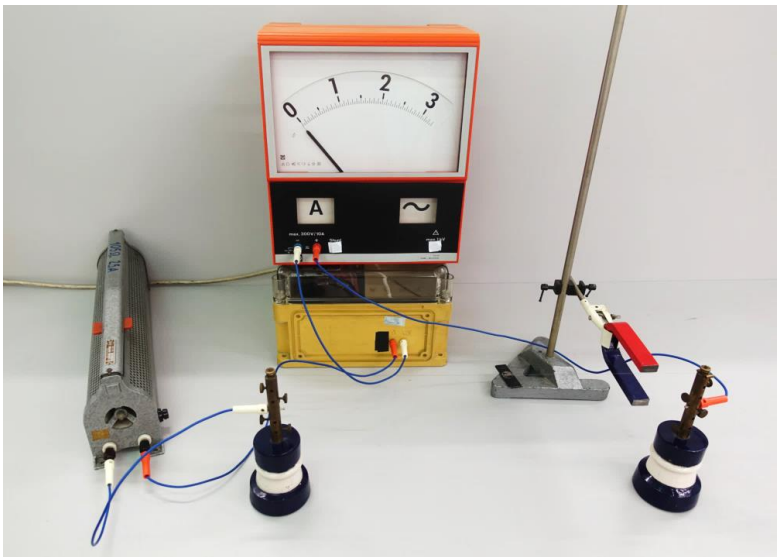
Szükséges anyagok, eszközök

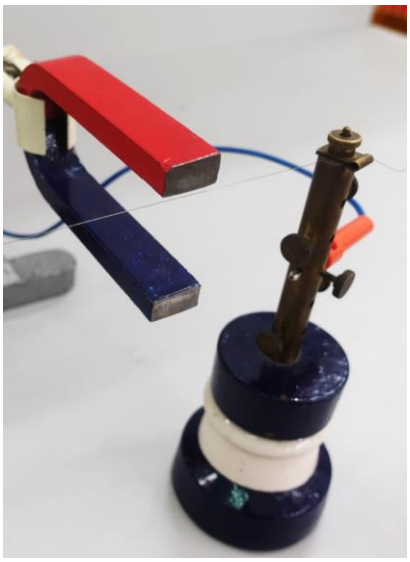
- Transzformátor (42V~)
- Áramerősség mérő
- Változtatható tolóellenállás (105 Ω, 2,5A)
- Röpzsinórok (4 db)
- Patkómágnes
- Bunsen-állvány (+dió)
- Kémcsőfogó
- 2 db drótközpont (Holtz-szorító)
- Kanthal huzal (kb. 50 cm)

Leírás

Rögzítsünk szigetelt szorítóba (Holtz-szorítóba) kb. 50 cm hosszú, 40 Ω/m fajlagos ellenállású Kanthal drótot. Helyezzük a drótot patkómágnes sarkai közé. Csatlakoztassuk a drótot 105 Ω-os tolóellenálláson keresztül 42 V-os váltófeszültségű áramforráshoz (transzformátor). Változtassuk az áramkör áramát addig, amíg a drót izzani kezd (1-1,5 A). Az áramkörbe célszerű árammérő műszert kötni, hogy túl ne lépjük a tolóellenállásra megengedett maximális áramerősségét.







A hálózati frekvencia ütemében változó árammal átjárt vezetőre homogén mágneses térben periodikus erő hat. Az erő iránya merőleges a vezetőre és a *B* mágneses indukcióvonalakra is, nagysága pedig a hálózati frekvencia ütemében változik.

Ha a gerjesztés periódusa megegyezik a drót valamelyik sajátfrekvenciájával, akkor a dróton állóhullámok alakulnak ki. A drótot feszítő erő értékét a szorítók távolításával, illetve közelítésével változtathatjuk: így hangolhatjuk össze a drót sajátfrekvenciáját a hálózati frekvenciával. Figyeljünk oda, hogy a drótközpontoknak csak az elszigetelt alját fogjuk meg, mert 42 V már érezhető bizsergést kelthet a kísérletezőben.

