



XII

Praca, moc, energia

Drgania i fale mechaniczne

Agnieszka Bartecka

Cele:

- a- Opisanie różnych form energii występujących w środowisku człowieka i sposobów zmiany jednego rodzaju energii w drugi.
- b- Wskazanie na możliwość wykorzystania zasobów energetycznych w celu wykonania pracy i wykonania pracy w celu zmagazynowania energii.
- c- Przedstawienie ruchu drgającego, jako ruchu najczęściej występującego w przyrodzie.
- d- Wskazanie na powszechność występowania fal mechanicznych.
- e- Pokazanie sposobów wytwarzania fal dźwiękowych.

Plan pracy:

- Najważniejsze pojęcia.
- Praca, moc, energia mechaniczna:
 - praca;
 - moc;
 - energia mechaniczna;
 - energia kinetyczna;
 - twierdzenie o pracy i energii;



- zasada zachowania energii mechanicznej;
- układy zachowawcze i niezachowawcze;
- zasada zachowania energii;
- pęd i zasada zachowania pędu;
- skutki wykonania pracy nad ciałem;
- eksperymenty fizyczne;
- Przekazywanie energii w formie ciepła:
 - przepływ ciepła;
 - energia wewnętrzna;
 - eksperymenty fizyczne;
- Drgania:
 - ruch drgający;
 - ruch kulki zawieszony 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;
 - fala stojąca;
 - eksperymenty fizyczne.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Najważniejsze pojęcia:

Praca – jeden ze sposobów (obok ciepła) przekazywania energii i jednocześnie miara ilości energii przekazywanej między układami fizycznymi w różnych procesach (np. mechanicznych, elektrycznych, termodynamicznych i innych).

Moc – stosunek pracy do czasu, potrzebnego na jej wykonanie.

Sprawność maszyn – stosunek mocy użytecznej do mocy dostarczonej maszynie.

Energia – zdolność ciała do wykonania pracy.

Energia mechaniczna – postać energii związana z ruchem i położeniem obiektu fizycznego względem wybranego układu odniesienia, stanowiąca sumę energii potencjalnej i kinetycznej.

Energia kinetyczna – energia, którą posiadają ciała będące w ruchu.

Energia potencjalna grawitacji – energia, jaką posiada ciało przeniesione względem wybranego poziomu odniesienia, równa pracy jaką musiała wykonać siła przemieszczając to ciało na tę wysokość.

Energia potencjalna sprężystości – energia, jaką posiada ciało odkształcone sprężystością, równa pracy potrzebnej do zmiany kształtu tego ciała.

Energia wewnętrzna – całkowita energia układu będąca sumą energii oddziaływań międzycząsteczkowych i wewnątrzcząsteczkowych układu, a także energii ruchu cieplnego cząsteczek (energii termicznej) oraz wszystkich innych rodzajów energii występujących w układzie.

Moment bezwładności – miara bezwładności ciała w ruchu obrotowym względem określonej ustalonej osi obrotu, odpowiednik masy w ruchu postępowym.

Ciepło – jeden ze sposobów (obok pracy), przekazywania energii pomiędzy ciałami o różnych temperaturach.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Konwekcja – proces przekazywania ciepła związany z makroskopowym ruchem materii w płynie (cieczy lub gazie).

Pęd – podstawowa wielkość dynamiczna charakteryzująca ruch obiektu fizycznego. Pęd punktu materialnego jest równy iloczynowi masy m tego punktu przez jego prędkość v ($p = mv$).

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 – zaburzenie pola fizycznego rozchodzące się ze skończoną prędkością i przenoszące energię.

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

Fala poprzeczna – występuje, gdy cząsteczki ośrodka drgają prostopadle do kierunku rozchodzenia się fali.

Fala podłużna – występuje, gdy cząsteczki ośrodka drgają zgodnie z kierunkiem rozchodzenia się fali.

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

Okres drgań T – najkrótszy czas po jakim układ drgający znajduje się 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. cząstki ośrodka, nie wykonujące drgań, oraz strzałki, w których cząstki mają



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



największą amplitudę, przy czym odległość między dwoma najbliższymi węzłami wynosi połowę długości fali.

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.

Praca, moc, energia mechaniczna

Praca

W potocznym rozumieniu pojęciem pracy określa się zwykle wysiłek podjęty przez człowieka lub inny żywy organizm w celu osiągnięcia jakiegoś zamierzonego skutku. Po wynalezieniu maszyn, które umożliwiają wykorzystanie sił przyrody do wykonywania różnych czynności, zaczęto wykorzystywać pojęcie „praca” do porównywania i oceny skutków działania maszyn i urządzeń technicznych. Wykonana praca jest miarą „efektu” wywołanego poprzez działającą



siłę. Jeżeli zastosowana siła i przesunięcie obiektu, na który tą siłą zadziałano, mają ten sam kierunek, wtedy praca wykonana przez tę siłę może być wyrażona przez związek:

wykonana praca = siła pomnożona przez przesunięcie

$$W = F \cdot s$$

Kierunek działania siły jednak często różni się od kierunku ruchu. Siłę można wówczas rozłożyć na dwie składowe: siłę równoległą do kierunku ruchu, która pokonuje opory przeszkadzające w przemieszczaniu, oraz siłę prostopadłą do ruchu, równoważoną przez siłę reakcji podłoża. Składowa prostopadła nie przyczynia się w niczym od przemieszczania, dlatego tylko składowa równoległa do kierunku ruchu wykonuje pracę, potrzebną do wprawienia ciała w ruch.

Jednostką pracy jest dżul będący iloczynem jednostki siły (N) i drogi (m):

[dżul = niuton razy metr]

$$[J = N \cdot m]$$

Moc

W wielu sytuacjach ważna jest nie tylko wartość wykonanej pracy, ale także to, jak szybko lub jak wolno ta praca jest wykonana. Mówi się, że maszyna, która wykona daną pracę w krótszym czasie ma większą moc. Moc charakteryzuje silniki lub maszyny robocze, wyrażając wielkość wykonywanej przez nie pracy w jednostce czasu. Moc jest to zatem tempo, w jakim praca jest wykonana lub inaczej tempo, w jakim energia przyjmuje inną formę. Moc można obliczyć ze wzoru:

Moc = wykonana praca podzielona przez czas zużyty na jej wykonanie = zużyta energia podzielona przez czas

$$P = \frac{W}{t} = \frac{\Delta E}{t}$$

Jednostką mocy jest wat (W) czyli dżul na sekundę

$$[W = \frac{J}{s}]$$



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Energia mechaniczna

Energia jest to skalarna wielkość fizyczna charakteryzująca stan układu fizycznego jako jego zdolność do wykonania pracy. Energia jest pojęciem abstrakcyjnym. Nie można jej zobaczyć, ani poczuć, mimo to jest jednym z najważniejszych pojęć w nauce, ponieważ równowaga energii i masy jest podstawą istnienia Wszechświata.

Należy wykonać pracę aby wprawić nieruchome ciało w ruch, ciało samo staje się wtedy zdolne do wykonania pracy. Można powiedzieć, że ciało poruszające się posiada pewien zasób pracy, wykonanej przy wprawianiu go w ruch. Również niektóre ciała znajdujące się w spoczynku posiadają określony zasób pracy i mogą go oddać w pewnych warunkach. Na przykład ciężarek zawieszony na pewnej wysokości może spadając wprawić w ruch inny ciężarek, zwinięta sprężyna rozwijając się może wykonywać pracę i napędzać mechanizm zegarowy. Ten zasób pracy zgromadzony w ciele znajdującym się na pewnej wysokości, napiętym lub będącym w stanie ruchu jest miarą jego energii mechanicznej E .

Jednostką energii jest więc tak samo jak pracy dżul (J).

Energia mechaniczna występuje w dwóch różnych formach: jako energia potencjalna i energia kinetyczna, którą są obdarzone ciała w ruchu. Przy czym obie te formy mogą istnieć jednocześnie.

Dany obiekt może gromadzić energię poprzez zmianę położenia względem innego ciała lub wybranego układu ciał. Jest to energia potencjalna, bo nadaje ciału zdolność (potencjał) do wykonania pracy. Na przykład trzeba wykonać pracę przy ściskaniu sprężyny. Sprężyna magazynuje tę pracę w postaci **potencjalnej energii sprężystości**. Po zwolnieniu sprężyny, staje się ona zdolna do wykonania pracy (np. wprawienia w ruch wskazówek zegarka, wystrzelenia pocisku itp.).

Grawitacyjna energia potencjalna jest energią zmagazynowaną w ciele poprzez zmianę jego wysokości względem wybranego poziomu odniesienia. Wartość potencjalnej energii grawitacyjnej jest równa pracy, jaką należy wykonać przeciw sile grawitacji, aby podnieść ciało, można więc wyznaczyć ją z zależności:



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Grawitacyjna energia potencjalna = ciężar pomnożony przez wysokość

$$E_p = mgh$$

Energia kinetyczna to energia, którą posiada poruszające się ciało. Jeżeli ciało porusza się ruchem postępowym, zależy ona od masy ciała i jego prędkości w następujący sposób:

Energia kinetyczna = ½ masa razy prędkość podniesiona do kwadratu.

