



XIII

Drgania i fale mechaniczne

Agnieszka Bartecka

Cele:

- a- Przedstawienie ruchu drgającego, jako ruchu najczęściej występującego w przyrodzie.
- b- Wskazanie na powszechność występowania fal mechanicznych.
- c- Pokazanie sposobów wytwarzania fal dźwiękowych.

Plan pracy:

- Najważniejsze pojęcia.
- Drgania:
 - ruch drgający;
 - ruch kulki zawieszona na sprężynie;
 - wahadło matematyczne;
 - tłumienie i wymuszanie drgań;
 - drgania własne;
 - rezonans;
 - eksperymenty fizyczne;
- Fale:
 - fale mechaniczne;
 - fala poprzeczna;
 - fala podłużna;
 - wykres i parametry opisujące falę mechaniczną;
 - interferencja fal;



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



- fala stojąca;
- eksperymenty fizyczne.

Najważniejsze pojęcia:

Drgania – procesy, w trakcie których niektóre wielkości fizyczne dla nich charakterystyczne na przemian rosną i maleją w czasie.

Drgania mechaniczne – ruch cząstek ośrodka sprężystego względem położenia równowagi.

Fala – okresowe zaburzenie rozchodzące się w ośrodku lub przestrzeni ze skończoną prędkością i przenoszące energię.

Fala mechaniczna – fala rozchodząca się w ośrodkach sprężystych poprzez rozprzestrzenianie się drgań tego ośrodka.

Fala poprzeczna – występuje, gdy zaburzenie ośrodka jest prostopadłe do kierunku rozchodzenia się fali.

Fala podłużna – występuje, gdy zaburzenie ośrodka jest zgodne z kierunkiem rozchodzenia się fali.

Długość fali λ – odległość dwu najbliższych zaburzeń, mających tę samą fazę drgań.

Okres drgań T – najkrótszy czas po jakim układ drgający znajduje się (w ustalonym miejscu) ponownie w takiej samej fazie.

Częstotliwość ν – jest to liczba drgań (albo cykli) na jednostkę czasu. Odwrotność okresu.

Fala stojąca (drżania normalne) – stan drgań utworzony poprzez nałożenie się na siebie fali padającej i odbitej biegnących wzdłuż tego samego kierunku, podczas którego obserwuje się węzły fali tj. obszary niezaburzone, oraz strzałki, w których zaburzenie jest maksymalne, przy czym odległość między dwoma najbliższymi węzłami jest równa połowie długości fali.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Fala dźwiękowa – rodzaj fal podłużnych polegających na przenoszeniu energii mechanicznej przez drgające cząstki ośrodka (zgęszczenia i rozrzedzenia) bez zmiany ich średniego położenia o częstotliwościach z przedziału od 16 do 20 000 Hz, rejestrowanych przez ucho ludzkie.

Ton – proste drganie akustyczne, którego wykresem jest sinusoida.

Dźwięk – drganie akustyczne będące wynikiem nakładania się tonów.

Szum – zjawisko akustyczne nie wykazujące stałego okresu drgań.

Drgania wymuszone – drgania powstające w układzie pod wpływem zewnętrznego źródła energii innego układu drgającego (siły wymuszającej).

Drgania tłumione – drgania o malejącej w czasie amplitudzie, na skutek rozpraszania energii.

Rezonans – zjawisko narastania amplitudy drgań wymuszonych, występujące gdy częstotliwość drgania wymuszającego jest zbliżona do jednej z częstości własnych układu drgającego.

Drgania

Ruch drgający

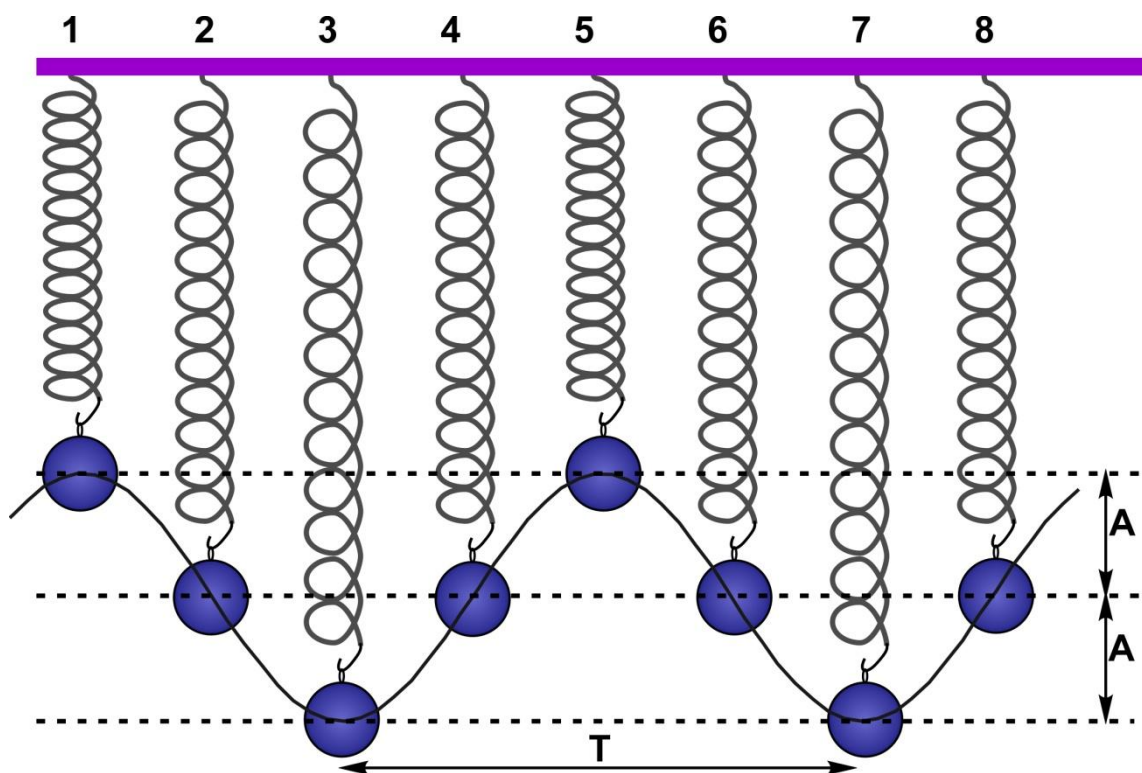
Cechą charakterystyczną ruchu drgającego jest jego okresowa powtarzalność, co oznacza, że po upływie określonego czasu zwanego okresem, ciało drgające powtarza ten sam ruch od nowa. Okresem ruchu drgającego T jest czas trwania jednego pełnego drgnięcia albo cyklu (jest to najkrótszy czas, po upływie którego ruch zaczyna się powtarzać). Szczególnym przypadkiem ruchu drgającego jest ruch harmoniczny. Jest to taki ruch, w którym położenie ciała zmienia się w zależności od czasu sinusoidalnie.



Ruch drgający jest to jeden z najbardziej rozpowszechnionych ruchów w przyrodzie i technice. Ruchem drgającym jest na przykład kurczenie i rozkurczanie ludzkiego serca, ruch wahadła zegara, ruch atomów w cząsteczkach lub w sieci krystalicznej, ruch cząstek powietrza podczas rozchodzenia się fali dźwiękowej, a także drgania strun skrzypiec czy gitary, ruch tłoka w silniku spalinowym, ruch huśtawki, ruch wahadła zegara czy ruch ciężarka na końcu sprężyny.

Ruch kulki zawieszonej na sprężynie

W przypadku, gdy kulka zawieszona na sprężynie się nie porusza, ciężar kulki równoważy siłę sprężystości i kulka znajduje się w położeniu równowagi.



Jeżeli wykonamy pracę (działając siłą) i podniesiemy kulkę powyżej położenia równowagi (pozycja nr 1 na rysunku) a następnie puścimy swobodnie, wówczas kulka będzie wykonywać drgania.



W pozycji **3** kulka osiąga maksymalne dolne wychylenie z położenia równowagi. W pozycji tej układ ciał (sprężyna i kulka) posiada energię potencjalną sprężystości a prędkość kulki jest równa zeru.

