Świat pod lupą

Jakie zasady miał Newton? Czy maszyna prosta może unosić się na fali harmonicznej? Jak powstaje cień? Zajrzyj do e-podręcznika.

- Dynamika
    - Trzecia zasada dynamiki Newtona – wzajemne oddziaływanie ciał
    - Wpływ oporów ruchu na poruszające się ciała
    - Pierwsza zasada dynamiki Newtona. Bezwładność ciał
    - Druga zasada dynamiki Newtona
    - Podsumowanie wiadomości z dynamiki
    - Sprawdzian wiadomości z dynamiki
- Energia
    - Praca jako wielkość fizyczna
    - Moc jako szybkość wykonywania pracy
    - Maszyny proste. Wyznaczanie masy ciała przy użyciu dźwigni dwustronnej
    - Energia mechaniczna i jej rodzaje
    - Energia kinetyczna. Rozwiązywanie zadań
    - Energia potencjalna grawitacji i sprężystości
    - Zasada zachowania energii mechanicznej i jej zastosowanie
    - Temperatura i jej związek z energią kinetyczną cząsteczek
    - Energia wewnętrzna. Ciepło. Zmiany energii wewnętrznej spowodowane wykonywaniem pracy i przepływem ciepła
    - Przekazywanie ciepła w zjawisku przewodnictwa. Rola izolacji cieplnej
    - Przekazywanie energii w zjawisku konwekcji
    - Jak obliczamy ciepło potrzebne do zmiany temperatury, stopienia lub wyparowania ciała?
    - Wyznaczanie ciepła właściwego wody przy użyciu grzałki o znanej mocy
    - Energia wewnętrzna i zmiany stanów skupienia
    - Podsumowanie wiadomości o pracy, mocy i energii
    - Sprawdzian wiadomości i umiejętności z działów o pracy, mocy i energii
- Ruch drgający i fale
    - Ruch drgający prosty i wielkości go opisujące. Przykłady ruchu drgającego.
    - Przemiany energii podczas drgań wahadła matematycznego i ciężarka na sprężynie

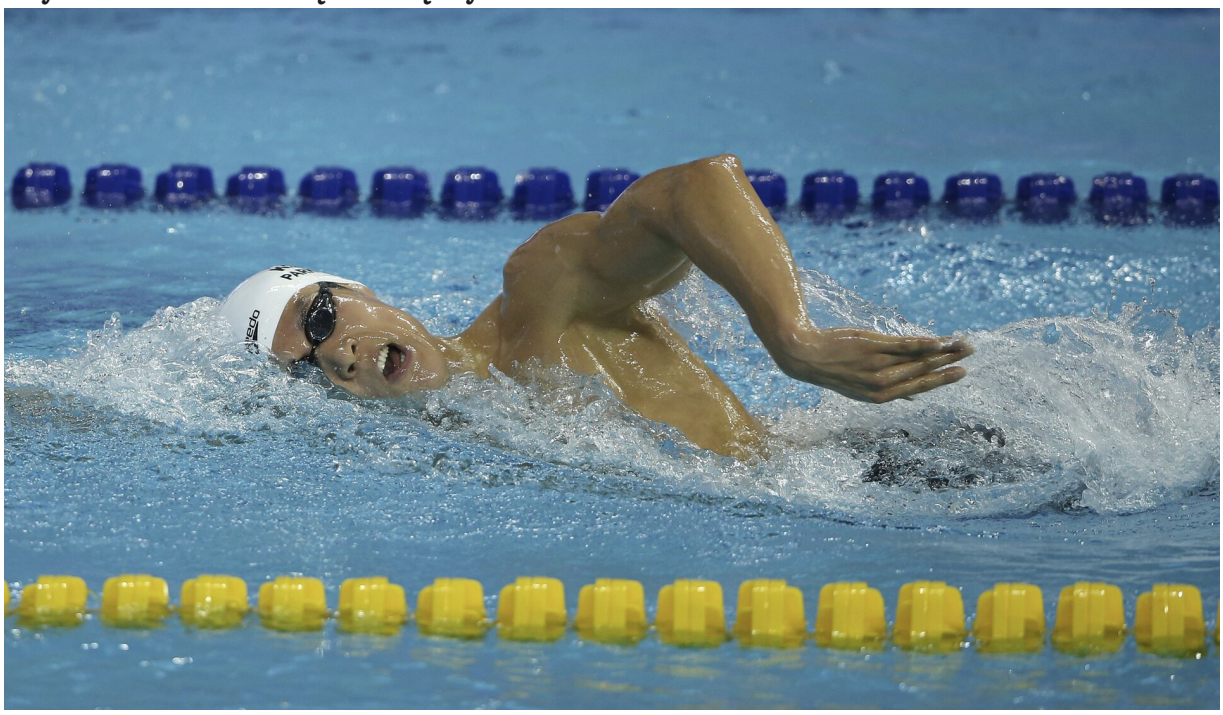
    - Wyznaczanie okresu i częstotliwości drgań wahadła matematycznego i ciężarka na sprężynie
    - Powstawanie fal w ośrodkach materialnych. Fale harmoniczne i wielkości je opisujące: amplituda, okres, częstotliwość, prędkość i długość fali
    - Fale dźwiękowe jako przykład fal harmonicznych. Cechy dźwięków: wysokość i głośność
    - Fale stojące. Mechanizm wytwarzania dźwięku w instrumentach muzycznych
    - Ultradźwięki i infradźwięki
    - Stosowanie zależności między okresem i częstotliwością oraz prędkością i długością fal w obliczeniach
    - Podsumowanie wiadomości o ruchu drgającym i falach
    - Sprawdzian wiadomości o ruchu drgającym i falowym
- Optyka
    - Źródła światła i jego prędkość. Zjawisko powstawania cienia i półcienia
    - Prawo odbicia światła. Powstawanie obrazu pozornego w zwierciadle płaskim. Rozproszenie światła
    - Ognisko i ogniskowa zwierciadła wklęsłego. Konstrukcja obrazów wytworzonych przez zwierciadła wklęsłe
    - Zjawisko załamania światła. Bieg promieni w soczewce skupiającej i rozpraszającej
    - Konstrukcja obrazów powstających przy użyciu soczewek
    - Wady wzroku – krótkowzroczność i dalekowzroczność oraz ich korekcja
    - Zjawisko rozszczepienia światła. Światło białe jako mieszanina barw
    - Podsumowanie wiadomości z optyki
    - Sprawdzian wiadomości z optyki

Bibliografia:

-

Trzecia zasada dynamiki Newtona – wzajemne oddziaływanie ciał

Dlaczego rakiety mogą się poruszać? Czy zasada ich lotu ma coś wspólnego z pływaniem i chodzeniem? Odpowiedź znajdziesz w reakcji na działanie siły. Siły zawsze występują bowiem parami, jako akcja i reakcja. Ta lekcja pozwoli ci nie tylko odpowiedzieć na postawione wyżej pytania, ale też zrozumieć podstawowe prawo rządzące wszystkimi oddziaływaniami – trzecią zasadę dynamiki Newtona.



Podczas pływania odpychamy rękami i nogami wodę do tyłu, ta zaś działa na nasze ciało z taką samą siłą, popychając je do przodu

Już potrafisz

- podać definicję siły jako miary oddziaływania;
- posługiwać się w obliczeniach jednostką siły – niutonem [N];
- wymienić rodzaje oddziaływań i przewidzieć skutki, jakie mogą one wywołać;
- stwierdzić, że oddziaływania są wzajemne.

Nauczysz się

- podawać treść trzeciej zasady dynamiki Newtona;
- podawać przykłady zastosowania tej zasady w życiu codziennym;
- opisywać zasadę działania silników: odrzutowego i rakietowego.

1. Wzajemność oddziaływań

W przyrodzie występuje wiele rodzajów oddziaływań, większość z nich poznałeś już w dotychczasowym toku nauki. Należą do nich między innymi oddziaływania grawitacyjne, magnetyczne, elektryczne i sprężyste. Za miarę oddziaływań przyjmujemy wartość siły. Oddziaływania są wzajemne, to znaczy, że jeśli wywołujemy pewną akcję przy użyciu działającej siły, musimy spodziewać się reakcji układu, na który działamy.

Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

Oddziaływanie dwóch magnesów

Na stole dwa identyczne magnesy.Lężą daleko od siebie (wystarczająco daleko by się nie ruszały). Demonstrator (widać tylko ręce) bierze po jednym magnesie do każdej ręki, ustawia je naprzeciw siebie w takiej odległości by siły były już wystarczające.Demonstartor puszcza jednocześnie oba magnesy. Te przesuwają się ku sobie i przywierają do siebie.