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$

Jeżeli natomiast ciało o momencie bezwładności I porusza się ruchem obrotowym, energia kinetyczna tego ciała wynosi:

Energia kinetyczna = ½ moment bezwładności × prędkość kąтова²

$$E_k = \frac{I\omega^2}{2}$$

Twierdzenie o pracy i energii

Wprawiając jakieś ciało w ruch wykonujemy nad nim pracę nadając mu energię kinetyczną. Energia ta jest równa pracy potrzebnej do wprawienia go w ruch, bądź też pracy potrzebnej do zatrzymania go. Można więc powiedzieć, że zmiana energii kinetycznej ciała jest równa pracy wypadkowej siły, która wywołała tę zmianę.

Stanowi to treść **twierdzenia o pracy i energii kinetycznej**, które brzmi: praca wykonana nad ciałem lub wykonana przez ciało jest równa zmianie jego energii kinetycznej.

Zasada zachowania energii mechanicznej

Całkowita energia mechaniczna ciała jest równa sumie jego energii potencjalnej i kinetycznej. Na przykład w czasie spadania ciała przy zaniedbywalnym oporze powietrza, jego energia mechaniczna nie ulega zmianie, następuje jedynie stopniowa zamiana energii potencjalnej na



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



kinetyczną, przy czym przyrost energii kinetycznej równa się dokładnie ubytkowi energii potencjalnej.

Układy zachowawcze i niezachowawcze

Układ ciał, w którym niezależnie od położenia tych ciał, całkowita energia mechaniczna jest stała, to układ zachowawczy. W rzeczywistości jednak najczęściej spotykamy się z układami niezachowawczymi, w których następuje rozpraszanie energii mechanicznej. Przykładem takiego układu może być ciało spadające w chwili uderzenia o Ziemię albo ciała przesuwane po podłodze, sprężyna, która po rozciągnięciu i puszczeniu drga z coraz mniejszą amplitudą, aż w końcu się zatrzymuje. Ciała te nie wrócą samoistnie do pierwotnego położenia, a część ich energii mechanicznej zostaje zamieniona na energię termiczną, która jest energią ruchu cząsteczkowego. Odwrotne zjawisko zachodzi w silnikach cieplnych, w których następuje zamiana ciepła wytworzonego w wyniku spalania paliwa na energię mechaniczną. W każdym z tych przypadków określona ilość energii jednego rodzaju zostaje zamieniona w ściśle równą jej ilość energii innego rodzaju.

Zasada zachowania energii

Energii nie można stworzyć z niczego ani zniszczyć. Ta powszechna zasada nosi nazwę zasady zachowania energii. Ogólnie można ją sformułować następująco: w układzie odizolowanym od otoczenia suma wszystkich rodzajów energii jest zawsze stała. Jeśli układ przestanie być zamknięty, a więc zostanie włożona weń pewna praca, albo też wykona on pracę na rzecz innego układu, to jego energia zostanie odpowiednio zwiększona lub zmniejszona o wartość wykonanej pracy.

Pęd i zasada zachowania pędu

Pęd jest to wektorowa wielkość fizyczna opisująca ruch obiektu fizycznego. Pęd punktu materialnego stanowi iloczyn prędkości tego punktu i jego masy.

pęd = masa razy prędkość



$$p = m \cdot v$$

Pęd układu ciał można znaleźć sumując wektorowo pędy wszystkich jego elementów.

Pęd układu izolowanego (nie poddanego żadnym oddziaływaniom zewnętrznym) stanowiący sumę wektorową pędów wszystkich elementów pozostaje stały, chociaż pędy poszczególnych części układu mogą się zmieniać w wyniku oddziaływań wewnątrz układu.

Skutki wykonania pracy nad ciałem

Jeżeli nad ciałem jest wykonana praca, to:

- ciało może następnie wykonać pracę nad innym ciałem,
- może wzrosnąć prędkość ciała (zwiększyć się jego energia kinetyczna),
- może wzrosnąć temperatura ciała (zwiększyć się jego energia wewnętrzna),
- ciało może zmagazynować energię i wykorzystać ją później (może się zwiększyć jego energia potencjalna).

Eksperymenty fizyczne

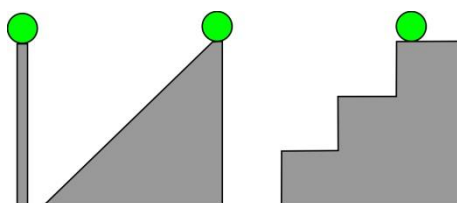
1. Porównanie pracy potrzebnej na wzniesienie piłki bezpośrednio w górę z pracą potrzebną na wtoczenie jej po równi i po schodach.

Materiały:

Schody, drewniana deska, piłka lekarska, przymiar, waga.

Wykonanie:

Należy podnieść piłkę na pewną wysokość, potem wtoczyć ją na tę samą wysokość po równi, a następnie wtoczyć ją na tę wysokość po schodach (schodek po schodku).





KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Wnioski:

Postaraj się odpowiedzieć na pytanie, w którym przypadku należy wykonać większą pracę, aby kulka znalazła się na wysokość h ?

W którym przypadku musimy użyć większej siły, aby piłka znalazła się na wysokości h ?

2. Wspinaczka po schodach

Materiały:

Waga łazienkowa, taśma miernicza (5 m), stoper.

Wykonanie:

Każda osoba biorąca udział w doświadczeniu waży się na wadze łazienkowej. Należy zmierzyć wysokość schodów od najniższego schodka do najwyższego. Jeden z uczniów wbiega po schodach. Drugi mierzy jego czas. Następny uczeń wchodzi krokiem marszowym po schodach. Drugi uczeń mierzy jego czas. Kolejny uczeń wchodzi po schodach powoli. Drugi uczeń mierzy jego czas.

Wnioski:

Dane zebrane w doświadczeniu należy wykorzystać do obliczenia przyrostu energii potencjalnej każdego z uczniów, pracy jaką wykonali oraz mocy każdego z nich.

Podobne doświadczenie można wykonać używając roweru i polecając wjeżdżać uczniom na pobliskie wzniesienie, którego wysokość można określić na podstawie dostępnych map lub używając GPS. Należy pamiętać, aby w obliczeniach uwzględnić masę roweru i że wyznaczona moc to, w tym przypadku, moc użyteczna.

3. Wyścigi kulek



Materialy:

Dwie identyczne kulki (małe ciężkie piłki lub kulki z łożyska), dwa dość długie paski łatwej do formowania blachy lub giętkie korytka instalacyjne o jednakowej długości.

Wykonanie:

Uformuj tory o kształtach zbliżonych do pokazanych na zdjęciu. Puść jednocześnie kulki po obu torach i obserwuj, która pierwsza dotrze do końca toru.



Wnioski:

Postaraj się wyjaśnić wynik obserwacji, na podstawie zasady zachowania energii? Która kulka będzie mieć większą prędkość na końcu toru?

Rozważ przypadek przedstawiony na rysunku poniżej. Na podstawie wyników eksperymentu, odpowiedz, która z kulek dotrze szybciej do końca toru w tym przypadku.



4. Zderzenia kul



Materialy:

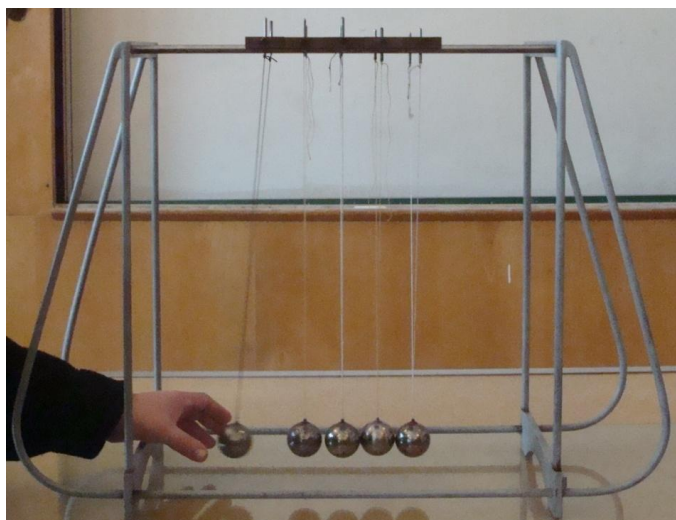
Stalowe kulki (kilka sztuk) o średnicy 10–15 mm z przymocowanym haczykiem, sznurek, metalowy pręt, 2 statywy.

Lub:

Stalowe kulki (kilka sztuk) o średnicy 10–15 mm (ze starego łożyska), 2 proste gładkie pręty metalowe o okrągłym przekroju (o średnicy ok. 10 mm i długości ok. 0,5 m), sznurek.

Wykonanie:

Z kulek i sznurka zrób jednakowej długości wahadła i zawieś je na pręcie przymocowanym poziomo do dwóch statywów, aby uzyskać układ podobny do przedstawionego na zdjęciu.