A dróton kialakult állóhullámok duzzadóhelyei és azok környezete a drót részecskéinek mozgása miatt lehűlnek, s csak a nyugvó csomópontok izzanak. Így az állóhullám jól láthatóvá válik. (A jelenség jobban látható, ha a drót háttere sötét, valamint ha besötétítünk a teremben.)

> ***Vigyázat!***
>
> A drót forró lehet, még akkor is, ha éppen nem látható az izzás!

4. Húr ("monochord") rezgéseinek vizsgálata

A kísérlet célja

Húr rezgéseinek és hangjának vizsgálata. A hang magasságának függése a húr hosszától és a húr feszítettségétől.

Szükséges anyagok, eszközök

- Háromhúros demonstrációs ”monochord”
- Papírlovasok
- Madártollak

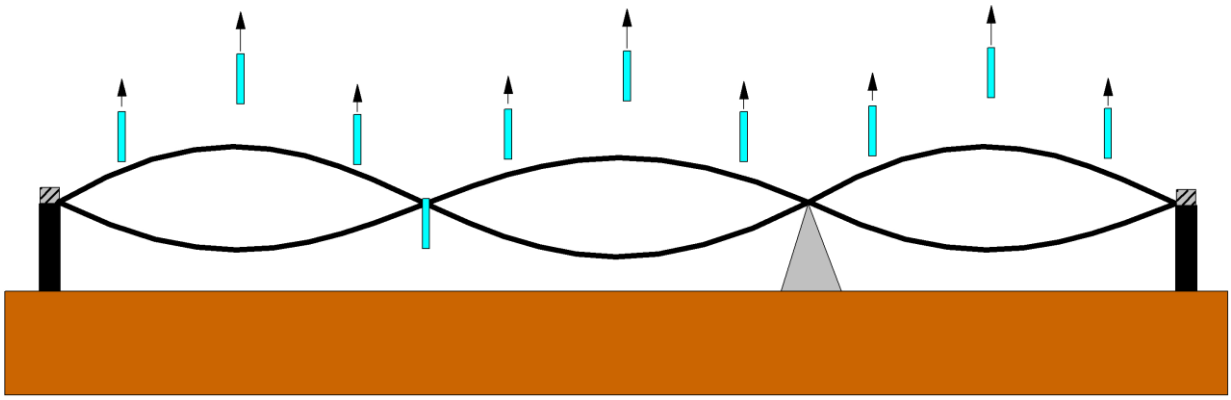
Leírás

A húr rezgéseinek vizsgálatára szolgáló eszköz az ún. monochord. Lényegében egy 80-120 cm hosszú láda (rezonáló szekrény), melynek tetején húr feszíthető ki. Az egyik húrnak (a képen legtávolabbi) az egyik vége egy csavarral meghúzható, másik vége egy csigán keresztül rugós erőmérőhöz csatlakozik. A másik két húr fixen rögzített. A húrok rezgésbe hozott részének hosszát a húr és az alapul szolgáló szekrény közé szorosan elhelyezett ék elmozdításával változtathatjuk. A húrt középen érdemes megpendíteni, hogy a létrejövő hang minél tisztább legyen.

Feladatok

- Változtassuk egy fix húr hosszát az ék segítségével, változatlan feszítőerő mellett. A rövidebb húron rövidebb hullámhosszú hullámok alakulnak ki. Az állandó feszítőerő biztosítja, hogy mindegyik hossz esetén ugyanakkora a hullám terjedési sebessége (c), így a rezgés frekvenciája (f), tehát a hang magassága a
$$\lambda \cdot f = c = \text{áll.}$$
összefüggés értelmében - a csökkenő hullámhossz (λ) miatt - növekszik.
- Adott hossz mellett változtassuk a feszítőerőt a csavar elforgatásával. Ismét figyeljük meg a húron keltett hang magasságának változását. Azt tapasztaljuk, hogy a hang annál magasabb lesz, minél nagyobb a feszítőerő. Ennek az az oka, hogy a húr feszítettségével (F) a hullám c terjedési sebessége a
$$c = \sqrt{\frac{F}{\rho A}}$$
összefüggésnek megfelelően változik, ahol ρ a zsineg sűrűsége, A a keresztmetszetének területe. A két végén rögzített L hosszúságú húr sajátfrekvenciája és a terjedési sebesség között fennáll a
$$f = \frac{c}{2L}$$
összefüggés, ahol f az alaphang sajátfrekvenciája.
Figyeljünk arra, hogy ne feszítsük túl nagy erővel a húrt, nehogy elpattanjon!