W tym położeniu na kulkę działa siła ciężkości oraz większa niż w położeniu **2** siła sprężystości, bo sprężyna jest bardziej odkształcona. Kulka nie jest w równowadze, wypadkowa siła skierowana jest ku górze i powoduje powrót kulki do położenia równowagi. Można zaobserwować wzrost prędkości kulki, a więc również wzrost jej energii kinetycznej. Zmniejsza się zaś wychylenie kulki, więc maleje jej energia potencjalna.

W pozycji **4** kulka osiąga znowu położenie równowagi i wypadkowa sił działających na kulkę zeruje się. Natomiast jej prędkość oraz energia kinetyczna są w tym położeniu maksymalne. Dzięki temu, że kulka posiada energię kinetyczną mija położenie równowagi i porusza się w górę ściskając sprężynę (wykonuje pracę). Prędkość i energia kinetyczna kulki maleją, wzrasta zaś wychylenie oraz energia potencjalna sprężystości.

W pozycji **5** kulka zatrzymuje się osiągając górne maksymalne wychylenie. Jej energia kinetyczna ponownie całkowicie zamienia się w energię potencjalną sprężystości.

Wypadkowa siła działająca na kulkę w tym położeniu jest zwrócona w dół, bo siła sprężystości jest teraz mniejsza od siły ciężkości. Siła ta spowoduje ruch kulki w dół. Prędkość kulki znowu rośnie, rośnie więc energia kinetyczna a maleje energia potencjalna sprężystości.

W pozycji **6** kulka ponownie znajduje się w położeniu równowagi. Pomimo, że wypadkowa siła jest równa zeru kulka nie zatrzymuje się, bo ma nabytą prędkość i dalej sytuacja się powtarza. Czas, po którym kulka zaczyna powtarzać swój ruch, to okres.

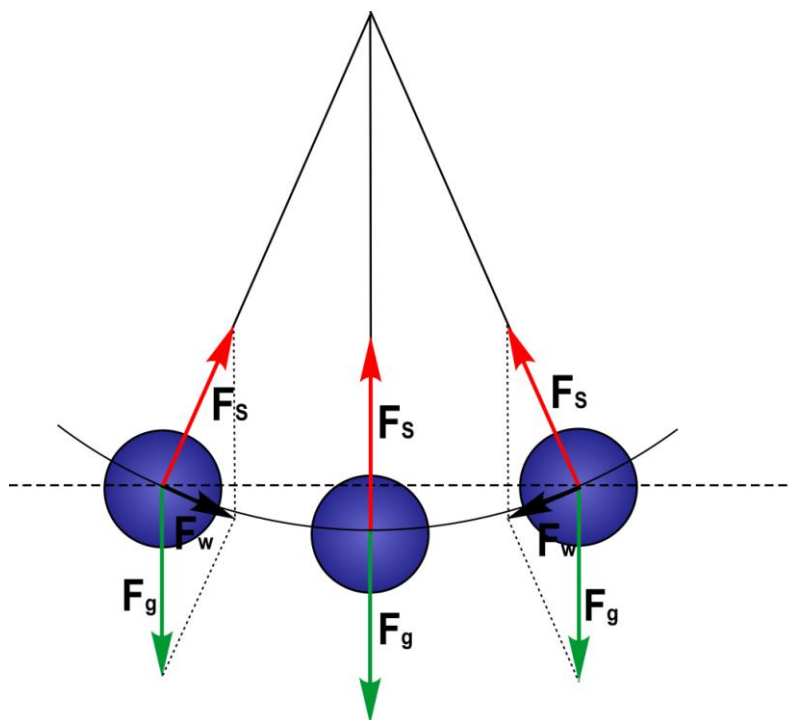
Gdybyśmy wykonali serię zdjęć filmowych kulki drgającej ruchem harmonicznym, otrzymalibyśmy obraz umożliwiający sporządzenie wykresu tego ruchu w zależności od czasu. Wykres taki to falująca linia przedstawiona na rysunku (sinusoida).



W rozumowaniu nie uwzględniono zmian energii potencjalnej grawitacyjnej, nie zmienia to jednak istoty powyższego opisu. Zachęca się ambitnych czytelników do przeprowadzenia obliczeń z uwzględnieniem zmian energii potencjalnej grawitacyjnej.

Wahadło matematyczne

Kolejnym ze szczególnych przypadków ruchu harmonicznego jest ruch wahadła. Wahadło matematyczne to wyidealizowane ciało o masie m skupionej w jednym punkcie, zawieszonej na nieważkiej i nierozciągliwej nici o długości l . Rzeczywistym przybliżonym modelem wahadła matematycznego jest stalowa kulka zawieszona na długiej cienkiej nici.



W położeniu równowagi ciężar ciała zawieszonego na nici (F_g) jest zrównoważony przez siłę sprężystości nici (F_s) i kulka pozostaje w spoczynku.

Na kulkę wychyloną z położenia równowagi działa pionowo w dół siła ciężkości F_g oraz siła sprężystości nici F_s . Wypadkowa tych dwóch sił F_w powoduje powracanie kulki do położenia równowagi.



Wahadło wychylone z położenia równowagi waha się w płaszczyźnie pionowej, z okresem równym:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Z tego równania wynika, że okres drgań wahadła matematycznego nie zależy od amplitudy i masy wahadła, a jedynie od jego długości i wartości działającego w danym miejscu przyspieszenia ziemskiego. Posługując się wahadłem i stoperem można zatem wyznaczyć doświadczalnie wartość przyspieszenia ziemskiego.

Właściwość wahadła polegająca na niezależności okresu drgań od jego amplitudy nazwana została izochronizmem i zastosowana w zegarach. Tę własność posiadają wahadła, dla których maksymalny kąt wychylenia nie przekracza 15° .

Wnioski

Po przeanalizowaniu ruchu drgającego kulki zawieszzonej na sprężynie i ruchu wahadła możemy wyciągnąć następujące wnioski:

- Położeniem równowagi w ruchu drgającym nazywamy położenie, w którym na punkt materialny nie działa siła wypadkowa i energia potencjalna osiąga w tym punkcie wartość minimalną. Energia kinetyczna w tym punkcie jest natomiast maksymalna, ponieważ prędkość punktu materialnego ma w tym punkcie największą wartość.
- Przemieszczenie (wychylenie) jest to odległość drgającego punktu od położenia równowagi w dowolnej chwili. Maksymalne możliwe wychylenie to amplituda. W punkcie maksymalnego możliwego wychylenia prędkość punktu drgającego jest równa zero, więc zeruje się też energia kinetyczna, a energia potencjalna jest w tym punkcie największa.
- Okresem drgań nazywamy czas, w którym ciało wykona jedno pełne drganie (lub jest to odstęp czasu, po upływie którego drganie się powtarza), a częstotliwość jest to liczba drgań przypadająca na jednostkę czasu.



Tłumienie i wymuszanie drgań

Amplituda drgań wahadła i każdego innego rzeczywistego drgającego ciała maleje w miarę upływu czasu, aż wreszcie ciało to zatrzymuje się. Świadczy to o rozpraszaniu energii, zużywanej na pokonanie sił tarcia i wydzielające się przy tym ciepło.

Jeżeli jednak na drgające ciało będzie działała okresowa siła zewnętrzna pobudzająca to ciało do ruchu i jeśli energia dostarczana w każdym impulsie pobudzającym zrównoważy energię rozpraszaną, to drgania będą niegasnące. Takie drgania wzbudzone za pomocą zmieniających się okresowo sił zewnętrznych to drgania wymuszone.

Drgania własne

Wahadło i każde inne ciało wychylone z położenia równowagi, na które nie działają żadne siły zewnętrzne (np. tarcie, lub siła wymuszająca drgania) wykonuje drgania zwane drganiami własnymi ciała. Przyczyną tego są właściwości sprężyste tego ciała. Dla każdego ciała istnieje pewna charakterystyczna częstotliwość drgań własnych (jedna lub kilka), która jest niezależna od sposobu wzbudzenia drgań.

Rezonans

Jeżeli częstotliwość wymuszających impulsów jest równa częstotliwości drgań własnych pobudzanego ciała, amplituda jego drgań osiąga maksymalną wartość. Częstotliwość, której odpowiada maksymalna amplituda drgań wymuszonych, to częstotliwość rezonansowa. Wszystkie ciała dają się pobudzać do bardzo dużych drgań, gdy pobudzenie jest okresowe i ma częstotliwość bliską częstości własnej. To zjawisko nazywamy rezonansem.