Odchyl jedną z kulek i puść swobodnie. Co zaobserwowałeś? Teraz odchyl dwie kulki i puść, aby uderzyły w pozostałe. Co dzieje się teraz? Powtórz doświadczenie z trzema kulkami. Jak wyjaśnić uzyskane wyniki?

Podobne doświadczenie można wykonać tworząc tor dla kulek z dwóch prętów.

Pręty połóż na stole lub innej płaskiej powierzchni obok siebie, tak aby się stykały. Zwiąż ich końce. Połóż na tak utworzonym torze kulki. Odsuń jedną z nich i zdecydowanym ruchem



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



skieruj w stronę pozostałych (staraj się pchnąć kulkę tak mocno, żeby się nie toczyła, tylko przesuwiała). Powtórz eksperyment z dwiema i trzema kulkami.

Wnioski:

W tym doświadczeniu mamy do czynienia ze zderzeniem sprężystym, podczas którego muszą być spełnione jednocześnie: zasada zachowania pędu i zasada zachowania energii. Jeżeli k to liczba uderzających kulek o prędkości v , a n to liczba kulek odskakujących o prędkości u , to:

$$k \frac{mv^2}{2} = n \frac{mu^2}{2},$$

$$kmv = nmu.$$

Po podniesieniu drugiego równania do kwadratu i podzieleniu stronami uzyskuje się:

$$k = n,$$

co oznacza, że liczba odskakujących kulek musi być równa liczbie kulek odchylonych.

5. Zderzenia monet

Materiały:

Trzy monety, stół o gładkiej powierzchni.

Wykonanie:

Położ na stole dwie monety, tak aby się stykały. Jeną z nich przyciśnij mocno palcem do stołu. Trzecią monetę pstryknij mocno, tak by uderzyła w przytrzymywaną monetę. Dotykająca jej moneta powinna odskoczyć.

Wnioski:

Postaraj się wyjaśnić obserwację, bazując na wynikach poprzedniego doświadczenia.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



6. Stalowa kulka i klocek

Materiały:

Stalowa kulka, nić, klocki zrobione z drewna, metalu i plasteliny, stół.

Wykonanie:

Zawieś kulkę na nici na takiej wysokości, aby po odchyleniu od pionu i puszczeniu uderzyła w leżący na stole klocek. Co dzieje się z klockiem?

Powtórz kilka razy doświadczenie zwiększając za każdym razem kąt wychylenia kulki.

Wnioski:

Sprawdź czy kąt odchylenia nici wpływa na ruch klocka po stole.

Czy masa klocka odgrywa rolę w tym doświadczeniu?

Jakie znaczenie ma materiał, z którego wykonany jest klocek, dla przebiegu doświadczenia?

7. Skutki wykonania pracy nad ciałem (cegła na dykcie)

Materiały:

Trzy cegły, kawałek cienkiej płyty pilśniowej (50 cm × 10 cm).

Wykonanie:

Dyktę połóż na dwóch rozstawionych na długość dykty ceglach. Połóż delikatnie trzecią cegłę na środku dykty. Co obserwujesz?

Teraz podnieś cegłę leżącą na środku i upuść ją z dość dużej wysokości. Co obserwujesz tym razem?

Wnioski:



Dykta po położeniu na niej cegły ulega sprężystemu odkształceniu, dzięki czemu jest potencjalnie zdolna do wykonania pracy po usunięciu dociążenia. Oznacza to, że posiada energię potencjalną sprężystości.

Bardzo możliwe, że dykta po upuszczeniu na nią cegły z wysokości mocno się wygnie, a nawet pęknie, co świadczy o tym, że spadająca cegła w momencie zetknięcia z dyktą posiada większą energię (wykonana nad nią przy podnoszeniu praca powoduje, że cegła nabywa energię potencjalną, która stopniowo podczas spadku zmienia się w energię kinetyczną, maksymalną w momencie zetknięcia z dyktą). Energia ta może zostać przekazana dykcie i spowodować zwiększenie jej energii wewnętrznej, prowadzące do rozerwania wiązań międzycząsteczkowych i w skrajnym przypadku przełamania dykty.

8. Równia pochyła, wózek i obręcz

Materialy:

Równia pochyła (np. przechylona ławka lub płyta pilśniowa, gładka deska, szyba), wózek (lub inny pojazd z małymi i lekkimi kółkami), krótki odcinek stalowej rury o cienkich ściankach i średnicy 8–10 cm.

Wykonanie:

Wózek i pierścień ustaw u szczytu równi pochyłej na tej samej wysokości i puść swobodnie. Który dotrze pierwszy do podstawy równi?



Wnioski:



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Korzystając z zasady zachowania energii, mamy dla ruchu wózka (ruchu postępowego) po równi:

$$mgh = \frac{mv^2}{2},$$

a po przekształceniu $v = \sqrt{2hg}$;

Natomiast dla toczącego się pierścienia (ruch postępowy i obrotowy wokół osi symetrii):

$$mgh = \frac{mu^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2},$$

Skąd po przekształceniu, wiedząc, że

$v = \omega R$, i że moment bezwładności cienkościennego walca wynosi $I = mR^2$ znajdujemy:

$$u = \sqrt{gh}.$$

Wózek porusza się z prędkością $\sqrt{2}$ razy większą niż walec, dlatego dotrze szybciej do końca równi.

9. Rzut poziomy i rzut ukośny.

Materiały:

Dwuosobowa ławka uczniowska lub duża płyta wykonana np. z dykty lub metalu (do wykorzystania jako równia pochyła), kulka (metalowa lub kauczukowa), kreda.

Wykonanie:

Wysmaruj dokładnie kulkę kredą. Przechyl ławkę lub płytę tworząc z niej równię pochyłą (należy unieść dłuższy bok ławki), po której ma się toczyć kulka. Nadawaj prędkość kulce pod różnymi kątami w stosunku do bocznej (krótszej) krawędzi płyty starając się, aby jej szybkość była za każdym razem taka sama. Obserwuj jej ruch i tor zaznaczony kredą. Pod jakim kątem należy wyrzucić piłkę, aby poleciała jak najdalej?



10. Bezwładność koła zamachowego.

Materiały:

Statyw, dwa pręty, cztery jednakowe ciężarki do obciążenia prętów (z otworami, do nałożenia na pręty i śrubami, aby się nie przesuwały), uchwyt obrotowy (łożyskowy), cienki sznurek, ciężarek, do którego można przywiązać sznurek.

Uwaga: Doświadczenie można też wykonać przy użyciu jednego pręta i dwóch nałożonych na niego ciężarków.

Wykonanie:





KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Pręty połączone z uchwytem obrotowym zamocuj symetrycznie na pionowym statywie, tak żeby mogły się obracać swobodnie w płaszczyźnie pionowej (patrz zdjęcie powyżej). Nałóż na pręty ciężarki, tak aby znalazły się na zewnętrznych końcach prętów 11..

Przywiąż ciężarek do nici i nawiń jej drugi koniec wokół uchwyty obrotowego, tak żeby opuszczając się spowodował obracanie się pręta.

Powtórz doświadczenie umieszczając ciężarki na prętach w pobliżu osi obrotu. Porównaj wyniki obu części doświadczenia.

Wnioski:

Podczas gdy ciężarek opada, grawitacyjna energia potencjalna ciężarka ulega przekształceniu w energię ruchu obrotowego pręta i energię kinetyczną opadającej masy. Jeżeli moment bezwładności ulegnie zmianie (inny układ mas na pręcie), stosunek energii ruchu obrotowego do energii kinetycznej ciężarka również się zmieni.

12. Skok na bungee

Materiały:

Cienka rozciągliwa gumka pasmanteryjna o okrągłym przekroju, waga elektroniczna ważąca z dokładnością do 0,1 g, mała zabawka (np. ludzik Lego) o masie ok. 5 g, plastelina, przymiar, statyw, zacisk, papier milimetrowy.

Wykonanie:

Najpierw należy sprawdzić jak mocno gumka rozciąga się przy wzrastającym obciążeniu i sporządzić wykres energii sprężystości gumki w zależności od wydłużenia, aby to zrobić:

Przygotuj 50 cm kawałek nierozciągniętej gumki. Zawieś gumkę pionowo w odległości ok. 180 cm od podłoża używając zacisku i statywu (można ją też powiesić na karniszu używając



np. mocno ściskającej żabki do wieszania firanek). Odważ kilka małych kawałków plasteliny (1 g każdy). Dokładaj po jednym kawałku plasteliny do końca gumki i zapisuj wydłużenie sprężyny w zależności od masy. Kontynuuj do momentu aż gumka wydłuży się do długości 1,5 m.

Uwaga: Jeżeli twoja gumka nie rozciąga się wyraźnie przy obciążeniu 1 g, musisz dobrać większe obciążenie, takie, aby można było zmierzyć wydłużenie za pomocą linijki. Ciężar skoczka, też musi być wtedy odpowiednio większy.

Wykonaj wykres siły ciężkości w zależności od wydłużenia $F_g = f(x)$.

Na podstawie wykresu oblicz zmianę energii sprężystości ΔE , korzystając z zależności: $\Delta E = F \cdot x$, w odstępach 5 cm. Wykonaj wykres energii w zależności od wydłużenia.