Wykonajmy doświadczenie.

Doświadczenie 1

Doświadczalne potwierdzenie wzajemności oddziaływań

Co będzie potrzebne

- dwie pary łyżworolek, wrotek lub dwie deskorolki;
- para kasków ochronnych na głowę;
- dwie pary ochraniaczy na łokcie i kolana;
- gładkie podłoże;
- dwoje uczniów o zbliżonej masie.

Instrukcja

Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

Wzajemność oddziaływań

Film na temat wzajemności oddziaływań. Dwaj młodzi mężczyźni stoją przodem do kamery, trzymając przed sobą deski. Gdy mowa o sznurze, jeden z nich demonstruje do kamery zwój linki o długości ok. 10 m. Jeden z mężczyzn kładzie deskorolkę na podłodze stawia na niej stopę i lekko, bez wysiłku przesuwa deskę w tę i z powrotem, a następnie się drugą nogą i odjeżdża bez widocznej straty prędkości. W kolejnej scenie mężczyźni stają obiema nogami na deskorolkach, naprzeciwko siebie, w odległości równej długości sznura (~10 m). Jeden z nich trzyma sznur w rękach, a drugi opasuje się sznurem i wiąże nią węzeł ratowniczy. Jeden z nich ciągnie równomiernie linę. Obie deskorolki jadą ku sobie i spotykają się na środku. Obaj mężczyźni wracają na swoje miejsca i tym razem drugi z nich ma linę w rękach, a pierwszy opasuje się liną i wiąże nią węzeł ratowniczy. Kolejny raz obaj wracają na swoje miejsca i na hasło „start” obaj zaczynają ciągnąć linę. Deskorolki podobnie jak poprzednio zbliżają się do siebie. W następnej scenie obaj mężczyźni stoją na deskorolkach blisko siebie, w rękach trzymają długi, prosty drąg. Jeden odpycha drugiego, przekładając dłonie na drągu. Obie

deskorolki odjeżdżają od siebie. Po chwili role odwracają się. Podobnie jak poprzednio, mężczyźni trzymają długi, prosty drąg, ale tym razem obaj odpychają się, przekładając dłonie na drągu. Obie deskorolki odjeżdżają od siebie.

---

1. Przeprowadź doświadczenie na płaskiej gładkiej powierzchni, np. na asfaltowym boisku szkolnym lub sali gimnastycznej, tak aby w pobliżu nie znajdowały się żadne przedmioty (ściany, kamienie), które mogą stanowić zagrożenie w razie upadku.

2. Wybierz spośród kolegów i koleżanek z klasy dwie osoby o zbliżonej masie.

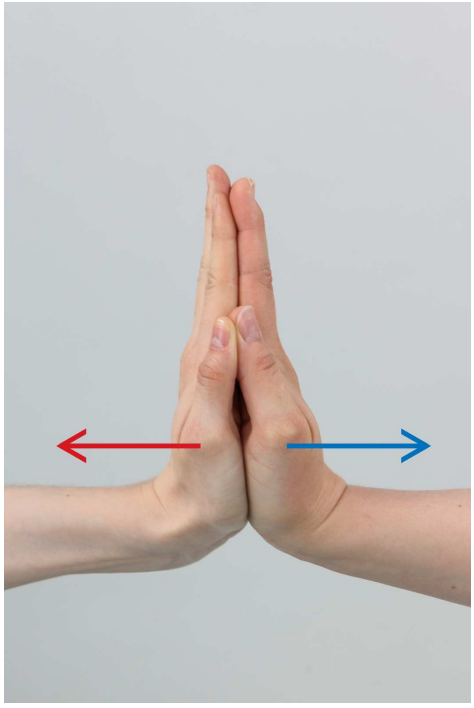
3. Poleć im, by przed przeprowadzeniem doświadczenia założyły ubiór ochronny (kaski i ochraniacze) oraz rolki (wrotki).

4. Wybrane osoby ustaw naprzeciw siebie w takiej odległości, aby mogły zetknąć ze sobą płasko dłonie.

5. Niech jedna z osób spróbuje się odepchnąć od drugiej.

Podsumowanie

Mimo że tylko jedna z osób w parze podziałała siłą na drugą, skutki tego oddziaływania odczuły obie osoby. Jeśli masy ich ciał były porównywalne, to porównywalna była również odległość, na jaką każda z nich się przesunęła. Przeprowadzone doświadczenie pozwala wyciągnąć wniosek, że jeśli jedno ciało działa na drugie pewną siłą (akcja), to drugie ciało oddziałuje na pierwsze siłą reakcji, która ma ten sam kierunek, lecz przeciwny zwrot. Siły akcji i reakcji nie równoważą się, ponieważ ich punkty przyłożenia są inne, a siły zostały przyłożone do dwóch różnych ciał.



Punkty przyłożenia sił akcji i reakcji są różne

Źródło: Dariusz Kajewski <Dariusz.Kajewski@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

W celu utrwalenia wiedzy o siłach wzajemnego oddziaływania (akcji i reakcji) obejrzyj poniższy film.

Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

Każda akcja (nacisk na ścianę) staje się przyczyną reakcji (nacisku ściany na dłoń). Siły te są **przyłożone do różnych ciał** (dłoni lub ściany) i **dlatego nie będą się równoważyły**

Animacja prezentująca poruszanie się układu Ziemia – Księżyc. Pojawiają się dwa wektory o tej samej długości, kierunku i przeciwnych zwrotach leżące na tej samej prostej. Jeden jest przyłożony do środka Księżyca a drugi do środka Ziemi. Następnie pojawia się człowiek pchający ścianę. Postać zapiera się stopami, ma wyprostowane w łokciach ręce, które opierają się o pionową ścianę. Ściana nagle znika a pchająca postać pada na podłogę.
W kolejnej scenie pojawia się wektor prostopadły do ściany umieszczony na wysokości dłoni. Na grafice z Ziemią i Księżycem pojawia się migająca strzałka wskaźnikowa. Strzałka wskazuję na punkt przyłożenia czerwonej siły w środku Ziemi. Dodatkowo pojawia się migająca strzałka wskaźnikowa. Strzałka wskazuję na punkt przyłożenia niebieskiej siły w środku Księżyca4c. Następnie ponownie pojawia się postać wraz ze ścianą oraz migającą strzałką wskaźnikową. Strzałka wskazuje na punkt przyłożenia niebieskiej siły w środku ściany, poczym pojawia się migająca strzałka wskaźnikowa wskazująca na punkt przyłożenia czerwonej siły w środku dłoni.

2. Trzecia zasada dynamiki Newtona

Jako pierwszy wzajemność oddziaływań opisał żyjący na przełomie XVII i XVIII wieku angielski uczony Izaak Newton, który wyniki swoich badań w tym zakresie sformułował w postaci trzeciej zasady dynamiki. W czasach mu współczesnych nie znano jeszcze wszystkich typów oddziaływań. Okazało się jednak, że trzecia zasada dynamiki ma charakter uniwersalny i dotyczy również tych ich rodzajów, które odkryto znacznie później (np. oddziaływań jądrowych).

Doświadczenie 2

Wykazanie, że wartości sił działania i przeciwdziałania są sobie równe

Co będzie potrzebne

- dwa wózki;
- dwa płaskie magnesy o niewielkich rozmiarach (głośnikowe);
- dwa siłomierze;
- plastelina;
- silna nić lub cienki sznurek.

Instrukcja

Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

Źródło: Tomorrow Sp. z o.o., licencja: CC BY 3.0.

Najazd kamery na stół z przyrządami: szyna, dwa wózki (na końcach mają haczyki), dwa magnesy trwałe (głośnikowe), dwa identyczne siłomierze (o skali i czułości dobranej do siły oddziaływania użytych magnesów), plastelina. Wózki mają na jednym końcu „łoża” pasujące do posiadanych magnesów (mogą być wykonane z modeliny utwardzonej, magnesy w łożach przykleimy później plasteliną). Przy stole stoi dwoje uczniów/demonstratorów: chłopak i dziewczyna. Demonstratorzy pokazuje, że jeden magnes przyciąga znacznie większą kupkę drobnych śrubek (spinaczy biurowych lub tp.) niż drugi. Każdy trzyma jeden magnes nad stosikiem śrubek. Jeden przyciąga znacznie więcej śrubek niż drugi. Uczniowie ustawiają wózki na szynach. Szyna jest pozioma. Puszczają wózki i trochę się oddalają. Najazd kamery na szynę; wózki nie poruszają się. Uczniowie mocują magnesy, każdy na „swoim” wózku. Kamera pokazuje. Uczniowie puszczają wózki będące w niezbyt wielkiej odległości od siebie (trzeba dobrać doświadczalnie). Widać, że wózki ruszają i zaczynają się przybliżać. Uczniowie nie pozwalają na zderzenie tylko łapią wózki. Uczniowie przymocowują siłomierze do wózków.