Zjawisko rezonansu jest wykorzystywane na przykład w różnych instrumentach muzycznych, ale także w obwodach prądu przemiennego. Dzięki rezonansowi działają radia, telewizory, krótkofalówki, a także telefony komórkowe i wszelkie urządzenia nadawczo-odbiorcze.

Rezonans bywa też jednak niepożądany, konstruktorzy muszą tak projektować obudowy silników, aby te nie znalazły się w rezonansie z pracującym silnikiem, ponieważ bardzo szybko uległyby wtedy zniszczeniu. Amortyzatory w samochodach, muszą być tak



zaprojektowane, aby tłumiły drgania, a nie wpadały w nie. Również powtarzające się okresowo podmuchy wiatru, mogą się znaleźć w rezonansie z drganiami własnymi budynków czy mostów i spowodować ich zniszczenie w wyniku ogromnego wzrostu amplitudy drgań wymuszonych, co musi zostać uwzględnione przez architektów na etapie projektowania budowli.

Eksperymenty fizyczne

1. Opis różnych rodzajów ruchu harmonicznego na podstawie obserwacji

Materiały:

Nić, metalowa kulka, sprężyna, korytko instalacyjne (ok. 2 m), ciężkie podstawki (np. cegły), statyw z uchwytem, stoper.



Wykonanie:

Przeprowadź obserwację i opisz, jakim ruchem porusza się kulka:

- a- zawieszona na nici i odchylona od pionu,
- b- zawieszona na sprężynie i wychylona z położenia równowagi,



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



c- wprawiona w ruch w łukowato wygiętym korytku instalacyjnym.

Za pomocą stopera wyznacz okres drgań i wyznacz częstotliwości własne badanych układów. Pomiary trzeba powtórzyć wielokrotnie a uzyskane wyniki uśrednić.

Wnioski:

Opisz, jak zmienia się prędkość i przyspieszenie kulek w każdym z tych przypadków w zależności od ich położenia. Jak zmienia się energia kulek? Czy w tych doświadczeniach jest spełniona zasada zachowania energii? Dlaczego po pewnym czasie ruch zanika? Co to znaczy, że ruch tych kulek jest ruchem okresowym?

2. Wahadło matematyczne – wyznaczanie przyspieszenia ziemskiego

Materiały:

Dwie stalowe kuli o różnych masach zawieszone na niciach o równych długościach, statyw lub inne miejsce, gdzie można zawiesić kulę. Ponadto stoper i długa linijka.

Wykonanie:

Zmierz linijką długość wahadła (od punktu zaczepienia do środka kulki). Wychyl wahadło o mały kąt i zmierz czas trwania 20 okresów. Swoje pomiary powtórz przynajmniej 3 razy.

Wyznacz okres drgań wahadła. Wykorzystaj uzyskany wynik do wyznaczenia przyspieszenia ziemskiego, posługując się wzorem na okres drgań wahadła matematycznego.

Powtórz procedurę dla wahadła z cięższą kulką wychylając ją o taki sam kąt.

Następnie skróć długość wahadła i powtórz pomiar 20 okresów dla lżejszej i cięższej kulki. Podobnie jak poprzednio wykorzystaj uzyskane wyniki do wyznaczenia przyspieszenia ziemskiego.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Wnioski:

Odpowiedz na pytanie, jak zależy okres drgań wahadła od jego długości?

Czy masa kulki ma wpływ na okres drgań wahadła?

Porównaj uzyskaną uśrednioną wartość przyspieszenia ziemskiego z wartością tablicową.

Jakie czynniki mogły wpłynąć na ewentualną różnicę pomiędzy uzyskanym wynikiem a wartością tablicową? Jak można by zmodyfikować doświadczenie, aby uzyskać dokładniejsze wyniki?

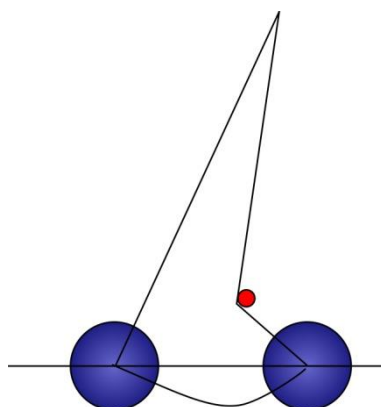
3. Wahadło matematyczne + kulek

Materialy:

Wahadło matematyczne zrobione z metalowej kulki (bądź nakrętki) i sznurka, kulek (może to być ołówek, pręt, patyk).

Wykonanie:

Wpraw wahadło w drgania na tle tablicy. Zaznacz kredą poziom, do którego wychyla się wahadło. Ustaw kulek w taki sposób, aby znalazł się na drodze wychylającej się nici. Zaznacz poziom do którego dociera wahająca się kulka.





KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Wnioski:

Zawieszona na nici kulka powinna osiągnąć taką samą wysokość po tym, jak nie napotka na kolek (nieruchomy) ustawiony prostopadle do płaszczyzny wahań.

Wynik doświadczenia można wyjaśnić w oparciu o zasadę zachowania energii. Określ jak zmienia się energia podczas ruchu wahadła i postaraj się podać wyjaśnienie przeprowadzonej obserwacji.

4. Badanie zależności wychylenia od czasu w ruchu harmonicznym

4.1. Wahadło matematyczne

Materiały:

Drobny suchy piasek, lejek z wąskim wylotem (może to być lejek kuchenny lub zrobiony z kartonu), sznurek, pas ciemnej gumy (papieru lub dość sztywnej zwilżonej tkaniny), statyw z wysięgnikiem, stoper.

Wykonanie:

Z lejka i sznurka zrób wahadło takie, jak pokazane na rysunku poniżej. Zawieś wahadło nisko nad pasem gumy, wsyp do lejka piasek i wpraw wahadło w drgania w kierunku prostopadłym do płaszczyzny utworzonej przez nitki, na których wisi wahadło. Przesuwaj równomiernie pas gumy, obserwuj jaki ślad zostawia piasek na pasie. Zmierz stoperem czas. Obserwując gęstość piasku wzdłuż całego wykresu można określić, w którym miejscu prędkość poruszającego się wahadła jest najmniejsza, a w którym największa. Spróbuj to ocenić.



4.2. Sprężyna

Materiały:

Zawieszona pionowo sprężyna obciążona ciężarkiem, pisak, plastelina, tektura, stoper.

Wykonanie:

Przymocuj pisak do ciężarka za pomocą plasteliny tak, aby był prostopadły do osi sprężyny. Umieść pionowo tekturkę tak, aby koniec pisaka dosięgał do niej. Wpraw sprężynę w drgania pionowe o amplitudzie nie przekraczającej szerokości tektury. Przesuwaj równomiernie papier w bok i obserwuj ślad zostawiony przez pisak. Zmierz stoperem czas.

Wnioski:

Na podstawie uzyskanych wykresów wyznacz częstotliwość z jaką drga wahadło i sprężyna.

Z jaką prędkością był przesuwany papier w każdym z przypadków?

Porównaj wyniki uzyskane w obu eksperymentach.



5. Krzywe Lissajous

Ciekawostka dla zainteresowanych tematem składania drgań harmoniczych.

Materiały:

Lejek, drobny suchy piasek, sznurek, statyw. Duży arkusz ciemnego papieru, gumy lub kawałek lekko zwilżonego ciemnego sztywnego materiału.

Wykonanie:

Ze sznurka i lejka zrób wahadło na wzór tego przedstawionego na zdjęciu (wahadło identyczne jak w doświadczeniu 19). Nasyp do lejka piasku i wychyl go z położenia równowagi prostopadłe do płaszczyzny utworzonej przez nici, na których wisi wahadło. Powinieneś/powinnaś zaobserwować figury podobne do tych przedstawionych na zdjęciach.



Wnioski:

Takie „atrakcyjne” wyniki uzyskasz jednakże tylko przy odpowiednim doborze długości obu wahadeł: (1) górnego, utworzonego przez dwie nitki zamocowane na pręcie (długość tego wahadła to wysokość trójkąta utworzonego przez pręt i nitki); (2) dolnego, na którym wisi zbiornik z piaskiem (długość tego wahadła to odległość środka masy zbiornika z piaskiem od punktu zamocowania na nitkach górnego wahadła – wierzchołka trójkąta).