Umocuj ludzika na końcu gumki i przygotuj wykres zmiany energii w zależności od wydłużenia. Postaraj się przewidzieć na podstawie zasady zachowania energii oraz wykresu wysokość z jakiej ludzik powinien skoczyć, aby jego skok był bezpieczny, ale i ekscytujący. Celem jest osiągnięcie odległości od podłogi mniejszej bądź równej 8 cm, przy czym ludzik nie może dotknąć podłogi.

Na podstawie uzyskanych wyników można zakwalifikować się do trzech kategorii:

- Przewidziałem właściwą wysokość i skoczek wykonał skok, który był bezpieczny i ekscytujący;
- Przewidziałem zbyt dużą wysokość, przez co skoczek ocalał, ale jego skok nie był wystarczająco przerażający;
- Nie powinienem być zatrudniany jako operator bungee.

Wnioski i wskazówki:

Skoczek bungee momentalnie znajdzie się w spoczynku, kiedy strata grawitacyjnej energii potencjalnej będzie równa energii sprężystości sprężyny (fakt, że energia kinetyczna skoczka najpierw rośnie, a potem maleje, jest bez znaczenia przy przeprowadzaniu obliczeń). Dopóki skoczek spada do poziomu odpowiadającego nierozciągniętej gumce l , energia sprężystości



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



gumki nie będzie ulegała zmianie. Dla skoczka, który przebył odległość równą l , wydłużenie sprężyny $x = 0$, a strata grawitacyjnej energii potencjalnej skoczka wynosi $\Delta E_g = mgl$.

Aby znaleźć wysokość, na jakiej skoczek znajdzie się w spoczynku, narysuj linię na wykresie $\Delta E = f(x)$, pokazującą jak zmienia się grawitacyjna potencjalna energia E_g skoczka w miarę jego spadania. Będzie to prosta linia zaczynająca się w punkcie o współrzędnych $E_g = mgl$ i $x = 0$. Współczynnik kierunkowy tej prostej wynosi mg . W momencie, w którym obie linie na wykresie się przetną, spadek grawitacyjnej energii potencjalnej jest równy energii sprężystości zgromadzonej w gumce. I w tym momencie skoczek się zatrzyma. Użyj wykresu, aby określić wysokość, na jakiej to zajdzie.

(Źródło: *Salter's Horners Advanced Physics*, „University of York Science Education Group”).

13. Jajko i prześcieradło – demonstracja pokazująca efektywność poduszek powietrznych

Materiały:

Surowe jajko, stare prześcieradło lub zasłona, osłony na oczy – 2 szt., kaski – 2 szt.

Wykonanie:

Dwaj uczniowie rozciągają między sobą prześcieradło trzymając je niezbyt napięte za górne końce tak wysoko jak mogą. Dolne końce podnoszą nieco do góry, tworząc z prześcieradła patrząc z boku coś na kształt litery J. Powinni mieć nałożone gogle i kaski ochronne.

Pozostali uczniowie rzucają kolejno z całej siły jajkiem w środek prześcieradła (dobrze jest robić to doświadczenie na dworze). Można się przekonać, że mimo iż uczniowie będą starali się rzucać jajkiem z całej siły nie uda im się go rozbić.

Wnioski:

Mamy tu do czynienia ze zderzeniem niesprężystym, podczas którego jajko oddaje swój pęd prześcieradłu, powodując jego odkształcenie dzięki czemu jajko się nie rozbije. Aby



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



udowodnić, że jajko było surowe można je po skończonym eksperymencie rozbić do jakiegoś naczynia.

Doświadczenie to może stanowić prostą demonstrację efektywności poduszek powietrznych lub pasów bezpieczeństwa. Prześcieradło pozwala zmniejszyć siłę potrzebną do zatrzymania jajka w porównaniu do zderzenia ze ścianą.

(Autor doświadczenia: Ken Zetie, Head of Physics at St Paul's School in West London).

Przekazywanie energii w formie ciepła

Przepływ ciepła

Przepływ ciepła między ciałami o różnej temperaturze może odbywać się trzema sposobami: przez przewodzenie, unoszenie (konwekcję) i promieniowanie.

Przewodzenie ciepła polega na przenoszeniu ciepła od ośrodka o temperaturze wyższej do ośrodka o temperaturze niższej za pośrednictwem ciała, zwanego wymiennikiem ciepła, wewnątrz którego tworzy się różnica temperatur.

Złe przewodniki ciepła (np. korek, wełna, pilśni) nazywamy izolatorami ciepła. Dobre przewodniki ciepła (miedź, aluminium, stal) są używane do budowy wymienników ciepła (np. kotłów, grzejników, garnków).

Konwekcja (unoszenie ciepła) jest to zjawisko ruchu ciepła polegające na tym, że ciepło pobrane w pewnym miejscu przez cząsteczki cieczy lub gazu jest przenoszone razem z tymi cząsteczkami i oddane chłodniejszemu otoczeniu w innym miejscu. Przenoszące ciepło prądy cząsteczek cieczy lub gazów to prądy konwekcyjne. Na zjawisku konwekcji oparte jest działanie centralnego ogrzewania oraz działanie kominów.

Promieniowanie polega na tym, że ciało o wystarczająco wysokiej temperaturze emituje ze swej powierzchni promieniowanie cieplne, które rozchodzi się zarówno w ośrodkach materialnych, np. w powietrzu, jak i w próżni. Jeżeli promieniowanie cieplne pada na jakies



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



ciało, to zostaje przynajmniej częściowo pochłonięte przez jego cząsteczki, zwiększając ich średnią energię kinetyczną, a co za tym idzie, podwyższając temperaturę ciała.

Energia wewnętrzna

Większość zjawisk cieplnych można wytłumaczyć na podstawie cząsteczkowej budowy materii. Każde ciało (niezależnie od swojego stanu skupienia) jest zbudowane z atomów, które łącząc się ze sobą tworzą cząsteczki. Spoiwem wiążącym ze sobą cząsteczki, są siły międzycząsteczkowe pochodzenia elektromagnetycznego, które oddziałują na niewielkich odległościach, rzędu wymiarów cząsteczki. Siły międzycząsteczkowe są przyczyną występowania w materii specjalnego rodzaju energii potencjalnej, zwanej energią wiązania. Jest ona równa pracy niezbędnej dla rozsunienia cząsteczek znajdujących się początkowo w położeniu równowagi. Wartość energii wiązania jest przede wszystkim zależna od stanu skupienia materii. W każdym stanie skupienia, czy to stałym, ciekłym czy gazowym, atomy i cząsteczki nieustannie się poruszają.

Większość ciał stałych ma budowę krystaliczną i poszczególne cząsteczki są w nich rozmieszczone w geometrycznych układach, tworząc regularną sieć przestrzenną oraz nieustannie drgają wokół ustalonych położeń równowagi. Średnia energia kinetyczna cząsteczek budujących ciało jest tym wyższa im wyższa jest temperatura bezwzględna ciała. Suma energii kinetycznej ruchu cieplnego cząsteczek i energii potencjalnej ich wiązania jest miarą energii wewnętrznej ciała.

Eksperymenty fizyczne

14. Zmiana temperatury gumki recepturki przy rozciąganiu

Potrzebne materiały:

Gumka recepturka.

Wykonanie:



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Zbliż gumkę do ust i rozciągnij ją szybko kilka–kilkanaście razy w dłoniach. Czujesz, że po rozciągnięciu temperatura gumki się zmieniła? Jak to wyjaśnić?

Wnioski:

Rozciągając gumkę wykonujemy pracę, której skutkiem jest zwiększenie energii wewnętrznej gumki, objawiające się zwiększeniem jej temperatury.

Uwaga: Doświadczenia obrazujące wykonanie pracy w celu zwiększenia energii wewnętrznej układu możesz też znaleźć w dziale „Termodynamika w środowisku człowieka”.

15. Konwekcja

15.1. Spirala

Materialy:

Kartka papieru formatu A4, szpikulec o długości ok. 50 cm (może to być np. rozeń, drut do robótek ręcznych), nożyczki, plastelina do umocowania szpikulca pionowo (lub inny przyrząd, który posłuży za statyw), świeczka, zapalki.