- Érintsük meg gyengén a rezgő húr középpontját egy tollal. Ezzel kioltjuk azokat a sajátrezgéseket, amelyeknek ott nincsen csomópontja. Ilyen a húr alaphangja is. Az ekkor hallott, magasabb hang az alaphang oktávja, mely a fennmaradó rezgések közül a legnagyobb intenzitású hang.
- Monochordon is bemutathatjuk az állóhullámokat. Támasszuk alá az ékkel a húrt hosszának l/3-ad részében. Helyezzünk apró karton lovasokat a húr hosszabb szakaszára. Pendítsük meg a rövidebb húrdarabot. A másik részen lévő lovasok közül csak az nem jön mozgásba (tehát nem esik le), amelyiket csomópontban helyeztük el.



Módszertani kiegészítések

- A kísérlet eredményeit jobban szemléltethetjük, ha Audacity program segítségével ki is értékeljük a hangok spektrumát. Így direkt kapcsolat építhető ki a spektrum és a rezgési módusok között. Az Audacity program használati útmutatója megtalálható a fizika tanítás a középiskolában I. jegyzet 702. oldalán.

5. Pálca (acélszalag), valamint változtatható átmérőjű abroncson rezgéseinek megfigyelése.

A kísérlet célja

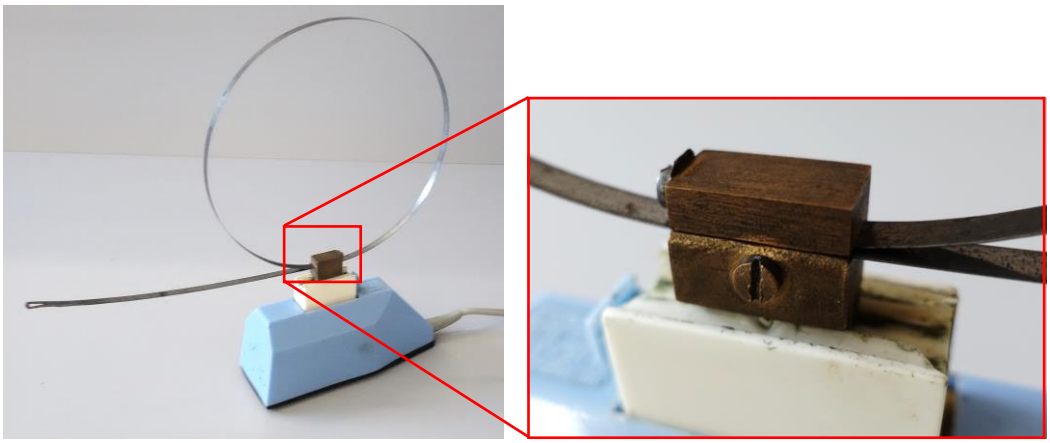
Pálcán és abroncson kialakuló állóhullámok megfigyelése.

Szükséges anyagok, eszközök

- Masszírozó gép
- Acélszalag (speciális csatlakozó tuskóval)

Leírás

A kísérletet a kereskedelemben kapható masszírozó géppel végezzük. A masszírozó géphez (vibrátorhoz) csatlakoztatható fémtuskó segítségével lehet az acél szalagot rögzíteni (lásd jobb oldali kép). Rögzítsünk a tuskóba vékony acélszalagot, és képezzünk egy hurkot a szalagra. A hurok kerülete a szalag szabad végének behúzásával változható.



Ezzel az elrendezéssel a pálca és az abroncs rezgéseit egyaránt be lehet mutatni.