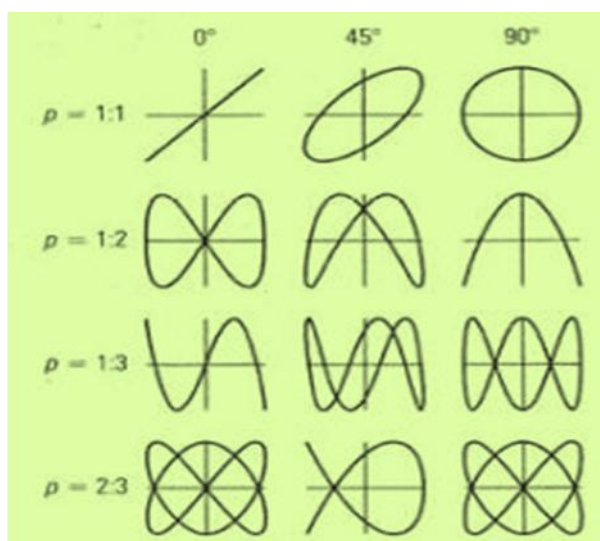
Jeżeli stosunek okresów drgań tych dwu wahadeł będzie bardzo bliski stosunkowi dwóch (małych, np. $2/3$) liczb naturalnych, wtedy otrzymasz ładne krzywe zamknięte. Z powyższego rozważania wynika jeszcze kolejny warunek powodzenia doświadczenia. Zbiornik, do



którego nasypiesz piasku nie może być zbyt lekki, a tym bardziej wysoki. Wtedy bowiem, w trakcie wysypywania się piasku będzie zmieniać się długość dolnego wahadła, a tym samym okres drgań.

Uzyskane w takim doświadczeniu krzywe to tzw. **krzywe Lissajous**. Są to tory zamknięte zakreślane przez punkt wykonujący jednocześnie dwa drgania harmoniczne w dwóch wzajemnie prostopadłych kierunkach. Kształt figur zależy od stosunków między okresami i amplitudami obu drgań. W przypadku krzywych pokazanych na zdjęciach różnica faz obu składowych drgań wynosi 0° , a stosunek ich okresów wynosi $2/3$.

Na rysunku są pokazane różne, możliwe do uzyskania przy odpowiedniej konstrukcji układu drgającego, rodzaje figur Lissajous (u góry podane są różnice faz, a z boku – stosunki okresów drgań).



6. Rezonans mechaniczny. Połączone wahadła

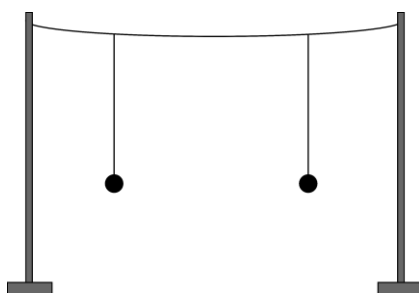
Materiały:

Cztery lub pięć identycznych kulek lub metalowych nakrętek, mocna nić lub sznurek, dwa statywy.



Wykonanie:

A. Umieść dwa statywy w odległości ok. 50 cm od siebie i przymocuj pomiędzy nimi sznurek. Zawieś dwa identyczne wahadła zrobione z kulek bądź nakrętek symetrycznie na sznurku, tak aby były oddalone od siebie o ok. 25 cm. Wychyl jedno z wahadeł z położenia równowagi i puść. Obserwuj co się stanie.



Wnioski:

Kiedy jedno z wahadeł oscyluje, jego amplituda stopniowo maleje, a energia jest przenoszona do drugiego wahadła przez łączący go z nim sznurek. Amplituda drgań drugiego wahadła stopniowo wzrasta. Ma miejsce rezonans mechaniczny.

B. Umieść teraz pomiędzy dwoma wahadłami dodatkowe wahadło o innej długości (tak jak na zdjęciu poniżej). Jedno z jednakowych wahadeł wychyl z położenia równowagi i puść. Obserwuj pozostałe wahadła. Co zauważyłeś? Powtórz doświadczenie dokładając jeszcze jedno lub dwa wahadła o różnej długości. Porównaj wyniki z uzyskanymi w poprzedniej części doświadczenia.





Wnioski:

W rezonansie z pobudzonym do drgań wahadłem jest tylko wahadło o takiej samej długości, ponieważ częstość własna drgań tego wahadła jest taka sama jak częstość drgań wahadła pobudzonego do drgań. Pozostałe wahadła mają inną długość i zgodnie ze wzorem na okres drgań wahadła matematycznego, będą miały inny okres drgań, a co za tym idzie inną częstotliwość drgań własnych, dlatego nie zostaną pobudzone do drgań.

7. Rezonans akustyczny

7.1. Dwa kamertony

Materiały:

Dwa identyczne kamertony i młoteczek lub dwa duże kieliszki do wina oraz ołówek lub drewniana łyżka

Wykonanie:

Ustaw kamertony kilka centymetrów od siebie. Uderz młoteczkiem jeden z nich, tak aby wydobyć z niego głośny dźwięk. Po chwili dotknij dzwięzący kamerton dłonią, aby wytłumić dźwięk. Pewnie nadal słyszysz ciche dzwięczenie. Jak to wytłumaczyć?

To doświadczenie można wykonać używając zamiast kamertonów kieliszków do wina i uderzając jeden z nich ołówkiem lub drewnianą łyżką.

22.2. Dwa kamertony i piłeczka pingpongowa

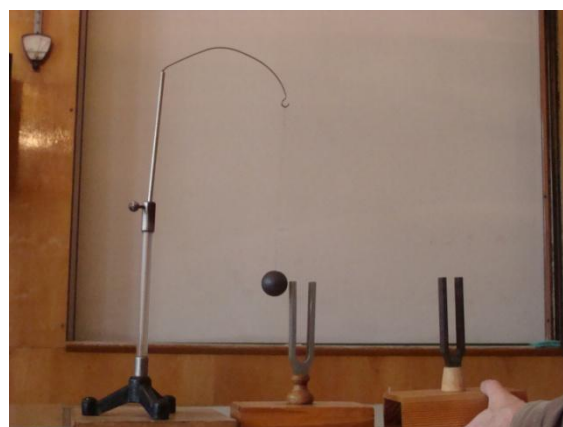
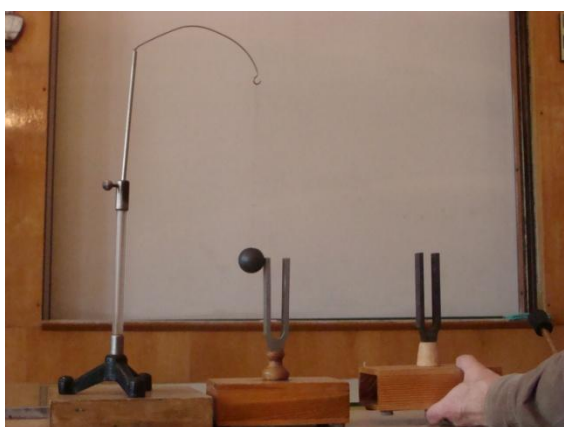
Materiały:

Dwa kamertony, piłeczka pingpongowa, nitka, trochę plasteliny, statyw. Jeśli nie masz kamertonów i w tym przypadku możesz posłużyć się dużymi pękatymi kieliszkami do wina.



Wykonanie:

Pileczkę pingpongową zawieś na nitce, używając w tym celu niewielkiej ilości plasteliny, przymocuj nitkę do statywu i ustaw go tak, aby pileczka lekko dotykała kamertonu (patrz zdjęcie po lewej stronie). Drugi kamerton wpraw w drgania używając młoteczka. Pileczka powinna zacząć miarowo odskakiwać od kamertonu (zdjęcie po prawej). O czym to świadczy?



W przypadku, gdy używasz kieliszków, ustaw układ podobny jak z kamertonami. W celu wprawienia kieliszka w drgania, zwilż palec i pocieraj ruchem okrężnym brzeg kieliszka, aż usłyszysz głośny dźwięk.