Wykonanie:

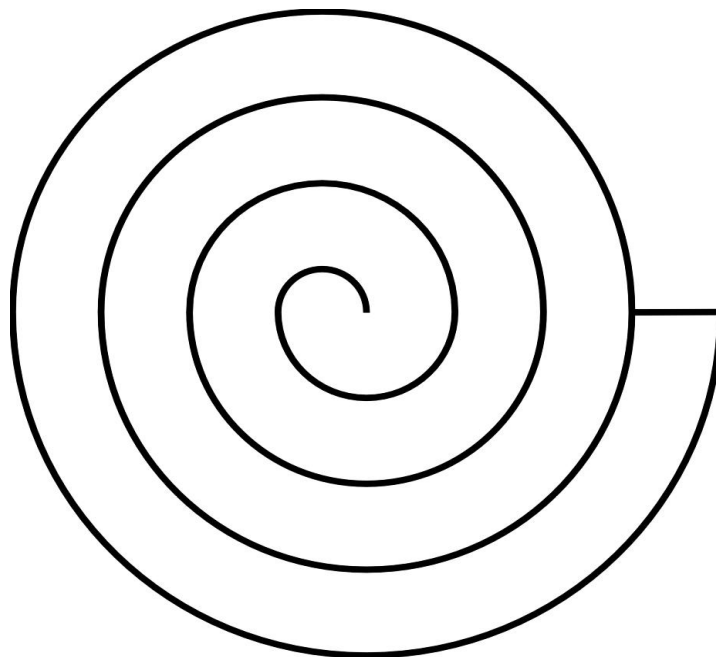
Wytnij z kartki spiralę, taką jak przedstawiona na rysunku.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Szpikulec umieść w statywie lub ustaw pionowo na stole za pomocą plasteliny. Środek spirali umieść na szpikulcu, tak aby reszta swobodnie zwisała (na kształt węża okręconego wokół szpikulca). Zapal świeczkę i ostrożnie umieść na stole pod węzem (uważaj by go nie zapalić). Wąż powinien zacząć się obracać wokół szpikulca. Jak wyjaśnić ten efekt?

Wnioski:

Zachodzi tu zjawisko konwekcji. Prąd konwekcyjny przenosi energię cieplną od świeczki do spirali i wykonuje pracę, której skutkiem jest wprawienie spirali w ruch.

15.2. Obracająca się karteczka

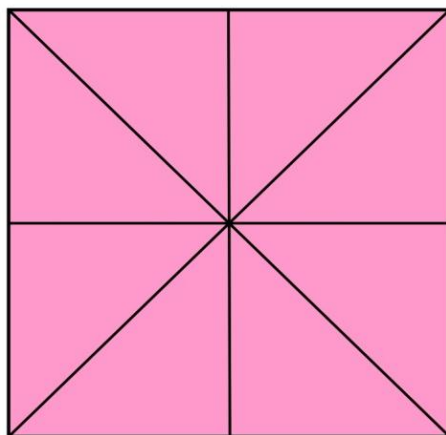
Materialy:

Mała kwadratowa karteczka (z bloczku do notatek, ale bez kleju), igła i gumka myszka do mazania, plastikowe przezroczyste pudełko (np. po słodyczach) lub słoik z szerokim otworem.

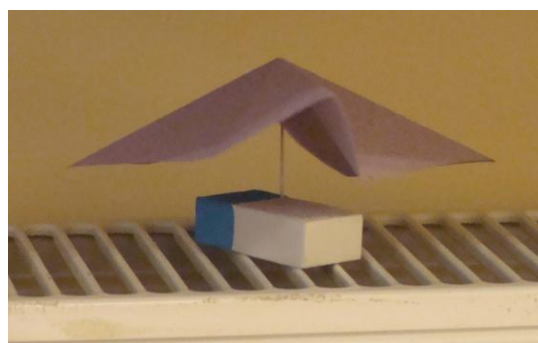
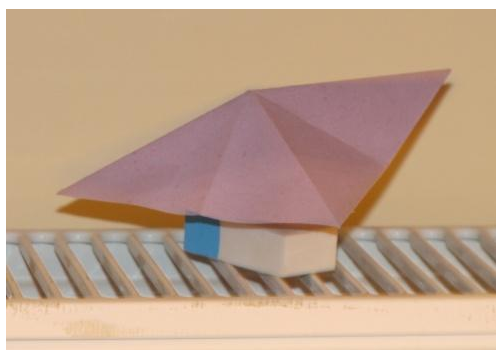
Wykonanie:



Wbij igłę w gumkę do mazania, tak aby przeszła na drugą stronę i w gumce znalazł się tylko jej tępy koniec. Potraktuj gumkę jak statyw. Tak powstały statyw postaw na grzejniku. Zegnij karteczkę wzdłuż linii zaznaczonych na rysunku, tak aby powstało z niej coś na kształt parasolki z wyraźnie widocznym środkiem.



Środek karteczki umieść dokładnie na końcu igły. Po chwili karteczka powinna zacząć wirować na końcu igły na skutek istnienia prądu konwekcyjnego ciepłego powietrza nad grzejnikiem.



Zdejmij układ z kaloryfera i postaw na stole. Zbliź obie dłonie z dwóch stron do układu, tak jakbyś chciał go objąć, nie dotykaj go jednak. Udało ci się wprawić karteczkę w ruch obrotowy?

Układ doświadczalny składający się z igły, gumki i karteczki nakryj teraz przezroczystym pojemnikiem, który następnie obejmij dłońmi. Czy i tym razem karteczka wiruje?



15.3. Konwekcja w wodzie

Materialy:

Akwarium, woda, grzałka, mocno zmrożony w zamrażalniku kawałek metalu na sznurku (np. spora metalowa nakrętka), oświetlacz lub lampka (np. na biurko) z mocną żarówką, stół, ekran (można też wykorzystać fragment ściany).

Wykonanie:

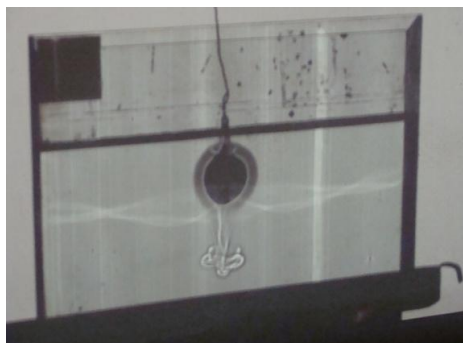
Do akwarium nalej wody. Ustaw akwarium na stole w pobliżu kontaktu. Skieruj na akwarium z wodą światło z lampki, tak aby na ekranie (lub ścianie) umieszczonym po drugiej stronie akwarium zobaczyć wyraźnie jego cień. Jest to tzw. projekcja cieniowa.

A. Włóż do akwarium grzałkę i włącz ją do gniazdka. Oczekaj chwilę, aż grzałka się rozgrzeje i obserwuj cień akwarium na ekranie (jeśli nie masz grzałki, możesz mocno rozgrzać kawałek metalu nad palnikiem gazowym i włożyć go do wody, czas obserwacji będzie jednak wtedy krótszy). Co zauważyłeś? Jak wytłumaczysz zaobserwowane zjawisko?

B. Wyjmij grzałkę z wody. Następnie przynieś z zamrażalnika schłodzony kawałek metalu i trzymając za sznurek włóż go do wody (nie wrzucaj go na dno, tylko trzymaj pod wodą w pewnej odległości od dna). Co zaobserwowałeś tym razem?

Wnioski:

W doświadczeniu tym widać, że prądy konwekcyjne ogrzanej grzałką wody wędrują do góry, natomiast ochłodzona woda przemieszcza się w dół.





KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Na tej właśnie zasadzie jest oparte działanie grawitacyjnej instalacji centralnego ogrzewania, w której ma miejsce ciągłe wędrowanie ciepłej wody w górę i opadanie zimnej. Na podstawie obserwowanego zjawiska można też odpowiedzieć na pytanie po co miesza się potrawy podczas gotowania.

16. Pochłanianie energii światła przez powierzchnie o różnych barwach

Materiały:

Dwie takie same puszki (w tym jedna pomalowana na czarno, a druga błyszcząca lub pomalowana na biało), lampka na biurko z mocną żarówką, dwa termometry, woda.

Wykonanie:

Nalej do puszek jednakową ilość wody. Zmierz temperaturę wody w obu puszkach używając termometrów. Tuż przed puszkami z włożonymi termometrami ustaw lampę, tak aby oświetlała równomiernie boczną powierzchnię obu puszek. Włącz lampę i przez kilkanaście minut obserwuj wskazania obu termometrów. Jak wyjaśnić wynik doświadczenia?

Wnioski:

W doświadczeniu tym mamy do czynienia z przekazywaniem energii termicznej przez promieniowanie oraz przewodnictwo. Włókno żarówki, rozgrzane do wysokiej temperatury emituje nie tylko światło, ale również promieniowanie ciepłe, które rozchodzi się w powietrzu, dochodzi do powierzchni puszek i zostaje pochłonięte przez cząsteczki, z których te powierzchnie są zbudowane i powoduje zwiększenie ich średniej energii kinetycznej, a co za tym idzie podwyższa temperaturę puszek. Puszka pełni w tym doświadczeniu rolę wymiennika ciepła i przez przewodzenie przekazuje je wodzie znajdującej się w jej wnętrzu.

Jednak, jak można zaobserwować w tym doświadczeniu więcej energii termicznej absorbuje puszka pomalowana na czarno (temperatura wody w tej puszcze osiąga większą temperaturę). Promieniowanie docierające do puszeki błyszczącej ulega na jej powierzchni odbiciu.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Właśnie z tego powodu kolektory słoneczne, mające za zadanie magazynować energię słoneczną są czarne. Z tego samego powodu w upalny słoneczny dzień jest nam goręcej, jeśli ubierzemy się na czarno.