Feladatok

- Helyezzük a befogó tuskót a vibrátorra, és dugjuk be a masszírozó gépet a konnektorba. Hangoljuk össze a kerület változtatásával a hálózati frekvenciát és a hurok sajátfrekvenciáját. Az abroncson állóhullámok alakulnak ki. Változtassuk tovább a kerületet: újabb sajátállapot kialakulásának lehetünk tanúi.
- Figyeljük az acélszalag egyenes részének (pálca) rezgéseit is. Megfelelő pálcahossznál állóhullámok jelennek meg. Figyeljük meg, hogy a szabad végen duzzadóhely alakul ki. Határozzuk meg adott állapotnál a pálca hosszának és sajátfrekvenciájának kapcsolatát.

6. Lemezek rezgéseinek megfigyelése.

A kísérlet célja

Lemezeken kialakuló (síkbeli) állóhullámok, az ún. Chladni-ábrák bemutatása.

Szükséges anyagok, eszközök

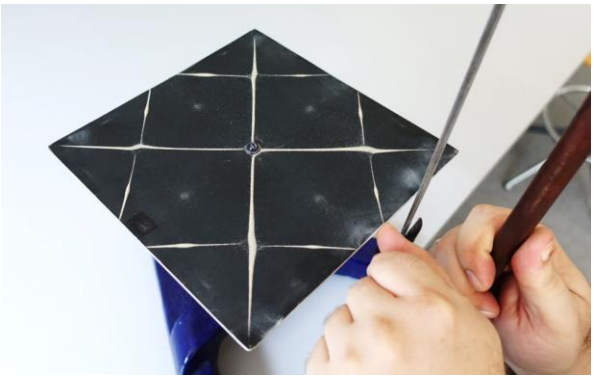
- „A” talp
- „A” talpba fogható lemez (kör és négyzet alakú)
- finomszemcsés homok (sószóróban)
- Hegedűvonó

Leírás

A lemezek a pálcák kétdimenziós megfelelői. Rögzítsük a kör/négyzet alakú alumíniumlemezt középen az állványhoz. Szórjunk kevés finom homokot a vízszintes lemezre. Húzzuk végig a vonót a lemez élén. A vonót tartsuk merőlegesen a lemez síkjára. Ha jól csináltuk, akkor erős hangot hallunk. Az alkalmas helyen rezgésbe hozott lemezen állóhullámok alakulhatnak ki. A finom homokszemcsék a csomóvonalak mentén

rendeződnek. Figyeljük a vonóval keltett hang magasságát és a hozzá tartozó Chladni-féle ábrát. A magasabb hanghoz általában több csomóvonalat tartalmazó, bonyolultabb ábra tartozik.

Készítsünk különböző ábrákat. Ha a lemez élét egy helyen lefogjuk és rezgésbe hozzuk, a lefogás helyéről csomóvonal indul, mivel lemez szabad rezgését a lefogás helyén megakadályoztuk.) A lefogási pont helyét és számát változtatva sokféle Chladni-féle ábra készíthető.



Módszertani kiegészítések

- Érdemes a kísérlethez kapcsolódóan az alábbi szemléletes videót bemutatni: Állóhullámok lemezen szuperlassításban

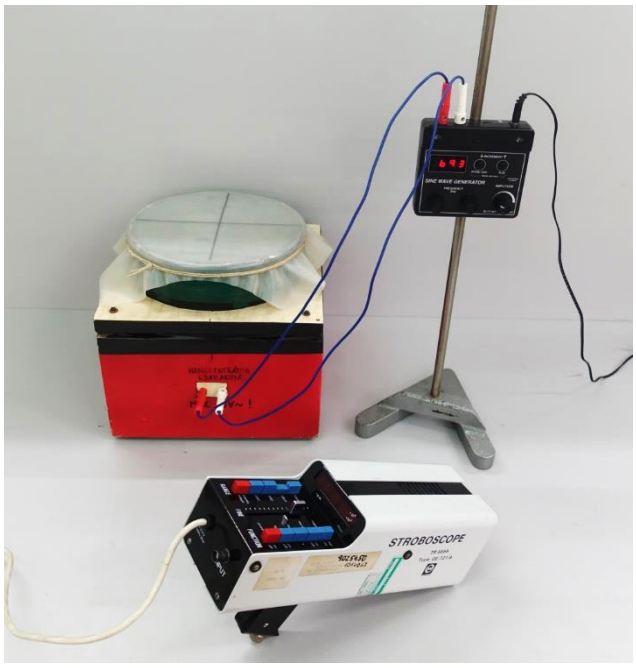
7. Dob (gumimembrán) rezgéseinek megfigyelése stroboszkópos megvilágításban.