Wnioski:

Kamerton jest przyrządem, którym ludzie związani z muzyką posługują się na co dzień, strojąc instrumenty. Kamerton stanowi źródło dźwięku o czystym tonie, co oznacza, że drga wyłącznie z jedną częstotliwością. Kiedy ustawimy obok siebie dwa kamertony i uderzeniem wprawimy jeden z nich w drgania, to usłyszymy także dźwięk drugiego, ponieważ drgania powodują ruch otaczającego kamerton powietrza, które zaczyna drgać w taki sam sposób i przenosi drganie do drugiego kamertonu.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



8. Figury Chladniego

Ciekawostka dla zainteresowanych tematem drań własnych.

Materiały:

Tortownica, folia spożywcza, kolumna głośnikowa, generator akustyczny lub komputer, sól lub drobno zmielony korek (ewentualnie kasza manna).

Wykonanie:

Na tortownicy rozepnij folię spożywczą, naprężając ją mocno. Połącz kolumnę z generatorem. Połóż płasko kolumnę głośnikiem do góry i postaw na niej tortownicę przykrytą folią. Folię posyp równomiernie solą lub korkiem. Na generatorze zmieniaj płynnie częstość drgań. Obserwuj co dzieje się z rozsypaną na folii solą.

Wnioski:

W tortownicy powstają fale stojące o ściśle określonych częstościach zwanych własnymi. Podczas tych drgań sól zsypuje się do pozycji linii węzłowych fali, w których amplituda drgań własnych jest zerowa, tworząc figury Chladniego o niepowtarzalnych kształtach (nazwa pochodzi od nazwiska szwajcarskiego fizyka, który zbadał je po raz pierwszy pod koniec XVIII wieku). Natomiast przy częstościach pomiędzy częstościami własnymi, sól rozsypuje się chaotycznie po całej tarczy. Każdej figurze Chladniego odpowiada określona częstość własna lub jej wielokrotność. Wygląd figur Chladniego zależy od kształtu tarczy i od sposobu jej zamocowania, czyli od warunków brzegowych (bardzo ciekawe kształty można też uzyskać na płycie kwadratowej zamocowanej w środku).

Fale

Ruch falowy jest bardzo rozpowszechniony w przyrodzie. W życiu codziennym mamy do czynienia z falami mechanicznymi, do których zaliczają się na przykład fale dźwiękowe czy fale na wodzie, z falami elektromagnetycznymi, do których zaliczyć można np. fale radiowe, mikrofale, światłne (widzialne).



Krótko można powiedzieć, że fala to rozchodzenie się zaburzenia w przestrzeni.

Fale mechaniczne

Fala mechaniczna to fala rozchodząca się w ośrodku sprężystym (czyli takim, który powraca do pierwotnego kształtu, po usunięciu zewnętrznej siły powodującej powstanie w nim naprężeń) i przenosząca energię poprzez rozprzestrzenianie się drgań tego ośrodka.

Wytrącenie zespołu cząsteczek ośrodka sprężystego z położenia równowagi powoduje ich drganie wokół tego położenia, przy czym poprzez zderzenia z sąsiednimi cząsteczkami zaburzenie przenosi się z jednej warstwy ośrodka na następną, wprowadzając ją w ruch drgający o takim samym okresie drgań.

Przykładem ruchu falowego są, wspomniane już, fale rozchodzące się kołowo na powierzchni wody po wrzuceniu do niej kamienia lub ruch potrząsanego sznura. Wrzucenie kamienia i potrząsanie sznurem ma na celu wyprowadzenie cząsteczek ośrodka w określonym miejscu z położenia równowagi. Ruch cząsteczek wody i sznura polega na ich podnoszeniu i opadaniu w jednym miejscu, natomiast sama fala, przenosząca te drgania, rozchodzi się po powierzchni wody lub wzdłuż sznura. Ośrodek nie porusza się więc wraz z rozchodzącą się falą, lecz jedynie jego cząsteczki drgają wokół położenia równowagi, zaś istotę ruchu falowego stanowi przenoszenie się tych drgań na coraz dalsze warstwy ośrodka.

Dobłą ilustracją tego zjawiska jest ruch spławika wędki na powierzchni wody. Jeżeli po wodzie rozchodzi się fala, spławik unosi się do góry i w dół, ale nie przesuwa się razem z falą, co oznacza, że cząsteczki wody z którymi się styka nie przesuwały się.

Fala poprzeczna

Fale na wodzie i sznurze są przykładami tzw. fal poprzecznych.

Fala poprzeczna występuje wtedy, gdy cząsteczki ośrodka sprężystego drgają prostopadle do kierunku rozchodzenia się fali. Powstanie fali poprzecznej wiąże się ze zmianą kształtu ciała, a więc może się ona rozchodzić jedynie w ośrodkach mających sprężystość postaci (głównie w ciałach stałych).



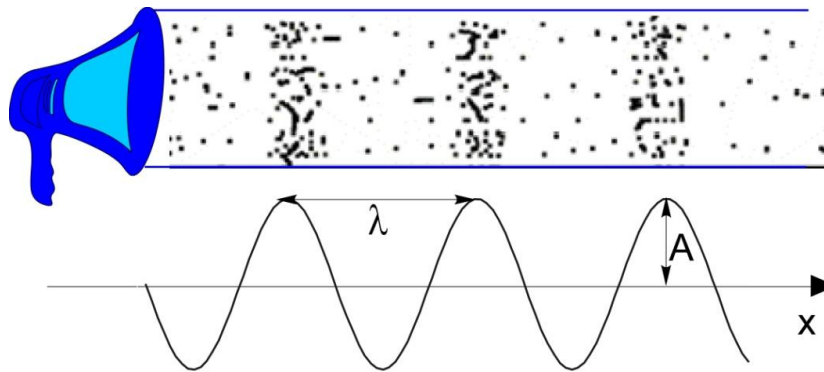
Fala podłużna

W zależności od kierunku drgań cząsteczek ośrodka w stosunku do kierunku rozchodzenia się fali oprócz fal poprzecznych występują też fale podłużne.

Z **falą podłużną** mamy do czynienia wtedy, gdy cząsteczki ośrodka drgają wzdłuż kierunku rozchodzenia się fali. Można ją otrzymać na przykład uderzając z jednej strony w koniec długiej sprężyny. Obserwujemy wtedy zagęszczanie się zwojów sprężyny w pobliżu miejsca uderzenia i przesuwanie się tego zagęszczenia wzdłuż jej osi, przy czym kierunek drgań zwojów sprężyny jest zgodny z kierunkiem rozchodzenia się fali.

Ponieważ rozchodzenie się fal podłużnych jest związane z okresowymi zmianami gęstości ośrodka, fale te mogą się rozchodzić we wszystkich ośrodkach wykazujących sprężystość objętości, a więc zarówno w ciałach stałych, cieczech i gazach.

Ważnym przykładem fali podłużnej jest fala dźwiękowa (patrz rysunek poniżej).



Wykres i parametry opisujące falę mechaniczną

Falę tę (jak również wszystkie inne fale harmoniczne) można przedstawić na rysunku, który bardzo przypomina wykres wychylenia w ruchu harmonicznym. Jest jednak zasadnicza różnica. W przypadku drgań harmonicznych (np. sprężyny) wykres przedstawia położenie jednego drgającego punktu w różnych chwilach (seria zdjęć), natomiast w przypadku fali wykres przedstawia położenie różnych punktów ośrodka w jednej chwili (jedno zdjęcie).



Ruch falowy podobnie jak ruch drgający opisuje amplituda (A), okres (T) i częstotliwość drgań (f). Z amplitudą fali związane są określenia: grzbiet fali i dolina fali. Grzbiet fali to maksymalne górne wychylenie cząsteczek ośrodka z położenia równowagi, a doliną – maksymalne dolne wychylenie. Dwa sąsiednie grzbiety lub doliny charakteryzują się tym, że są w zgodnych fazach tzn. mają jednakowe wychylenie i taką samą co do wartości i zwrotu prędkość.