Drgania

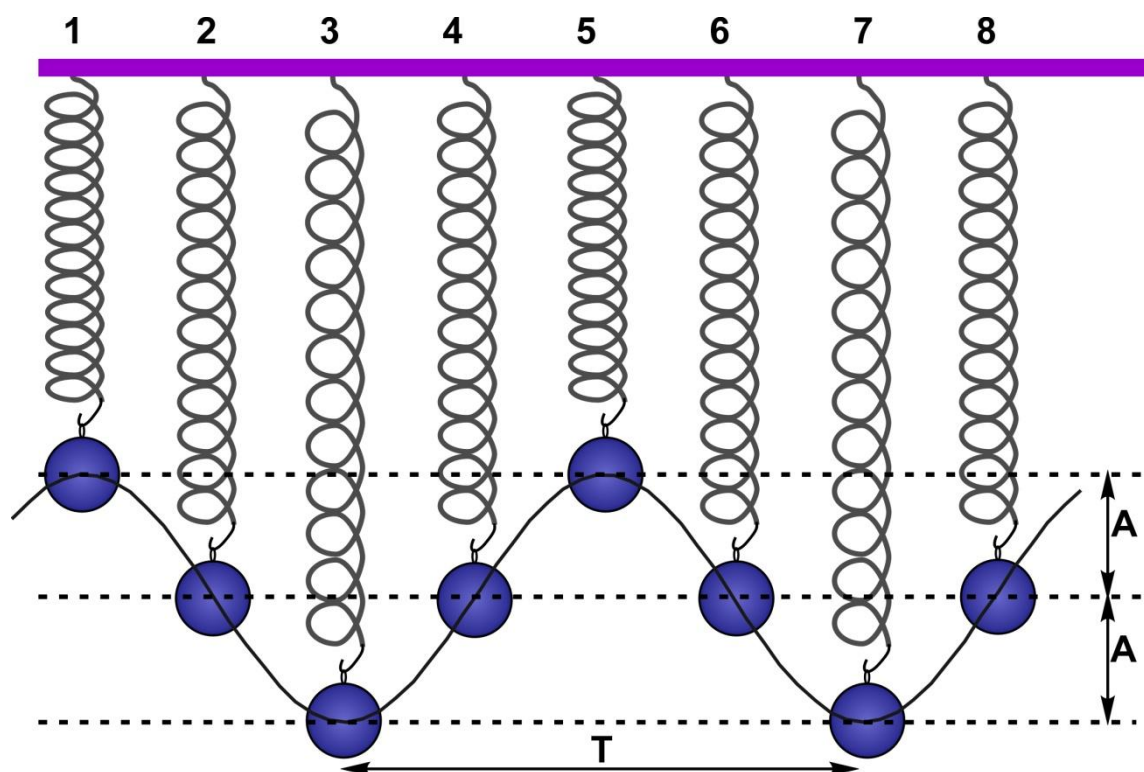
Ruch drgający

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 zawieszonyj 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



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



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.

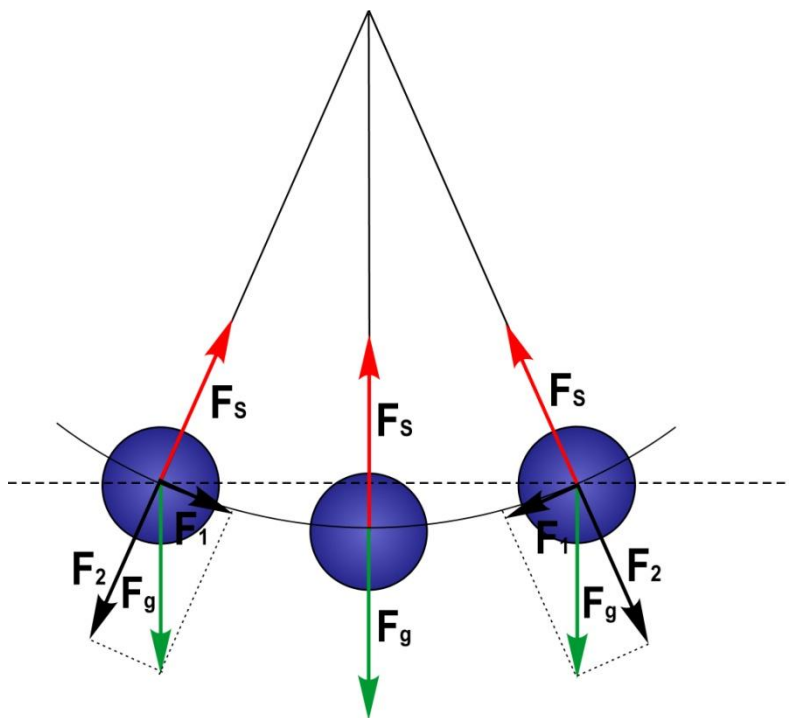
W pozycji **6** kulka ponownie znajduje się w położeniu równowagi. Pomimo, że wypadkowa siła jest równa zero kulka nie zatrzymuje się, bo ma nabytą prędkość i dalej sytuacja się powtarza. Czas, po którym kulka zaczyna powtarzać swój ruch, to okres.

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, zawieszona 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 zawieszony 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_1 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.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Właściwość wahadła polegająca na niezależności okresu drgań od jego amplitudy nazwana została izochronizmem i zastosowana w zegarach.

Wnioski

Po przeanalizowaniu ruchu drgającego kulki zawieszony 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.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



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 częstotliwości 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 w nie wpadały. 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

17. Opis różnych rodzajów ruchu harmonicznego na podstawie obserwacji.

Materiały:

Nić, metalowa kulka, sprężyna, korytka 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,
- 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



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



jest spełniona zasada zachowania energii? Dlaczego po pewnym czasie ruch zanika? Co to znaczy, że ruch tych kulek jest ruchem okresowym?

18. Wahadło matematyczne – wyznaczenie przyspieszenia ziemskiego

Materiały:

Dwie stalowe kuli o różnych masach zawieszona na niciach o równych długościach, statyw lub inne miejsce, gdzie można zawiesić kulę, stoper, 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 jeden 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.

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?



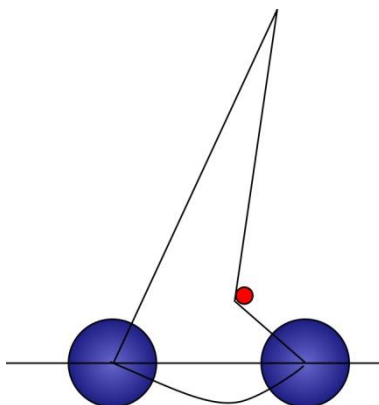
19. Wahadło matematyczne + kulek

Materiały:

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.



Wnioski:

Zawieszona na nici kulka powinna osiągnąć taką samą wysokość po napotkaniu na poziomy kulek.

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.



20. Badanie zależności wychylenia od czasu w ruchu harmonicznym.

20.1. Wahadło matematyczne

Materialy:

Drobny suchy piasek, lejek z wąskim wylotem (może to być lejek kuchenny lub zrobiony z kartonu), sznurek, pas ciemnej gumy (lub papieru, 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 papieru, wsyp do lejka piasek i wpraw wahadło w drgania w kierunku prostopadłym do płaszczyzny utworzonej przez nitki, na których wisi wahadło. Przesuwaj równomiernie pas papieru lub materiału, 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.





KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



20.2. Sprężyna

Materiały:

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

Wykonanie:

Przymocuj pisak do ciężarka za pomocą plasteliny tak, aby był prostopadły do 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.

21. Krzywe Lissajous.

Ciekawostka dla zainteresowanych tematem składania drgań harmoniczných.

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



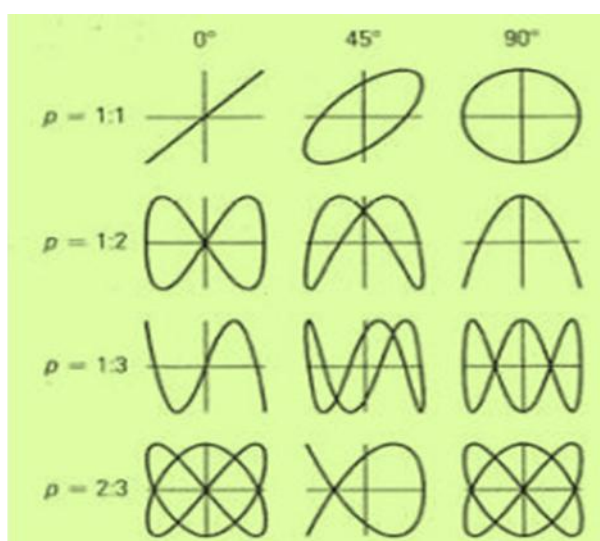
równowagi skośnie do płaszczyzny utworzonej przez nici, na których wisi wahadło.
Powinieneś zaobserwować figury podobne do tych przedstawionych na zdjęciach.



Wnioski:

Uzyskane w tym 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).