Mogą bezpośrednio zaczepić o haczyki albo użyć nitki. Uczniowie zbliżają wózki do siebie (nie muszą popychać bo przecież się przyciągają). Uczniowie zatrzymują wózki w jakiejś odległości od siebie (takiej by siły były wystarczająco wysokie i wyraźnie wskazywane przez siłomierze). Każdy z uczniów (po kolei) odczytuje głośno wskazania swojego siłomierza, np. 0,25 N. Przy odczytach najazd kamery na skalę siłomierza. Uczniowie przybliżają wózki. Każdy z uczniów (po kolei) odczytuje głośno wskazania swojego siłomierza, np. 0,5 N. Przy odczytach najazd kamery na skalę siłomierza. Każdy z uczniów (po kolei) odczytuje głośno wskazania swojego siłomierza, np. 1 N. Przy odczytach najazd kamery na skalę siłomierza.

---

1. Przeprowadź doświadczenie na płaskiej powierzchni, np. na ławce o gładkim blacie lub szynach o odpowiednio dobranym rozstawie.

2. Za pomocą plasteliny zamocuj magnesy na przodzie wózków.

3. Wózki zwrócone do siebie przodem (magnesami) powinny się do siebie przyciągać.

4. Do tylnej części każdego z nich przymocuj nić.

5. Do końców obu nici przymocuj siłomierze.

6. Przy pomocy kolegi lub koleżanki nie pozwól zbliżyć się do siebie wózkom, ciągnąc za końce siłomierzy. Staraj się, aby siłomierze były (o ile to możliwe) ustawione równolegle do powierzchni blatu.

7. Zatrzymaj wózki w niewielkiej odległości od siebie.

8. Odczytaj wartość siły, którą wskazały siłomierze.

9. Doświadczenie powtórz kilkakrotnie.

Podsumowanie

Oba siłomierze w naszym doświadczeniu wskazały te same wartości sił. Wózki przyciągały się wzajemnie siłami o tej samej wartości, kierunku, ale o przeciwnych zwrotach. Były to siły

działania i przeciwdziałania pochodzące od magnesów (siły magnetyczne). Siły przyłożone były do dwóch różnych magnesów, a więc nie mogły się równoważyć.

Źródło: Dariusz Kajewski <Dariusz.Kajewski@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Reguła: Trzecia zasada dynamiki Newtona

Gdy ciało A działa na ciało B pewną siłą $\overrightarrow{F}_{\mathrm{AB}}$, to ciało B oddziałuje na ciało A siłą $\overrightarrow{F}_{\mathrm{BA}}$ o tej samej wartości, tym samym kierunku, lecz przeciwnych zwrotach. Siły te nie mogą się równoważyć, ponieważ przyłożone są do dwóch różnych ciał.

$$\overrightarrow{F}_{\mathrm{AB}} = -\overrightarrow{F}_{\mathrm{BA}}$$

Trzecia zasada dynamiki nazywana jest często zasadą **równej akcji i reakcji**.

Zapamiętaj!

Każdej akcji towarzyszy reakcja równa co do wartości i kierunku, lecz przeciwnie zwrócona. Należy jednak pamiętać, że siły te nie równoważą się.

Ćwiczenie 1

Źródło: Dariusz Kajewski <Dariusz.Kajewski@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

3. Przykłady zastosowania trzeciej zasady dynamiki

Wpływ trzeciej zasady dynamiki Newtona na nasze życie codzienne odczuwamy prawie przy każdej czynności, którą wykonujemy. Przy wbijaniu gwoździ młotek odskakuje, skok z dużej wysokości może spowodować uszkodzenie stopy. Przykładów można by podać znacznie więcej. Gdyby nie zjawiska opisywane trzecią zasadą dynamiki Newtona, nie bylibyśmy w stanie chodzić, spacerować czy biegać!

Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

Siły działające na nasze buty podczas spaceru

Animacja przedstawiająca człowieka idącego po poziomym podłożu. 2a. zbliżenie na stopę (i but) nogi znajdującej się aktualnie z tyłu. Po zbliżeniu na stopę, która znajduje się aktualnie z tyłu animaacja się zatrzymuje i powstaje statyczna grafika lub zdjęcie, która będzie uzupełniana kolejnymi elementami. Pojawia się wektor przyłożony do podłogi w miejscu, w którym styka się z nią but. Kierunek poziomy, zwrot w przeciwną stronę niż idzie człowiek. Na grafice pojawia się wektor przyłożony do podeszwy buta, w miejscu, w którym styka się z podłogą, Kierunek poziomy, zwrot w stronę w którą idzie człowiek. Podeszwa buta, szczególnie ta część stykająca się z podłożem zaznaczona jest grubszą

kreską. Migająca strzałka wskaźnikowa pokazuje linii styku podeszwy z podłożem. Następnie przedstawiony jest filmik prezentujący demonstratora usiłującego zrobić krok do przodu na tafli lodowiska. Nie przesuwa się do przodu, a po chwili pada na taflę.

Nie moglibyśmy także pływać!

Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

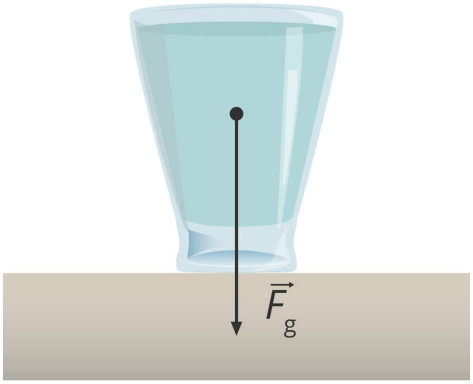
Pływak, aby mógł się poruszać, wykorzystuje siłę reakcji wody

Film przedstawiający pływaka w basenie. Energicznymi poruszeniami rąk i nóg, pływak odpycha wodę do tyłu za siebie, ale jednocześnie woda działa siłą reakcji i popycha pływaka do przodu. Pływak przepływa całą długość basenu różnymi stylami.

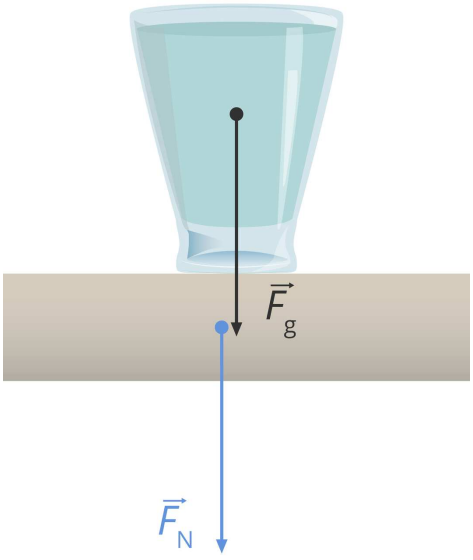
Gdy pływający porusza rękami, odpycha od siebie wodę, ale jednocześnie woda popycha go do przodu, wprawiając jego ciało w ruch.

Siły akcji i reakcji w przypadku szklanki stojącej na płaskiej powierzchni

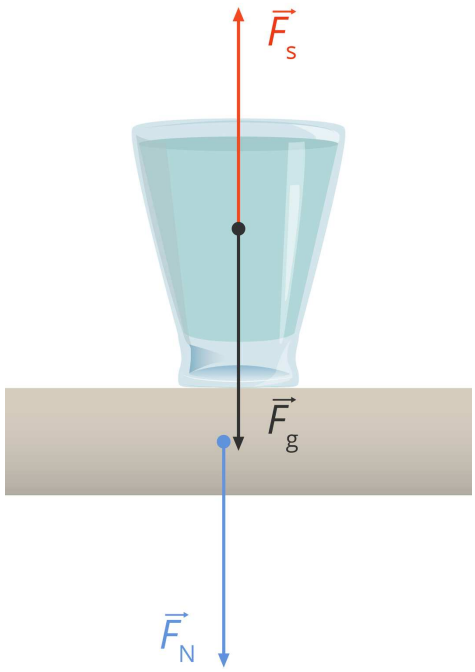
Źródło: Tomorrow Sp. z o.o., licencja: CC BY 3.0.



Źródło: Tomorrow Sp. z o.o., licencja: CC BY 3.0.



Źródło: Tomorrow Sp. z o.o., licencja: CC BY 3.0.