Odległość pomiędzy sąsiednimi grzbietami (dolinami), czyli odległość dwóch najbliższych punktów ośrodka znajdujących się w tej samej fazie, nazywamy **długością fali** i oznaczamy symbolem λ (lambda). Ponieważ czas, w którym ruch falowy przenosi się na odległość λ jest równy okresowi drgań T , prędkość ruchu fali można opisać wzorem:

$$v = \frac{\lambda}{T}.$$

Interferencja fal

Jeżeli przez ośrodek sprężysty przechodzi równocześnie kilka fal, to każda jego cząsteczka uczestniczy w kilku nakładających się wzajemnie ruchach drgających, przy czym wychylenie, jakiego doznaje wtedy cząsteczka jest sumą wektorową wychyleń, jakich doznałaby ona pod działaniem każdej z tych fal z osobna. Drgania cząsteczki mogą się osłabiać lub wzmacniać, w zależności od tego, czy są wynikiem nakładania się fal o fazach zgodnych czy też przeciwnych. Zjawisko będące wynikiem nakładania się fal nosi nazwę interferencji.

Fala stojąca

Szczególnym przypadkiem interferencji fal jest powstanie fali stojącej, będącej wynikiem nakładania się dwóch fal o jednakowych częstościach i amplitudach, rozchodzących się w przeciwnych kierunkach. Zjawisko to można zaobserwować najczęściej podczas rozchodzenia się fal w rurach, prętach, strunach itp., więc tam, gdzie fale poruszają się naprzeciw siebie. W wyniku nakładania się fali pierwotnej i fali odbitej, cząsteczki ośrodka uzyskują, w zależności od ich położenia wzdłuż kierunku rozchodzenia się fali, różne amplitudy drgań zawarte w granicach od zera do wartości podwójnej amplitudy fali



pierwotnej. Punkt w których drgania nie występują to węzły fali stojącej, punkty o największej amplitudzie drgań to strzałki fali stojącej.

Eksperymenty fizyczne

9. Rozprzestrzenianie się fali poprzecznej wzdłuż sznura

Materiały:

Przynajmniej 3 m gumowego węża (może być w nim trochę piasku) lub luźnego niezbyt sztywnego sznura.

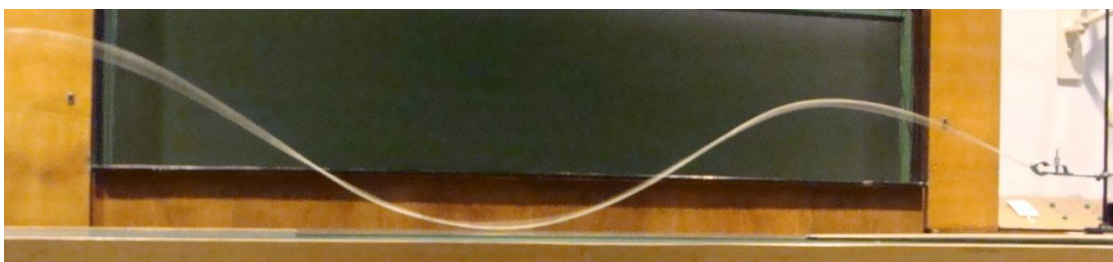
Wykonanie:

Do wykonania tego ćwiczenia są potrzebne 2 osoby.

Uczniowie łapią za końce sznura i oddalają się od siebie, jednak nie za daleko, tak aby sznur nie był napięty. Jedna osoba stara się trzymać koniec sznura nieruchomo, a druga jedną ręką trzyma za koniec sznura (ciągle w tym samym miejscu) a drugą ręką szarpie za sznur w górę i w dół. Opiszcie co dzieje się ze sznurem i z trzymającymi go osobami.

Wnioski:

Odształcenie odcinka węża gumowego lub sznurka na skutek jego potrząsania (jak na zdjęciu poniżej) jest zaburzeniem stanu równowagi tego odcinka. Zaburzenie to przesuwa się wzdłuż węża. Kolejne obszary węża przekazują energię następnym odcinkom, dzięki czemu wykonują one drgania, wtedy w węźle rozchodzi się fala.





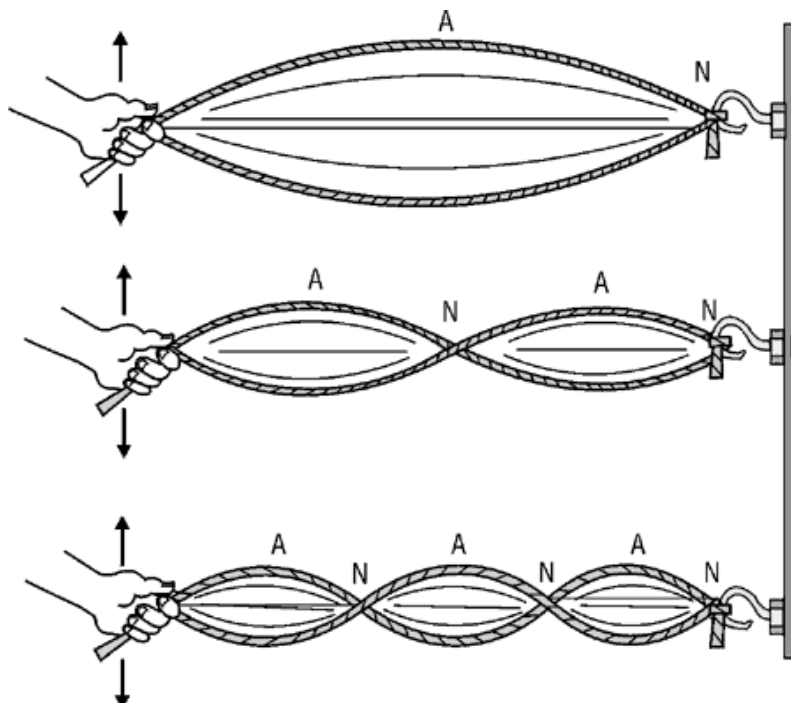
Należy zwrócić uwagę, że:

- a- rozprzestrzeniająca się wzdłuż sznura fala poprzeczna zmniejsza swoją amplitudę w miarę oddalania się od źródła;
- b- można też zaobserwować, że fala odbija się na nieruchomym końcu sznura i zaczyna poruszać się w przeciwnym kierunku;
- c- uczeń na końcu sznura, który ma trzymać go nieruchomo, ma z tym kłopot, ponieważ fala przenosi energię, która po dotarciu do jego ręki powoduje, że ręka zaczyna się poruszać.

10. Poprzeczna fala stojąca

Materiały:

Przynajmniej 3 m gumowego węża (może być w nim trochę piasku) lub luźnego niezbyt sztywnego sznura, kolorowe frotki lub cienkie wstążeczki (4–6 sztuk).



Wykonanie:



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Do wykonania tego ćwiczenia są potrzebne dwie osoby, można też przywiązać jeden z końców sznura nieruchomo do jakiegoś uchwytu (np. klamki drzwi lub okna). Dzielimy sznur na równe części (np. 3) zaznaczając odległości frotkami lub wstążkami. Próbuje wytworzyć falę stojącą. Łapiemy mocno za końce sznura w skrajnych zaznaczonych miejscach. Jedna z osób energicznie porusza sznurem w górę i w dół ustalając częstotliwość taką, aby w zaznaczonych miejscach powstały węzły fali. Druga osoba stara się trzymać sznur nieruchomo.

Zwiększamy liczbę węzłów i znowu próbujemy wytworzyć falę stojącą.

Wnioski:

Jak musi się zmienić częstotliwość, aby uzyskać falę stojącą z węzłami w zaznaczonych miejscach?

11. Podłużna fala stojąca

Materiały:

Dość długa i miękka sprężyna z zaczepem, hak, metalowa blaszka

Wykonanie:

Zaczepioną z jednej strony o hak sprężynę wprawiamy w drgania podłużne starając się wytworzyć falę stojącą. Metalową blaszkę wkładamy najpierw w węzeł podłużnej fali stojącej, a potem w staramy się ją włożyć w strzałkę.

Wnioski:

Co dzieje się ze sprężyną i blaszką w obu przypadkach?



Uwaga:

Wytworzenie fali stojącej w sprężynie może być dość trudnym zadaniem. Najlepiej posłużyć się wibratorem elektromechanicznym (patrz zdjęcie) podłączonym do generatora funkcyjnego.



12. Uczniowska falownica

Materiały:

Kilku–kilkunastu uczniów.