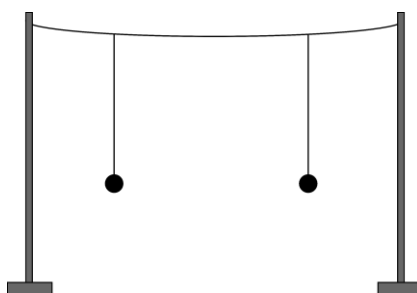
22. Rezonans mechaniczny. Połączone wahadła

Materialy:

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

Wykonanie:

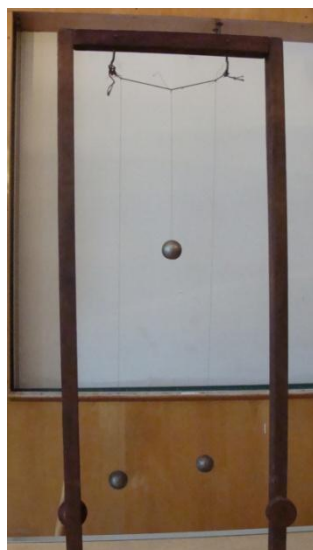
A. Umieść dwa statywy ok. 50 cm od siebie i przymocuj pomiędzy nimi sznurek. Zawieś dwa identyczne wahadła zrobione z kulek bądź nakrętek symetrycznie na sznurku, tak aby były oddalone od siebie o ok. 25 cm. Wychyl jedno z wahań z położenia równowagi i puść. Obserwuj co się stanie.



Wnioski:

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

B. Umieść teraz pomiędzy dwoma wahańmi dodatkowe wahań o innej długości (tak jak na zdjęciu poniżej). Jedno z jednakowych wahań wychyl z położenia równowagi i puść. Obserwuj pozostałe wahań. Co zauważyłeś? Powtórz doświadczenie dokładając jeszcze jedno lub dwa wahań 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.

23. Rezonans akustyczny

23.1. Dwa kamertony

Materiały:

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

Wykonanie:

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



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

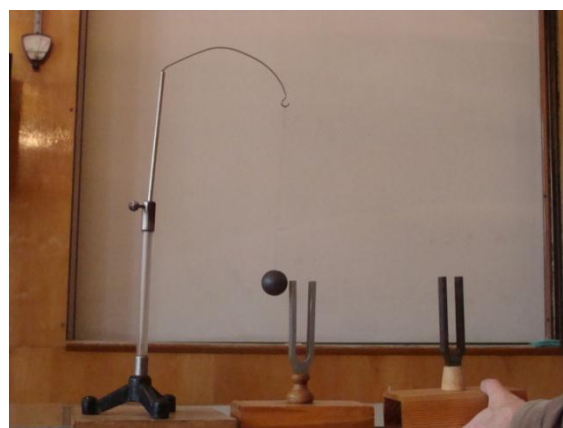
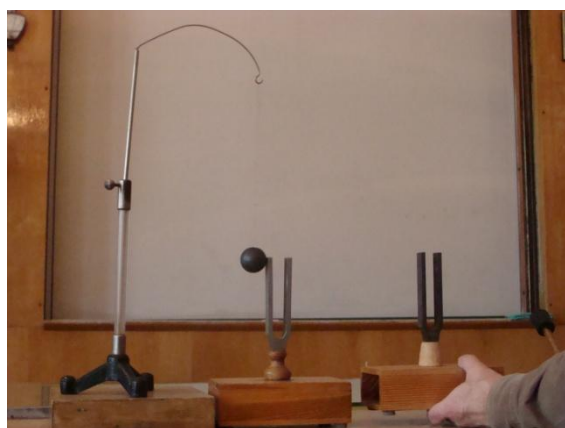
22.2. Dwa kamertony i piłeczka pingpongowa

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:

Piłeczkę pingpongową zawieś na nitce, używając w tym celu niewielkiej ilości plasteliny, przymocuj nitkę do statywu i ustaw go tak, aby piłeczka lekko dotykała kamertonu (patrz zdjęcie po lewej stronie). Drugi kamerton wpraw w drgania używając młoteczka. Piłeczka 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.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



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 drganie, 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.

24. 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



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



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, mikrofały, światłone (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, wprawiając 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 istotą ruchu falowego stanowi przenoszenie się tych drgań na coraz dalsze warstwy ośrodka.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



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 przesuwiają 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).

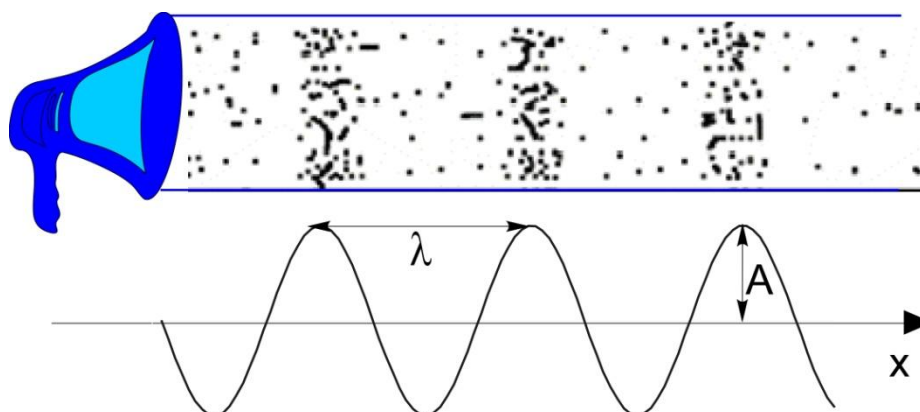
Fala podłużna

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 harmoniczych (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:

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



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



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

25. Rozprzestrzenianie się fali poprzecznej wzdłuż sznura

Materiały:

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

Wykonanie:

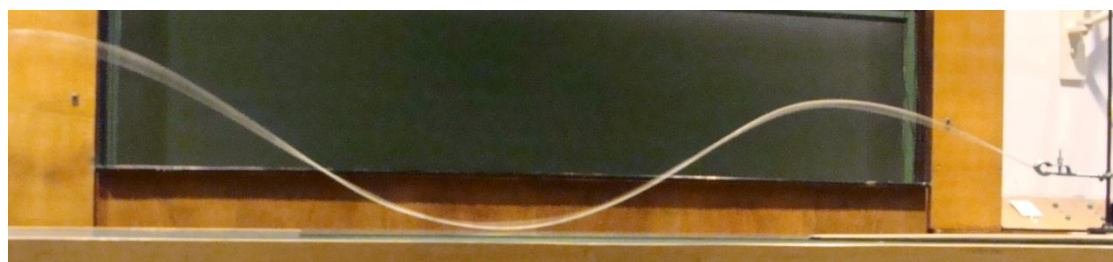
Do wykonania tego ćwiczenia są potrzebne 2 osoby.



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 wężu rozchodzi się fala.



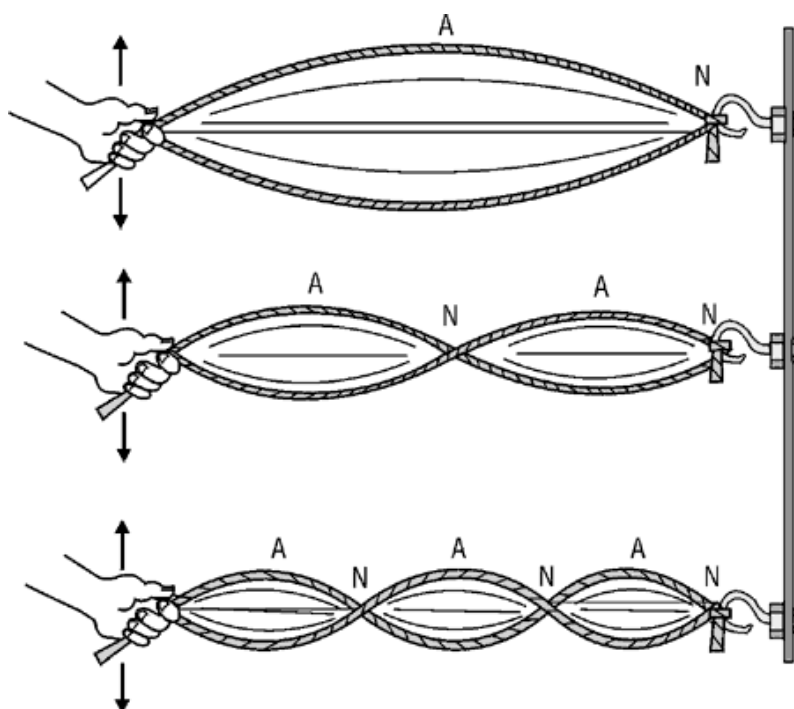
Należy zwrócić uwagę, że:

- 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.

26. Poprzeczna fala stojąca

Materiały:

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



Wykonanie:

Do wykonania tego ćwiczenia są potrzebne dwie osoby, można też przywiązać jeden z końców sznura nieruchomo do jakiegoś uchwyty (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?



27. Uczniowska falownica

Materialy:

Kilku–kilkunastu uczniów.

Wykonanie:

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

A. Uczniowie ustawiają się w rzędzie, jeden obok drugiego, biorąc się pod rękę. 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?

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.