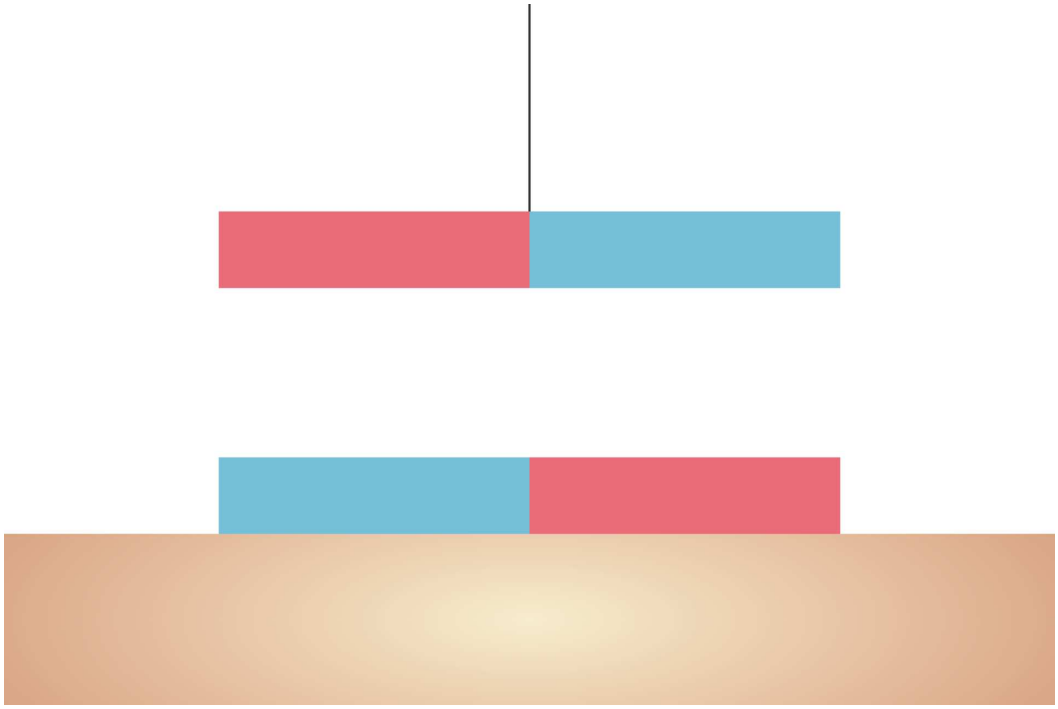


Źródło: Tomorrow Sp. z o.o., licencja: CC BY 3.0.

Na szklankę stojącą na stole działa siła ciężkości, która jest źródłem siły nacisku wywieranej przez dno szklanki na powierzchnię blatu stołu. Siła nacisku zawsze jest prostopadła do powierzchni, na którą naciska ciało. Zgodnie z trzecią zasadą dynamiki stół odpowiada reakcją na nacisk szklanki, siłą o tym samym kierunku i wartości co siła nacisku, lecz przeciwnym zwrocie. Siła ta ma związek ze sprężystością blatu i – jak widzisz – jest przyłożona do szklanki. Siły F_g i F_s równoważą się, ponieważ mają ten sam kierunek, te same wartości, przeciwne zwroty i są przyłożone do tego samego ciała. Ciało pozostaje w spoczynku – szklanka spoczywa na blacie stołu.

Polecenie 1

Dwa identyczne magnesy o masie m = 0,35 kg, jeden leżący na stole, drugi zawieszony na nitce, umieszczono jeden nad drugim. Ile wynosi wartość siły, jaką rozciągana jest nić, na której zawieszony został jeden z magnesów, jeśli ich wzajemne oddziaływanie wynosi 4 N? Oblicz, ile wynosi siła nacisku, jaką wywiera na blat stołu drugi z magnesów?



Źródło: Tomorrow Sp. z o.o., licencja: CC BY 3.0.

4. Silniki odrzutowe i rakietowe

Na podstawie trzeciej zasady dynamiki działają silniki odrzutowe, które znalazły powszechne zastosowanie w współczesnym lotnictwie, a ich odmiana – silniki rakietowe – w kosmonautyce. Silniki tego typu wykorzystują zjawisko odrzutu substancji roboczej, będącej produktem spalania paliwa. Siła reakcji (siła ciągu) powstała podczas opuszczania przez substancję roboczą dyszy silnika. Napędza ona samolot lub rakietę.

Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

Jak działają silnik odrzutowy i rakietowy?

Film przedstawiający start i chwilę lotu rakiety, to przechodzi w scenę startu i lotu samolotu z napędem turboodrzutowym. Pojawia się animacja a w miarę monologu lektora pojawiają się objaśnienia w dymkach. Rysunek nie jest statyczny, gdy lektor mówi o pompach paliwa i tlenu to włącza się animacja paliwo i tlen są pompowane do komory

spalania (widać jak przepływają), gdy mówi o komorze spalania to widać zapłon pompowanego paliwa i płomienie, gdy mówi o dyszy wylotowej, to widać ruchomy obłok spalin za dyszą. Pojawiają się kolejne dymki (pompy) z objaśnieniami i zaczyna się animacja (pompowanie). Kolejne dymki (komora spalania) kolejne etapy animacji zapłon i palenie się w komorze spalania. Kolejne dymki (dysza) i kolejne etapy animacji: gazy spalinowe uchodzą przez dyszę. Widać gazy wylatujące i formujący się obok gazu. W miarę monologu lektora pojawiają się objaśnienia w dymkach. Rysunek nie jest statyczny: powietrze jest zasysane z przodu, w komorze spalania zachodzi spalanie, sprężarka i turbina kręcą się a gazy spalinowe uchodzą dyszą wylotową. Po pojawieniu się wszystkich dymków animacja pracuje a lektor wygłasza dalszą część monologu, pojawia się wektor siły.

Podwaliny pod rozwój współczesnej kosmonautyki położył rosyjski uczony polskiego pochodzenia Konstanty Ciołkowski, który opracował teoretyczne podstawy działania silnika rakietowego.

> **Polecenie 2**
>
> Podaj trzy inne przykłady zastosowania/wykorzystania trzeciej zasady dynamiki Newtona.

Podsumowanie

- W przyrodzie występuje wiele rodzajów oddziaływań, ale wszystkie można opisać za pomocą sił. Wielkość siły jest miarą oddziaływania. Oddziaływania są wzajemne, to znaczy jeśli wywołujemy pewną akcję za pomocą działającej siły, musimy się spodziewać reakcji ciała, na które działamy.
- Fakt, że oddziaływania są wzajemne, dostrzegł żyjący na przełomie XVII i XVIII wieku angielski uczony Izaak Newton. Wyniki swoich badań w tym zakresie sformułował w postaci trzeciej zasady dynamiki.
- Trzecia zasada dynamiki Newtona głosi, że gdy ciało A działa na ciało B pewną siłą, to ciało B oddziałuje na ciało A siłą o tej samej wartości, tym samym kierunku, lecz przeciwnym zwrocie. Siły te nie mogą się równoważyć, ponieważ przyłożone są do dwóch różnych ciał.
  $\vec{F}_{\mathrm{AB}} = -\vec{F}_{\mathrm{BA}}$
- Trzecią zasadę dynamiki Newtona nazywamy też zasadą akcji i reakcji. Każdej akcji towarzyszy reakcja równa co do wartości i kierunku, lecz o przeciwnym zwrocie. Należy jednak pamiętać, że siły się nie równoważą.

- Trzecia zasada dynamiki towarzyszy nam na co dzień podczas chodzenia, pływania, wbijania gwoździa w ścianę i wielu innych czynności. Dzięki niej latają samoloty odrzutowe i możliwe są podróże kosmiczne w najbliższym otoczeniu Ziemi.

Praca domowa

Polecenie 3.1

Artysta cyrkowy wspina się po linie, po stole toczy się kulka.
Wykonaj rysunek przedstawiający siły działające w układzie lina – artysta oraz kulka – stół. Nazwij te siły i zapisz wniosek dotyczący ich wartości, kierunku i zwrotu oraz punkty przyłożenia. Napisz wyjaśnienie, dlaczego te siły się nie równoważą.

Polecenie 3.2

Dwa magnesy, z których jeden jest większy od drugiego, przyciągają się wzajemnie. Narysuj siły, jakimi każdy z magnesów działa na drugi. Uwzględnij podczas rysowania relację między wartościami wektorów sił.

Zadania podsumowujące lekcję

Ćwiczenie 2

Które informacje są prawdziwe, a które fałszywe?