A kísérlet célja

Dobon kialakuló (síkbeli) állóhullámok megfigyelése.

Szükséges anyagok, eszközök

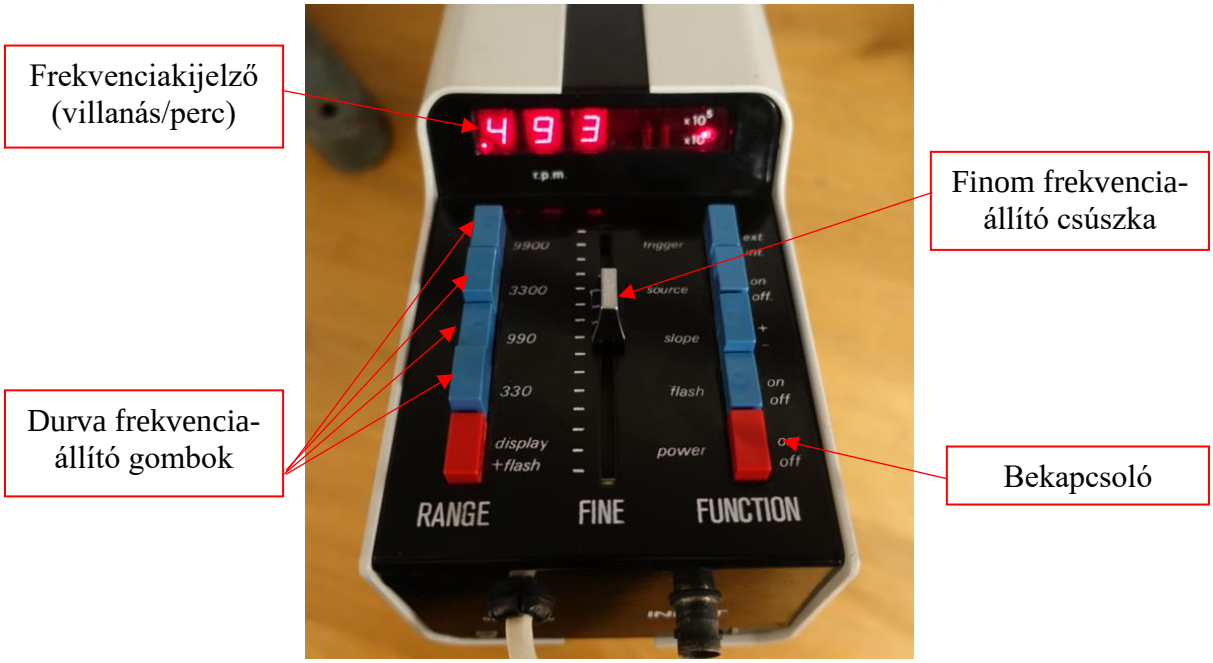
- Függvény-generátor (pl. Pasco)
- Hangszóró, felette hengerre rögzített gumimembrán
- Stroboszkóp



Leírás

Feszítsünk rugalmas gumilepedőt (gumipelenkát) kb. 20 cm átmérőjű, kör alakú keretre (dob). Helyezzük a dobot a hangszóró fölé. Kössük a hangszórót hanggenerátorhoz. Változtassuk a hanggenerátor frekvenciáját, s figyeljük a dob membránjának rezgéseit. (Elég nagy hangintenzitást kell beállítani a sikeres kísérlethez.)