28. Impulsy i fala – sprężyna Slinky

Materialy:

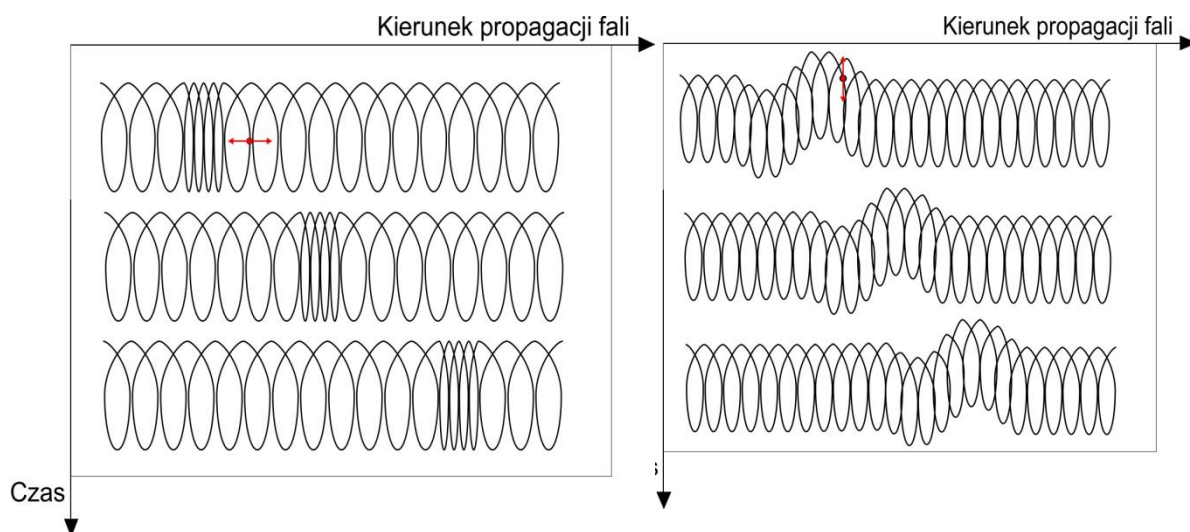
Dwie sprężyny „Slinky”, linijka, miarka.





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 potrajając długość jednej ze sprężyn.

Co można powiedzieć o prędkości impulsów w każdym z przypadków?



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Wnioski:

Podważając i potrając długość sprężyny można zaobserwować, że jeden impuls 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.

29. Rozchodzenie się dźwięku

Materiały:

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.



30. Fale na wodzie

Materialy:

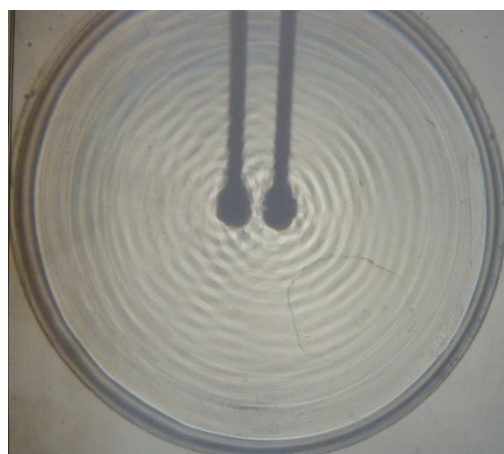
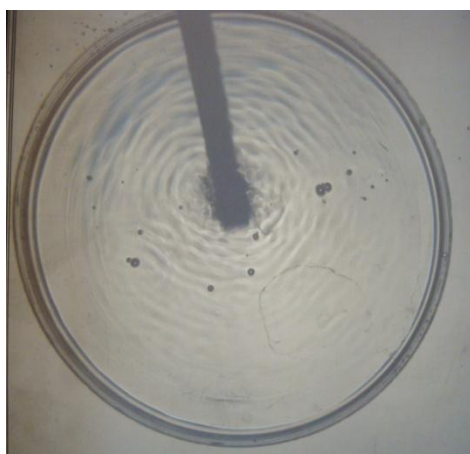
Kamertony lub masywny widelec, młoteczek lub drewniana pałka, płaska przezroczysta zlewka, rzutnik pisma.

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.

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).





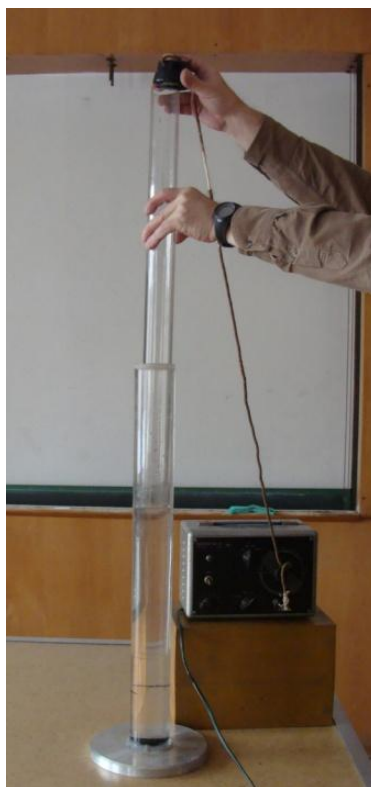
31. Dźwiękowa fala stojąca

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).

32. Model mikrofonu

Ciekawostka dla zainteresowanych sposobami przesyłania i wzmacniania fali dźwiękowej.

32.1. 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.

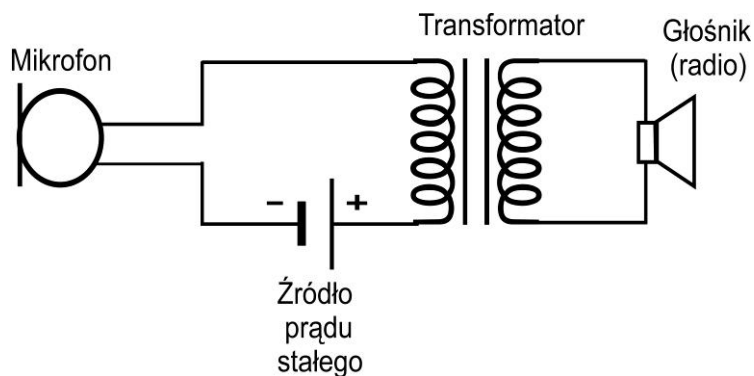
Wykonanie:

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:



Widok połączonych układów jest przedstawiony na zdjęciu poniżej. Włącz radio do sieci i zacznij mówić w kierunku słownika. Twój wzmacniony głos powinien być słyszany z radiowego głośnika.



32.2. Mikrofon grafitowy

Materiały:

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



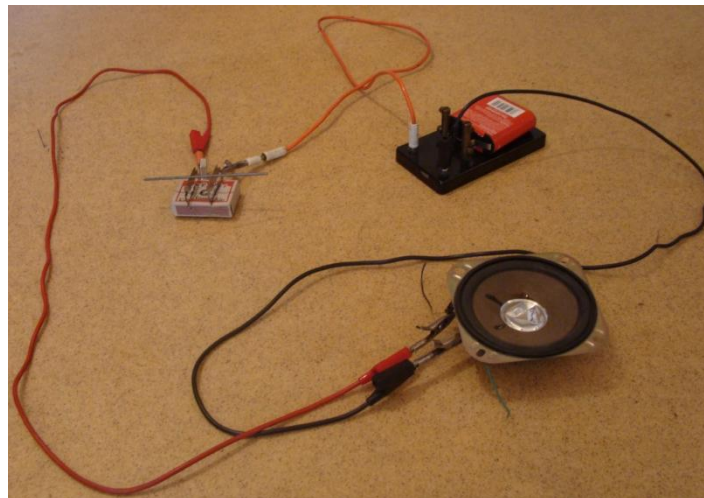
Wykonanie:

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 połóż na nich grafit (patrz zdjęcie).



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

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.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



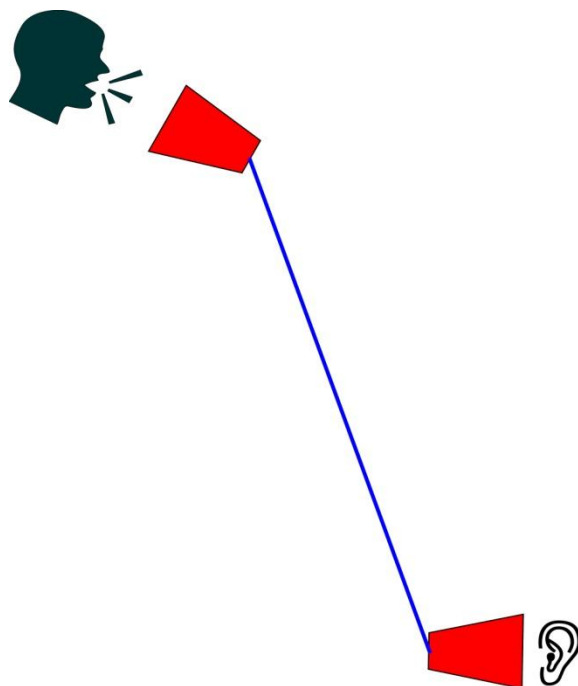
33. Model telefonu.

Materialy:

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 przykłada swoją puszkę do ucha).



Wnioski:

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