	Prawda	Fałsz
Gdy uderzysz pięścią w ścianę, działając pewną siłą, to ściana będzie działała w tym samym czasie na pięść siłą o takiej samej wartości.	◯	◯
Uderzona przez ciebie ściana się nie poruszy, ponieważ siła jej reakcji równoważy siłę działania (akcji).	◯	◯
Pływak może poruszać się dzięki temu, że popycha wodę, a woda popycha pływaka.	◯	◯

Źródło: Dariusz Kajewski <Dariusz.Kajewski@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

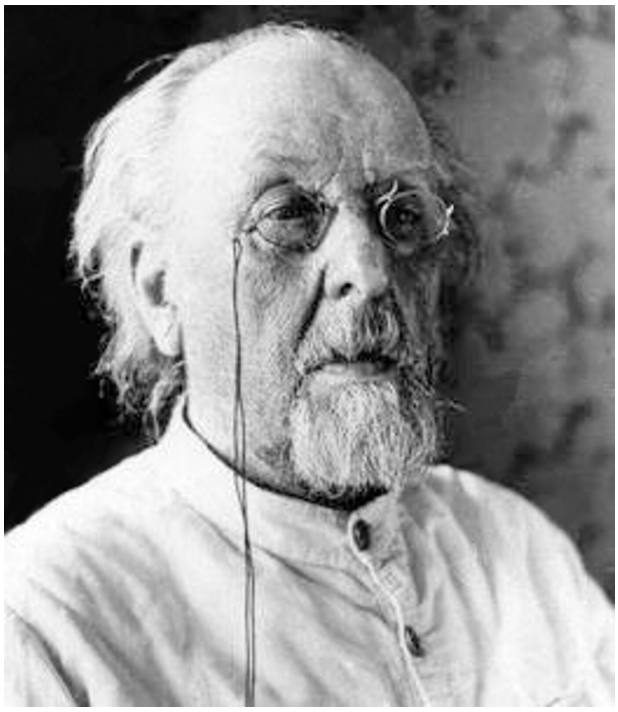
Ćwiczenie 3

Dwa identyczne baloniki są jednakowo naelektryzowane. Co się stanie, gdy powiesimy je obok siebie na sznurkach o tej samej długości?
Wybierz prawidłowe zakończenie zdania:
Dwa baloniki będą się wzajemnie odpychały, tak że

- ◯ odchyli się tylko jeden z baloników.
- ◯ odchylą się o taki sam kąt od pionu na zewnątrz.
- ◯ odchylą się na zewnątrz, ale kąty odchylenia od pionu będą różne.

Źródło: Dariusz Kajewski <Dariusz.Kajewski@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Biogram



Rosyjski uczony polskiego pochodzenia, jeden z pionierów astronautyki, twórca modelu teorii ruchu i budowy rakiety kosmicznej

Konstanty Ciołkowski

17.09.1857–19.09.1935

Pomysły techniczne sformułowane przez Ciołkowskiego stanowią podstawę działania wszystkich – historycznych i współczesnych – silników rakietowych, rakiet i statków kosmicznych. Ciołkowski opracował model sterowca, zbudował pierwszy w Rosji tunel

aerodynamiczny i podał teoretyczne podstawy funkcjonowania silnika rakietowego na paliwo ciekłe.

Wpływ oporów ruchu na poruszające się ciała

Na poruszające się lub wprawiane w ruch ciała działają siły oporu. Siły oporu ruchu utrudniają nam wykonywanie wielu czynności, np. przesuwanie ciężkich przedmiotów i jazdę na rowerze. Potrafią znacznie nadszarpnąć domowy budżet, podnosząc koszt spalania paliwa samochodowego. Czy istnieją pozytywne skutki ich działania? Czy to prawda, że bez nich nasze dotychczasowe życie nie byłoby takie jak dotychczas?

Źródło: DLR German Aerospace Center (https://www.flickr.com), licencja: CC BY 2.0.

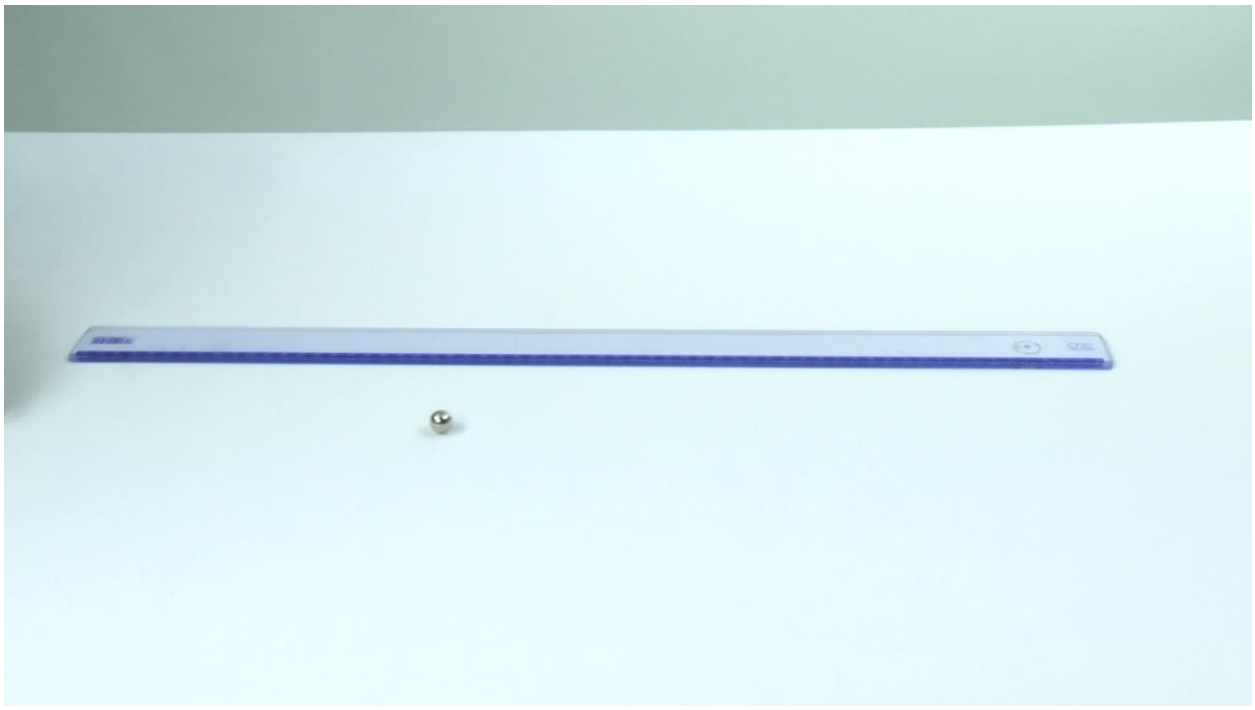
Już potrafisz

- podać definicję ruchu ciała;
- posługiwać się wielkościami opisującymi ruch ciała;
- rozpoznawać rodzaje oddziaływań;
- podać definicję siły jako wielkości fizycznej;
- stwierdzić, że ruchowi ciała towarzyszą siły oporu.

Nauczysz się

- wymieniać przyczyny występowania sił oporu ruchu;
- opisywać tarcie jako zjawisko fizyczne;
- podawać różnicę między tarciem statycznym a tarciem kinetycznym;
- obliczać siłę tarcia;
- opisywać pożyteczne i negatywne skutki działania sił tarcia.

1. Dlaczego poruszające się ciała zatrzymują się?



Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

Tocząca się kula

Tocząca się kula, która zatrzymuje się po chwili na skutek oporów ruchu

---

Dlaczego poruszające się ciała po pewnym czasie zatrzymują się, tak jak kula na filmie? Dlaczego skoczek potrzebuje spadochronu, by powoli opaść na ziemię?

Spadochroniarz

Wszystkie poruszające się w naszym otoczeniu ciała napotykają siły, które przeciwdziałają ich ruchowi. Mogą być one na przykład wynikiem oporu, który stawia poruszającemu się ciału ośrodek, lub tarcia między powierzchnią podłoża i ciała znajdującego się w ruchu. Określamy je jedną wspólną nazwą – **sił oporu ruchu**.
W celu sprawdzenia, od czego zależą, przeprowadźmy prosty eksperyment.

Doświadczenie 1

Określenie czynników, których zmiana wpływa na wielkość sił oporu ruchu

Co będzie potrzebne

- deska do krojenia chleba;
- głęboka miska z wodą.