Állítsunk be különböző sajátállapotokat. "Lassítsuk" le a membrán mozgását stroboszkóppal. Ehhez a stroboszkóp villanási frekvenciáját a dob rezgésének frekvenciájához közeli értékre kell beállítani. Figyeljük meg a különböző sajátállapotban megjelenő csomóvonalak alakját. A következő ábra egy stroboszkóp beállítását mutatja.



Módszertani kiegészítések

- Stroboszkóp híján a membrán rezgését nagysebességű kamerás felvétel lelassításával is meg lehet figyelni.
- A dobok esetén is hasonló kétdimenziós hullámok alakulnak ki: Dobon keletkező hullámok lassítva

8. Hangvilla rezgésének megfigyelése stroboszkópos megvilágításban

A kísérlet célja

A hangvilla rezgésének közvetlen megfigyelése

Szükséges anyagok, eszközök

- Nagy méretű hangvilla (oldala fehér ragasztószalaggal bevonva)
- Stroboszkóp

Leírás

A hangvilla az egyik legismertebb hangforrás. A megpendített hangvilla rezgése - a kis amplitúdó és a nagy rezgésszám miatt azonban - szabad szemmel alig vagy egyáltalán nem észlelhető. Megpendített hangvilla rezgése stroboszkópos megvilágítással láthatóvá tehető; elsötétített teremben történő, megfelelő frekvenciájú megvilágítás esetén, a hangvilla rezgése lassúnak látszik. A hangvilla rezgésszámával közeli frekvenciájú fényben pedig a hangvilla két

szára a madár csőréhez hasonlóan lassan nyílik és zárul. A stroboszkóp használatához a 8-as mérés végén található segédlet.

Feladatok

- A hangvilla két ágát csippentő mozdulattal közelítse, majd engedje el, így kellően nagy amplitúdójú rezgésbe hozható. A stroboszkóp villanási frekvenciáját fokozatosan növelje, addig míg a rezgés lassú tátogásnak nem látszik!

9. A hang sebességének mérése állóhullámokkal (érettségi mérés)

A kísérlet célja

A hang terjedési sebességének meghatározása levegőben, ismert frekvenciájú hangra rezonáló levegőoszlop hosszának mérésével.

Szükséges anyagok, eszközök

- Nagyméretű, egyik végén zárt műanyaghenger
- Mindkét végén nyitott, a hengeres edénybe illeszthető műanyag cső, oldalán centiméteres beosztású skála
- Ismert rezgésszámú hangvilla

Leírás

A műanyag hengert töltsük meg vízzel, hogy a tetején csak 5-10 cm levegőoszlop legyen. Az oldalán skálával ellátott csövet merítsük a vízbe. A csőben lévő levegőoszlopot alulról a víz zárja be, így a légoszlop hossza a cső emelésével és süllyesztésével változtatható. A cső szabad vége fölé tartsunk rezgő hangvillát, majd a teljesen vízbe merített csövet emeljük lassan egyre magasabbra. Közben megfigyelhetjük, hogy bizonyos hossznál a hang felerősödik. A maximális hangerősséghez tartozó levegőoszlop-magasságot (a cső peremének és a henger vízszintjének különbségét) mérjük le. Folytassuk a cső emelését egészen a következő rezonanciahelyzetig, és mérjük le ismét a belső csőben lévő levegőoszlop hosszát.

Ha a mérés közben a hangvilla rezgése már nagyon elhalkulna, ismételt megkoccintással újból rezgésbe hozható. A villa hangjának erősödése jelzi, hogy a csőben hang-állóhullám alakul ki.

Az egyik végén zárt levegőoszlop L hossza a λ hullámhossz negyedének páratlan számú többszöröse:

$$L = (2k+1)\frac{\lambda}{4}, \text{ ahol } k = 0, 1, 2, \ldots$$

Két egymás utáni rezonanciahely tehát $2 \cdot \frac{\lambda}{4} = \frac{\lambda}{2}$ távolságra van egymástól. Így a hullámhossz meghatározható a két mért levegőoszlop-magasság különbségéből:

$$\lambda = 2(L_2 - L_1).$$

A hangvilla *f* frekvenciájának ismeretében a hang *c* terjedési sebessége a

$$c = \lambda \cdot f$$

összefüggésből határozható meg.