Wykonanie:

Aby przeprowadzić to doświadczenie z sukcesem wymagana jest dyscyplina klasy porównywalna z dyscypliną na paradzie wojskowej.

- A. Uczniowie ustawiają się w rzędzie, jeden obok drugiego, biorąc się pod ręce. Delikatnie popchnij jednego z uczniów w pierś. Co obserwujesz?
- B. Teraz uczniowie ustawiają się jeden za drugim kładąc dłonie na ramionach poprzednika. Teraz delikatnie popchnij ostatniego ucznia w plecy? Co tym razem zaobserwowałeś?



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Wnioski:

Na przykładzie tego doświadczenia można prześledzić zachowanie się cząsteczek sprężystego ośrodka (reprezentowanych tu przez uczniów) podczas gdy przez ten ośrodek przechodzi fala podłużna lub poprzeczna.

13. Impulsy i fala – sprężyna slinky

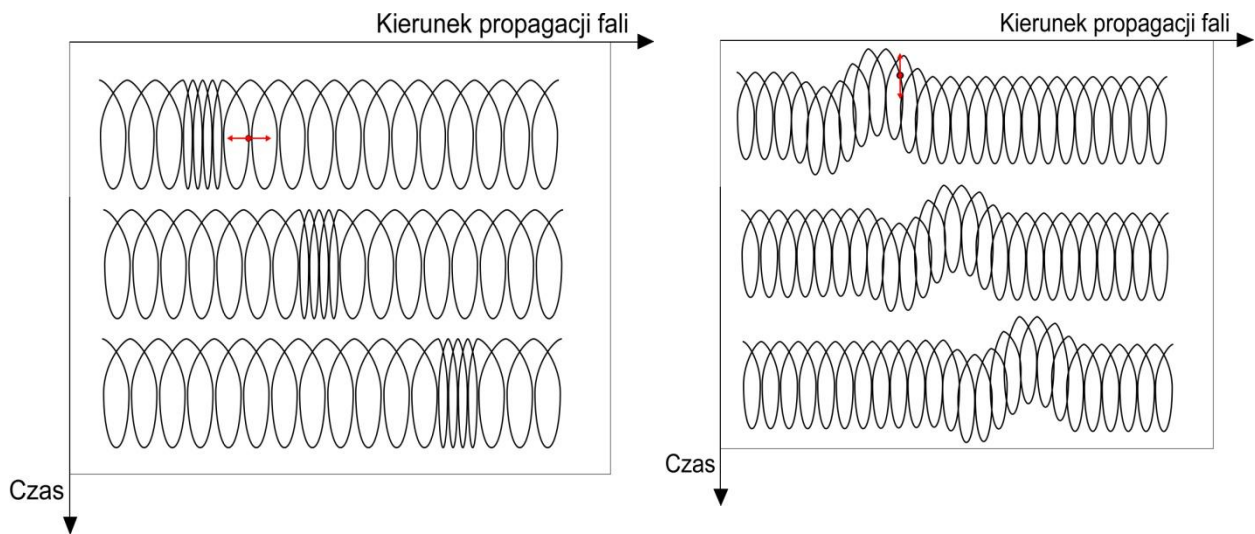
Materialy:

Dwie sprężyny „slinky”, linijka, miarka.



Wykonanie:

- A. Za pomocą sprężynki „slinky” można wytworzyć zarówno falę podłużną (rysunek po lewej stronie), jak i poprzeczną (rysunek po prawej stronie). Wytwórz i porównaj dwa rodzaje fal.



B. Dwie sprężynki umieść równolegle obok siebie na stole. Jedną z nich rozciągnij, tak aby była dwukrotnie dłuższa od drugiej i przy pomocy drugiej osoby lub mocowań ustal ich położenia. Szybko uderzając linijką jednocześnie w końce obu sprężyn wywołaj w nich impuls. Obserwuj przemieszczanie się impulsu w obu sprężynach i porównaj czas jaki jest potrzebny impulsowi na dodarcie do końca sprężyny w obu przypadkach.

Powtórz eksperyment potraając długość jednej ze sprężyn.

Co można powiedzieć o prędkości impulsów w każdym z przypadków?

Wnioski:

Podwajając i potraając długość sprężyny można zaobserwować, że jeden zajmuje w przypadku krótszej i dłuższej sprężyny tyle samo czasu. Wydłużona sprężyna jest bardziej napięta i prędkość impulsu jest wtedy większa. Na przykład podwojenie napięcia sprężyny przez podwojenie jej wydłużenia powoduje zmniejszenie o połowę masy przypadającej na jednostkę długości sprężyny. Impuls musi przemieszczać się dwa razy szybciej niż w krótkiej sprężynie, aby czas przemieszczenia się do końca sprężyny pozostał stały.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



14. Rozchodzenie się dźwięku

Materialy:

Kamerton lub masywny widelec, stół, drewniana pałeczka (może być np. drewniana łyżka).

Wykonanie:

Trzymaj kamerton w dłoni i uderz go młoteczką. Jeśli używasz widelca trzymaj go delikatnie w dwóch palcach za trzonek ząbkami do góry i uderz w ząb widelca drewnianą pałeczką, tak żeby usłyszeć wyraźny dźwięk. W czasie, gdy kamerton bądź widelec jeszcze dźwięczy, dotknij końcem trzonka dowolnej płaszczyzny (np. blat stołu). Co możesz powiedzieć teraz o głośności rozlegającego się dźwięku?

Wnioski:

Gdy oprzemy widelec (kamerton) o płytę, zostaje ona pobudzona do drgań, a jej duża powierzchnia skuteczniej wprawia w drgania otaczające powietrze, co sprawi, że rozlegający się dźwięk będzie głośniejszy. Płyta działa jak głośnik.

15. Fale na wodzie

Materialy:

Kamertony lub masywny widelec, młoteczek lub drewniana pałka, płaska przezroczysta zlewka, rzutnik pisma.

Wykonanie:

Nalej do zlewki niewielką ilość wody i ustaw zlewkę na płycie włączonego rzutnika. Ustaw rzutnik tak, aby na ekranie bądź ścianie uzyskać ostry obraz zlewki.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

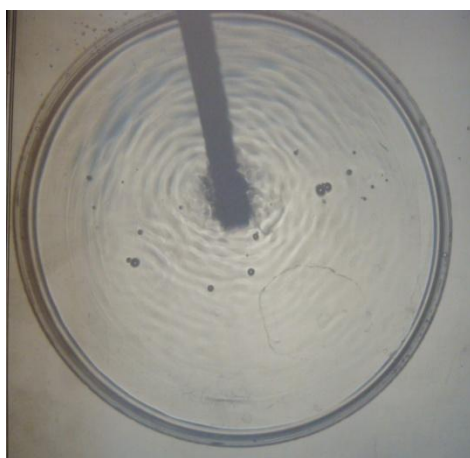


UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Wpraw kamerton w drgania uderzając młoteczką. Włóż jedno z jego ramion do zlewki z wodą. Powinieneś zaobserwować powstawanie fal na wodzie (tak jak na zdjęciu po lewej stronie).

Ponownie wpraw kamerton w drgania i tym razem włóż do wody oba jego ramiona. Tym razem możesz zaobserwować nakładanie się fal (tak jak na zdjęciu po prawej stronie).



16. Dźwiękowa fala stojąca

Materialy:

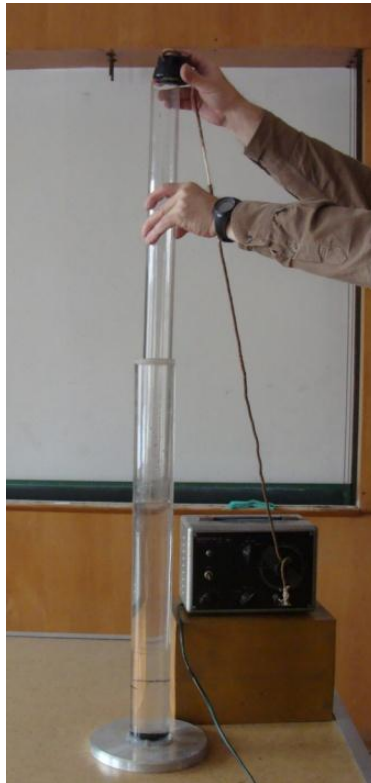
Dość wysokie naczynie wypełnione w 2/3 wodą, dowolna rura o średnicy ok. 5 cm i długości ok. 0,5 m (może to być np. rura PCV), głośnik ze wzmacniaczem lub głośnik komputerowy podłączony do komputera, linijka.