Instrukcja

1. Nalej do miski wodę.
2. Ustaw deskę prostopadle do powierzchni wody, a następnie ją zanurz.
3. Zacznij nią powoli poruszać w kierunku prostopadłym do jej powierzchni.
4. Poruszaj deską coraz szybciej.
5. Ustaw deskę równolegle do powierzchni wody, następnie ją zanurz.
6. Zacznij poruszać deską równolegle do powierzchni wody.
7. Wykonaj podobne doświadczenie w powietrzu.

Podsumowanie

Gdy poruszasz zanurzoną deską coraz szybciej, opór wody staje się coraz większy. Gdy poruszasz deską prostopadle do jej powierzchni, czujesz większe opory ruchu, niż gdybyś ustawił deskę równolegle. W powietrzu doświadczenie ma podobny przebieg – jedynie

stawiany przez nie opór jest mniejszy. Opory ruchu zależą od prędkości poruszającego się ciała i jego kształtu. Opory ruchu są mniejsze w powietrzu niż w wodzie.

Źródło: Dariusz Kajewski <Dariusz.Kajewski@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Zapamiętaj!

Opory ruchu:

- zwiększają się wraz ze wzrostem wartości prędkości ciała względem ośrodka;
- zależą od kształtu ciała;
- są większe w cieczach niż w gazach.

Ciekawostka

Dlaczego np. ryby i ptaki mają opływowe kształty?

Opływowy kształt ciała ryby zmniejsza opory ruchu w środowisku wodnym

Kształt ciała ptaka pozwala na łatwiejsze pokonywanie oporu powietrza w czasie lotu

Polecenie 1

Podaj przykład wykorzystania przez człowieka oporów ruchu.

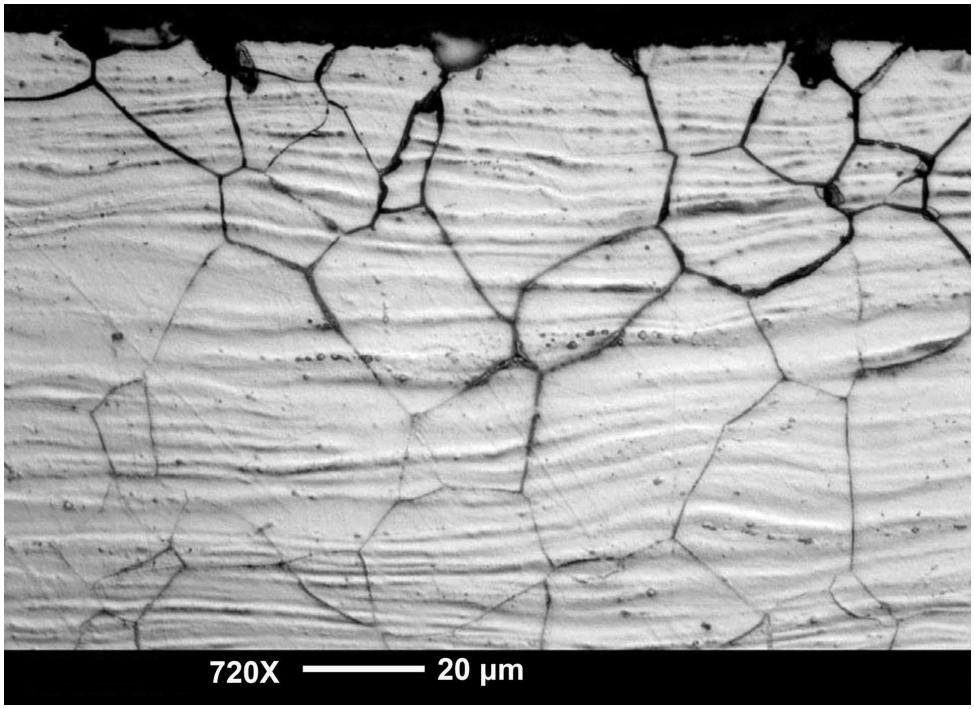
2. Opory ruchu na powierzchni styku dwóch ciał – tarcie

Jeśli chcemy przesunąć szafę czy skrzynię, musimy działać na nie pewną siłą. Zauważamy jednak, że mimo działającej siły szafa się nie porusza. Zwiększamy siłę działającą na szafę – szafa ani drgnie. Opór, który pojawia się podczas próby ruszenia szafy z miejsca, nazywamy tarciem statycznym. Na szczęście przy wzroście siły zewnętrznej siła tarcia statycznego osiąga swoją maksymalną wartość i przy dalszym wzroście siły zewnętrznej szafę można ruszyć z miejsca.

Kiedy szafa przesuwa się, tarcie również występuje. Ma ono jednak mniejszą wartość niż maksymalna siła tarcia statycznego. Tarcie występujące podczas przesuwania szafy nazywamy tarciem kinetycznym.

2.1 Tarcie statyczne

Każda powierzchnia, nawet taka, która na pierwszy rzut oka wydaje się idealnie gładka, ma wiele nierówności.

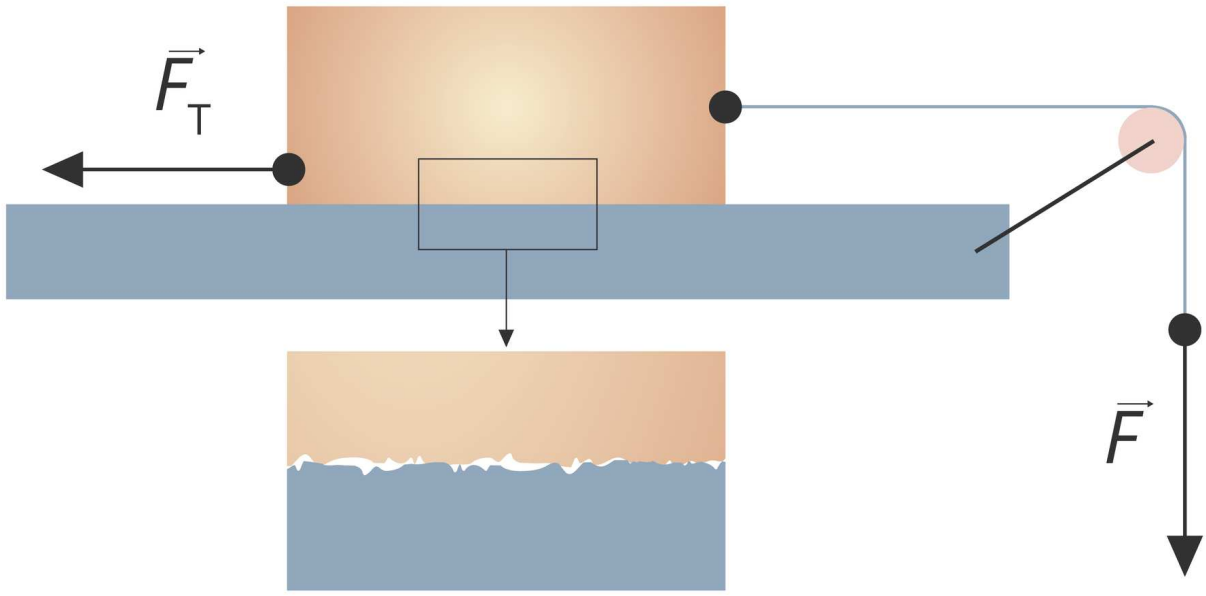


Powierzchnia na pozór idealnie gładkiego materiału pod dużym powiększeniem (720 razy)

Powodem powstawania tarcia statycznego są nierówności stykających się powierzchni oraz siły przylegania między ich atomami. Chcąc przesunąć jedną powierzchnię równolegle względem drugiej, musimy pokonać nieregularności tych powierzchni i oderwać przylegające do siebie atomy.

Oddziaływania są wzajemne, więc szafa działa na nierówności podłogi, a podłoga – na nierówności nóżek szafy. Im większą siłą działamy, pchając szafę, tym większa jest siła tarcia. W końcu, w miarę dalszego zwiększania siły działającej na ciało, opór stawiany przez nierówności podłogi i nóżek szafy zostaje pokonany i szafa zaczyna się przesuwać.
Siłę tarcia oznaczamy najczęściej symbolem F_T $l$ub T i wyrażamy w jednostkach siły – niutonach [N].

> **Zapamiętaj!**
>
> Siła tarcia statycznego pojawia się wraz z pojawieniem się siły próbującej wprawić ciało w ruch względem podłoża.



Siła tarcia zależy od nierówności na styku powierzchni dwóch ciał

Pomimo że przykładamy nawet sporą siłę do niektórych przedmiotów, nie możemy ich poruszyć. Siła tarcia statycznego między przedmiotem a powierzchnią podłoża ma przeciwny zwrot do siły starającej się przesunąć ciało i czasami jest zbyt wielka, aby ją pokonać. Wraz ze wzrostem siły działania zwiększa się również siła tarcia statycznego aż do momentu, kiedy ciało zacznie się w końcu poruszać. Wtedy tarcie statyczne przyjmuje maksymalną wartość.