Módszertani kiegészítések

- Érdemes megjegyezni, hogy akár egy mérésből is meghatározható a hang sebessége, feltéve, hogy pontosan tudjuk milyen (azaz hány csomópontú) állóhullám alakul ki. A fent felvázolt eljárás értelme kettős:
    - ezt követve nem kell tudnunk milyen állóhullám alakult ki, hiszen a két szomszédos különbsége mindig a λ/2.
    - A lemért hossz (a cső peremének és a henger vízszintjének különbsége) nem teljesen az a hossz, ami meghatározza a kialakult állóhullám hosszát. Ennél a tényleges hullámhossz kissé nagyobb. Ezt nevezik végkorrekciónak. Ha az egymással szomszédos rezonanciahelyek alapján számolunk, akkor ez a korrekció is kiesik, így pontosabb eredményt kapunk.

- A hang véges terjedési sebességének szemléltetésére érdemes bemutatni az alábbi videót: Armin Küpper magával kánonozik

10. Hanglebegés jelenség előállítása két hangvillával.

A kísérlet célja

A hanglebegés jelenségének bemutatása.

Szükséges anyagok, eszközök

- Két külön-külön rezonátordobozzal ellátott, de közel azonos rezgésszámú hangvilla
- Gumikalapács

Leírás

Két külön-külön rezonátordobozzal ellátott és azonos rezgésszámú hangvilla közül az egyiket "hangoljuk el" például oly módon, hogy az egyik szárának a végére egy alumínium bilincset helyezünk. Ezután állítsuk a rezonátorokat egymás mellé, nyílásukat enyhén egymás irányába fordítva és pendítsük meg mindkét hangvillát.

A kis frekvenciakülönbség miatt a két hangvilla rezgése között periodikusan változik a fáziskülönbség. Ennek hatására a két hang interferenciája gyorsan váltakozik az erősítés és a gyengítés között, így vibráló hangot hallhatunk.

A bilincset eltávolítva egy változatlan hangot hallhatunk. Ekkor az interferencia a két rezonátor és a fülünk helyzetétől függően lehet erősítés és gyengítés is.

Módszertani kiegészítések

- A kísérletet sztereó hangszórókkal, az Audacity program segítségével is el lehet végezni. Ehhez két közeli frekvenciájú hangsávot kell létrehoznunk, melyek közül az egyik csak a bal hangszórón, a másik pedig csak a jobbon szól. A frekvenciák különbségének változtatásával ekkor a „vibrálás” gyorsaságának változását is bemutathatjuk (nagyobb frekvenciakülönbség esetén csökken a fáziskülönbség periódusideje).

11. Fáziskülönbséggel kibocsátott hanghullámok interferenciája.

A kísérlet célja

Figyelemfelkeltő kísérlet bemutatása hullámok interferenciájának (kioltás) témakörében.

Szükséges anyagok, eszközök

- 2 db Bunsen állvány, dió
- 2 db kémcsőfogó
- 2 db üveghenger (speciális hosszúságúak, lásd leírás)
- Hangvilla
- Fémlap
- Gumikalapács

Leírás

A Bunsen-állványra rögzített hangvilla mellé, egymásra merőlegesen, két alkalmas hosszúságú rezonátorcsövet helyezünk el. Ezek lehetnek 3-4 cm átmérőjű üvegcsövek, vagy akár egyszerű PVC csövek is. Hosszúságukat úgy kell beállítani, hogy a köztük lévő különbség a hangvilla alaphangjának megfelelő (λ) hullámhossz negyedrészének páratlan számú többszöröse $\left(L_1 - L_2 = (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{4} \right)$ legyen. A csövek hangvilla felé eső vége nyitott, a másik zárt.

Pendítsük meg a hangvillát. Ekkor a két rezonátorcső gyengíti egymást. Ezt úgy ellenőrizhetjük, hogy az egyik cső nyílását egy eléje csúsztatott fémlappal lezárjuk. Ekkor az észlelt hang felerősödik, hiszen megszüntettük a gyengítő hatást.