Wykonanie:

Zanurz koniec rury pionowo w pojemniku z wodą. Do drugiego końca rury przystaw głośnik wydający czysty dźwięk (patrz zdjęcie poniżej). Zmieniaj zanurzenie rury, do momentu, aż znajdziesz położenie przy którym dźwięk jest najsilniejszy. Upewnij się czy zjawisko następuje tylko na jednej głębokości zanurzenia rury i odpowiedz na pytanie: jakie warunki muszą być spełnione aby dźwięk uległ wzmocnieniu? Wyznacz częstotliwość dźwięku



emitowanego z głośnika, korzystając z prędkości dźwięku znalezionej w tablicach i wyników swoich obserwacji.



Wnioski:

Fala dźwiękowa przemieszczająca się wewnątrz rury dociera do powierzchni wody i odbija się od niej. Fala odbita nakłada się na falę padającą. Przy długości słupa powietrza wewnątrz rury spełniającej warunek: $d = (2n + 1) \frac{\lambda}{4}$ powstaje fala stojąca i zostają wzbudzone drgania rezonansowe (n – liczba całkowita).



17. Model mikrofonu

Ciekawostka dla zainteresowanych sposobami przesyłania i wzmacniania fali dźwiękowej.

17.1. Mikrofon koksowy

Materiały:

Słoik z pokrywką (z pokrywki należy usunąć gumową podkładkę), okrągła blaszka (np. denko z puszki o średnicy nieznacznie mniejszej od średnicy dna słoika, koks do wypełnienia słoika, bateria (najlepiej z podstawką), pięć kabli z banankami, statyw z uchwytem, transformator w celu wzmocnienia sygnału, radio.

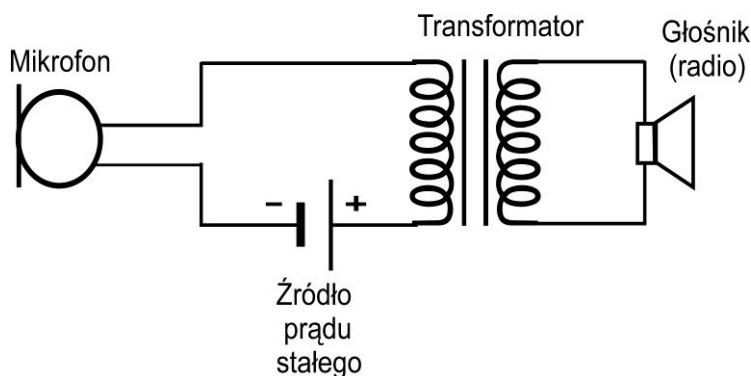
Wykonanie:

Na dnie słoika umieść blaszkę i przymocuj do niej jeden kabel (można go przylutować). Napełnij słoik koksem. W pokrywce zrób otwór i przewlec przez niego kabel przylutowany do blaszki na dnie słoika. Zakręć słoik. Do pokrywki przylutuj drugi kabel. Umieść słoik w uchwycie na statywie (patrz zdjęcie).





Połącz układ, zgodnie ze schematem:



Starsze odbiorniki radiowe posiadały tzw. wejścia adapterowe, które umożliwiały wzmocnienie i odtwarzanie sygnału wytworzonego przez drgającą igłę gramofonu przesuwającą się po ścieżce dźwiękowej płyty. Takie rozwiązanie jest zilustrowane na poniższym zdjęciu. Po włączeniu radia do sieci zacznij mówić w kierunku słoika. Twój wzmocniony głos powinien być słyszany z radiowego głośnika.



17.2. Mikrofon grafitowy

Materialy:

Pudełko po zapalniczkach, dwie żyłki, grafit (wkład z ołówka), bateria, głośnik (może być komputerowy), kable (lub miedziane druty).



Wykonanie:

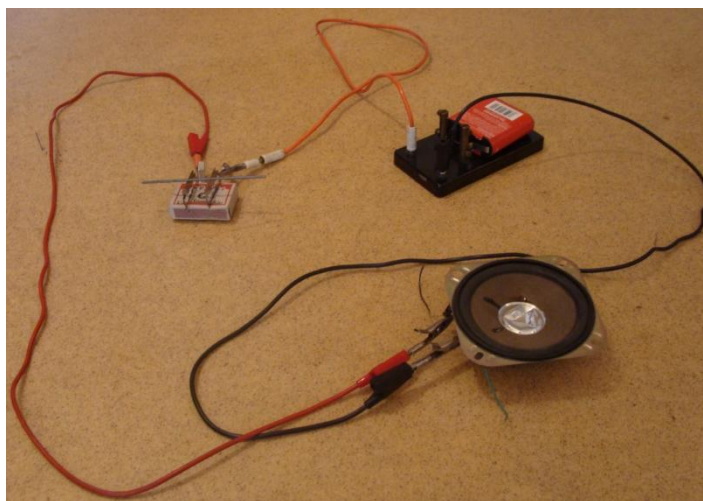
Jest to doświadczenie prostsze do wykonania od poprzedniego. Można je wykonać przy użyciu jedynie przedmiotów codziennego użytku. W pudełko po zapalniczkach wbij równoległe dwie żyłki i połów na nich grafit (patrz zdjęcie).



Pudełko powinno być tak, żeby grafit nie staczał się z żyłek.

dobrze wypoziomowane

Połącz układ tak jak na zdjęciu.



Jedną z żyłek podłącz do „+” baterii, do „-” baterii podłącz głośnik. Drugą z żyłek podłącz bezpośrednio do głośnika. Stukaj lub dmuchaj w bok pudełka po zapalniczkach, pełniącego w tym doświadczeniu rolę pudła rezonansowego. Odgłos stukania powinien być słyszany w głośniku.



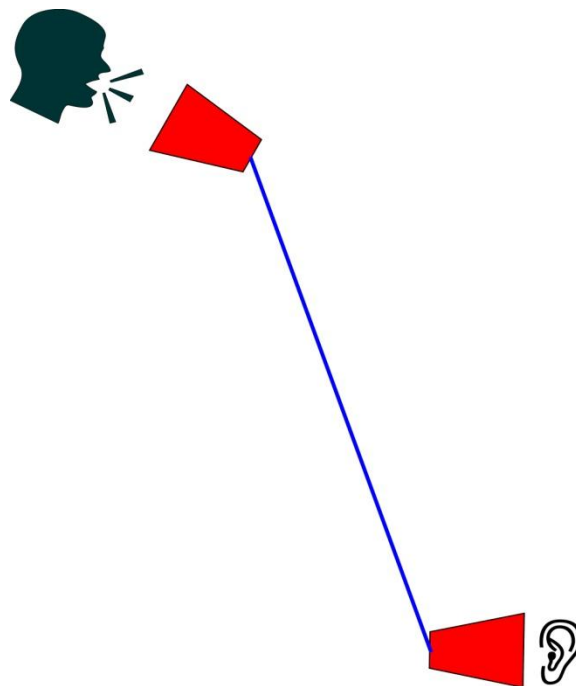
18. Model telefonu.

Materiały:

Dwie metalowe puszki (np. po kukurydzy lub groszku) lub kartonowe kubki (np. po Coca-Coli), cienki sznurek o długości ok. 10 m.

Wykonanie:

Do wykonania tego doświadczenia są potrzebne dwie osoby. Zróbcie niewielkie otworki w denkach puszek lub kubków. Połączcie puszki sznurkiem, przekładając go przez otworki i zawiązując supełki na końcach. Udajcie się do dwóch sąsiadujących ze sobą pomieszczeń, każdy z jedną puszką. Spróbujcie użyć puszek połączonych sznurkiem jako telefonu, oddalcie się przy tym na taką odległość, aby sznurek był lekko naprężony (jedna osoba mówi do puszki, a druga osoba przykładą swoją puszkę do ucha).



Wnioski:

Dowiedźcie się z jakimi prędkościami rozchodzą się fale dźwiękowe w różnych ośrodkach i na tej podstawie wyjaśnijcie wynik doświadczenia.