2.2 Tarcie kinetyczne

Przesuwające się powierzchnie ciał stawiają opory ruchu, które nazywamy tarciem kinetycznym.

> **Zapamiętaj!**
>
> Siła tarcia kinetycznego działa między powierzchnią poruszającego się ciała a powierzchnią podłoża. Ma ona kierunek zgodny z kierunkiem przemieszczania się ciała, a jej zwrot jest przeciwny do zwrotu wektora prędkości tego ciała.
> **Polecenie 2**
>
> Czy istnieją w przyrodzie dwie takie powierzchnie, między którymi nie będzie występowała siła tarcia? Jeśli tak, to podaj ich przykład. Odpowiedź uzasadnij.

2.3 Od czego zależy siła tarcia?

Przesunięcie ciała wymaga przyłożenia pewnej siły zewnętrznej, która musi zrównoważyć siłę tarcia powierzchni tego ciała o podłoże. Jak można obliczyć wartość takiej siły i od

czego ona zależy?

Doświadczenie 2

Ustalenie, od czego zależy siła tarcia?

Co będzie potrzebne

- drewniany prostopadłościan z haczykiem;
- obciążniki;
- siłomierz;
- różne powierzchnie (podłoża), po których będzie można przesuwać prostopadłościan (np. drewniany blat, papier ścierny, styropian).

Instrukcja

1. Ustaw prostopadłościan tak, aby ścianą o największej powierzchni dotykał wybranego podłoża.
2. Zaczep siłomierz o haczyk i ustaw go równolegle do powierzchni.
3. Zacznij ciągnąć klocek za pomocą siłomierza – rób to ze stałą prędkością.
4. Zapisz wartość siły odczytanej z siłomierza.
5. Obciąż klocek dodatkowym ciężarkiem.
6. Wykonaj ponownie doświadczenie i zapisz wyniki.
7. Wykonaj pomiar w przypadku kilku większych obciążeń (dokładaj kolejne ciężarki).
8. Zapisz wyniki.

9. Ustaw prostopadłościan tak, aby dotykał podłoża ścianą o najmniejszej powierzchni.
10. Powtórz cały cykl pomiarów.
11. Zmieniaj podłoża na kolejne i za każdym razem powtarzaj czynności od 1 do 10.

Podsumowanie

Siła tarcia kinetycznego nie zależy od pola powierzchni stykającej się z podłożem poruszającego się ciała, a jedynie od siły nacisku tego ciała na podłoże oraz od rodzaju stykających się powierzchni.

Źródło: Dariusz Kajewski <Dariusz.Kajewski@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Zapamiętaj!

Siła tarcia kinetycznego zależy od nacisku ciała na podłoże oraz od rodzaju materiałów, z jakich wykonane są stykające się powierzchnie.

2.4 Jak obliczyć siłę tarcia kinetycznego?

Pamiętajmy, że charakter praw rządzących tarciem jest czysto doświadczalny. Warunkiem ich występowania jest istnienie siły prostopadłej do powierzchni styku trących ciał. Zależą one głównie od siły nacisku i rodzaju powierzchni trących oraz zdecydowanie w mniejszym stopniu od prędkości poruszającego się ciała. Do obliczenia w pewnym przybliżeniu sił tarcia możemy posłużyć się następującym wzorem:
Siła tarcia

$$F_T = f \cdot F_N$$

We wzorze nie występują wektory, lecz tylko ich wartości!

$F_T[\mathrm{N}]$ – siła tarcia,
$F_N[\mathrm{N}]$ – siła nacisku,
f – współczynnik tarcia.

Współczynnik tarcia kinetycznego zależy od rodzaju trących o siebie powierzchni. Nie posiada on jednostki – możemy to zauważyć po przekształceniu wzoru na wartość siły tarcia.

$$f = \frac{F_T}{F_N}$$

Współczynnik tarcia jest więc wielkością niemianowaną – nieposiadającą jednostki fizycznej (miana).
Współczynniki tarcia między danymi powierzchniami możemy wyznaczyć doświadczalnie. Wystarczy zmierzyć wartość siły nacisku i wartość siły tarcia, korzystając z poprzedniego wzoru i opisanego powyżej doświadczenia nr 2.

W przypadku gdy próbujemy wprawić ciało w ruch, nie możemy posługiwać się wielkością fizyczną, jaką jest współczynnik tarcia kinetycznego. Jak można się domyślić, powinniśmy używać zbliżonej, opisującej spoczywające względem siebie ciała wielkości – współczynnika tarcia statycznego.

> **Zapamiętaj!**
>
> Współczynnik tarcia statycznego jest równy stosunkowi maksymalnej siły tarcia statycznego do siły nacisku.

W przedstawionej możemy znaleźć przykładowe wartości współczynnika tarcia występującego między powierzchniami wybranych materiałów.

Wartości współczynnika tarcia wybranych materiałów na danej powierzchni

Oddziałujące ze sobą powierzchnie	**Współczynnik tarcia statycznego**	**Współczynnik tarcia kinetycznego**
łyżwy po lodzie	0,027	0,014
narty po śniegu	0,1	0,04
drewno po drewnie	0,65	0,4
opona po mokrym betonie	0,7	0,5
opona po suchym betonie	1,0	0,7

> **Polecenie 3**
>
> Oblicz, ile wynosi wartość siły tarcia zablokowanych opon zatrzymującego się samochodu, jeśli wywiera on nacisk 15 000 N na powierzchnię drogi, a współczynnik tarcia kinetycznego gumy o beton wynosi 0,7?

> **Polecenie 4**
>
> Oblicz, ile wynosi wartość siły tarcia łyżew sportowca o masie 70 kg o lód, jeżeli współczynnik tarcia kinetycznego łyżwy o lód wynosi 0,014?

> **Ciekawostka**

Tarcie toczne pojawia się podczas toczenia się walca lub kuli po płaskiej powierzchni. Siła wprawiająca ciało w tego typu ruch jest znacznie mniejsza niż siła wymagana do jego przesunięcia. Dlatego w urządzeniach mechanicznych stosuje się tak wiele łożysk.

Ruch walca po płaskiej powierzchni jako przykład tarcia tocznego

2.5 Czy tarcie może być pożyteczne?

Tarcie odgrywa niezwykle istotną rolę w naszym życiu. Jest z jednej strony zjawiskiem niepożądanym, utrudniającym wykonywanie pracy, z drugiej zaś pozwala nam funkcjonować na co dzień – chodzić, pisać czy jeździć samochodem.
Gdyby nie tarcie między drogą a oponami, nasz samochód nie byłby w stanie ruszyć, jego koła kręciłyby się w miejscu. Gdyby jednak mu się to udało, nie bylibyśmy się w stanie zatrzymać – nie byłoby ani tarcia między szczękami hamulców a tarczą hamulcową, ani między oponami a drogą.

Koła się toczą dzięki sile tarcia, gdyby nie ona obracałyby sie nie przesuwając samochodu

Również zwykła czynność chodzenia byłaby trudna lub wręcz niemożliwa. Gdyby nie siła tarcia, nasze buty ślizgałyby się; przypominałoby to poruszanie się po lodzie.

Protektor podeszwy butów zwiększa siłę tarcia i chroni nas przed upadkiem na śliskich powierzchniach

Gdyby nie było tarcia, nie bylibyśmy w stanie niczego napisać – po pierwsze dlatego, że do utrzymania długopisu potrzebne jest tarcie między powierzchnią długopisu a dłonią; po drugie, aby długopis mógł pisać, potrzebne jest tarcie między końcem jego wkładu a kartką papieru.

Pisanie jako przykład wykorzystania siły tarcia

Polecenie 5

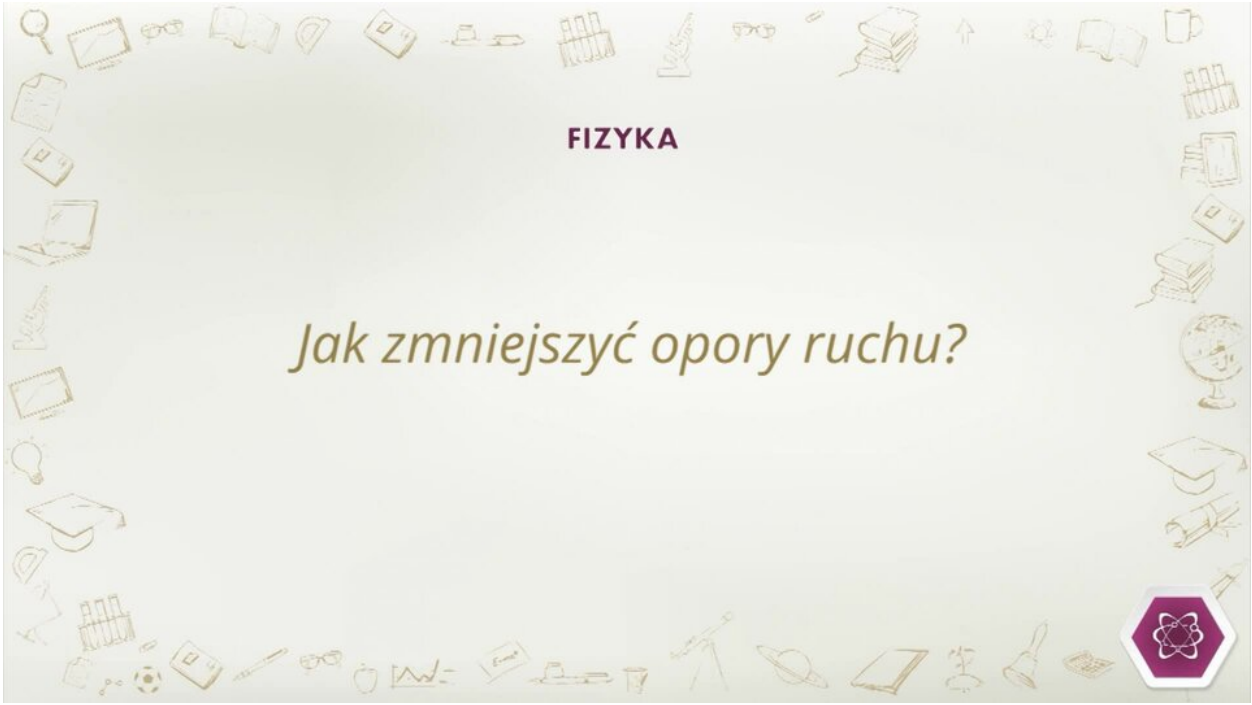
Podaj trzy przykłady z życia codziennego, w których zmniejszamy opory ruchu.

Ćwiczenie 1

Źródło: Dariusz Kajewski <Dariusz.Kajewski@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Podsumowanie

- Opory ruchu w wielu sytuacjach utrudniają nam życie i są przyczyną zwiększonego wydatkowania energii. Istnieją jednak sposoby na ich ograniczenie.



Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

Jak zmniejszyć opory ruchu?

Zgodnie z treścią czytaną przez lektora pojawia się kolejno: lupa, motocyklista, skoczek narciarski w locie, ujęcie samochodu wyścigowego formuły 1 w trakcie wyścigu, zdjęcie szafy, zdjęcie przedstawiające smarowanie różnych części maszyn oraz zdjęcie łożyska kulkowego.

- Opory ruchu:
    - zwiększają się wraz ze wzrostem wartości prędkości ciała względem ośrodka,
    - zależą od kształtu ciała,
    - są większe w cieczach niż w gazach.
- Tarcie – siła występująca między powierzchniami stykających się ciał stałych. Jest ona styczna do powierzchni przylegania i przeciwna do kierunku ruchu jednego z tych ciał względem drugiego (tarcie kinetyczne) lub równoważąca zewnętrzne siły, styczna do powierzchni przylegania ciał nieruchomych względem siebie. Tarcie związane z przesuwaniem ciała po powierzchni (tarcie poślizgowe) jest nieco większe podczas wprawiania ciała w ruch niż wówczas, gdy ciało w takim ruchu już się znajduje. Z tego powodu tarcie dzielimy na: statyczne i kinetyczne.
- Siła tarcia statycznego pojawia się wraz z pojawieniem się siły próbującej wprawić ciało w ruch względem podłoża.
- Siła tarcia kinetycznego działa między powierzchnią poruszającego się ciała a powierzchnią podłoża. Ma ona kierunek zgodny z kierunkiem przemieszczania się ciała, a jej zwrot jest przeciwny do zwrotu wektora prędkości tego ciała.
- Siła tarcia kinetycznego zależy od nacisku ciała na podłoże oraz od rodzaju materiałów, z jakich wykonane są stykające się powierzchnie.

- Do obliczenia sił tarcia możemy posłużyć się następującym wzorem: $F_T = f \cdot F_N$, gdzie:
  F_T[N] – siła tarcia,
  F_N[N] – siła nacisku,
  f – współczynnik tarcia.
- Współczynnik tarcia opisuje rodzaj trących o siebie powierzchni i nie ma jednostki.
- Współczynnik tarcia wyznaczamy doświadczalnie.

Praca domowa

> **Polecenie 6.1**
>
> Przedstaw rozkład sił działających na toczącą się oponę, uwzględniając siłę tarcia oraz siłę nacisku (zaznacz kierunek, w którym toczy się opona).

> **Polecenie 6.2**
>
> Wymień trzy przykłady funkcjonalnego wykorzystania siły tarcia oraz trzy przykłady, w których siła tarcia przeszkadza w życiu codziennym – podaj inne niż wymienione podczas lekcji.

Słowniczek

siła tarcia kinetycznego

– siła występująca między powierzchniami stykających się ciał stałych, styczna do powierzchni przylegania i przeciwna do kierunku ruchu jednego z tych ciał względem drugiego.

siła tarcia statycznego

– siła równoważąca zewnętrzne siły, styczna do powierzchni przylegania ciał nieruchomych względem siebie.

siły tarcia

patrz: tarcie

tarcie

– zjawisko występujące podczas przesuwania powierzchni stykających się ciał. Efektem jest powstanie siły tarcia – jest ona styczna do powierzchni przylegania i przeciwna do

zwrotu prędkości jednego z tych ciał względem drugiego (tarcie kinetyczne) lub równoważąca zewnętrzne siły, styczna do powierzchni przylegania ciał nieruchomych względem siebie (tarcie statyczne).

współczynnik tarcia

– niemianowana, wyznaczana doświadczalnie wielkość fizyczna, charakteryzująca dwie trące wzajemnie o siebie powierzchnie, równa stosunkowi siły tarcia do siły nacisku: $f = \frac{F_T}{F_N}$

Pierwsza zasada dynamiki Newtona. Bezwładność ciał

Dlaczego niektóre ciała tak łatwo wprawić w ruch, a w przypadku innych jest to prawie niemożliwe? Które ciało łatwiej zatrzymać? To o większej czy o mniejszej masie? Dlaczego tak jest?

Gdyby nie pasy bezpieczeństwa, podczas wypadku lub gwałtownego hamowania uderzylibyśmy w kierownicę lub fotel z przodu – to przejaw I zasady dynamiki, zwanej również zasadą bezwładności, dla układu odniesienia poruszającego się ruchem niejednostajnym – w tym wypadku gwałtownie zatrzymującego się pojazdu

Już potrafisz

- opisywać ruch jako zmianę położenia ciała względem układu odniesienia;
- podawać definicję prędkości i obliczać jej wartość;
- interpretować siłę jako miarę oddziaływania ciał na siebie;
- interpretować masę jako ilość substancji zawartej w ciele;
- odróżniać skutki statyczne i dynamiczne działania sił.

Nauczysz się

- podawać siłę jako przyczynę zmiany rodzaju lub kierunku ruchu;
- podawać treść pierwszej zasady dynamiki Newtona, czyli podawać warunki, jakie muszą być spełnione, aby ciało poruszało się ruchem jednostajnym prostoliniowym lub było w spoczynku;
- podawać przykłady zjawiska bezwładności.

1. Co wprawia ciała w ruch?

Jak to się dzieje, że kamień stacza się z góry? Dlaczego nieruchome przedmioty zaczynają się poruszać?
Przyczyną tych zjawisk są skutki działania sił – oczywiste jest, że w celu przesunięcia szafy musimy działać na nią pewną siłą.

Jak przesunąć szafę?

Siła ta musi pokonać siłę tarcia. A gdyby nie było tarcia? Czy łatwo jest poruszyć samochód? Czy łatwiej jest poruszyć samochód duży czy mały? Czy łatwiej jest poruszyć wiszący worek treningowy (taki dla bokserów) czy niewielki woreczek?

Aby zmienić prędkość podczas jazdy na deskorolce, należy podziałać na nią pewną siłą. Jej działanie może przyspieszyć lub opóźnić, a nawet zatrzymać ruch deskorolki.

Jak zmieniamy prędkość na deskorolce?

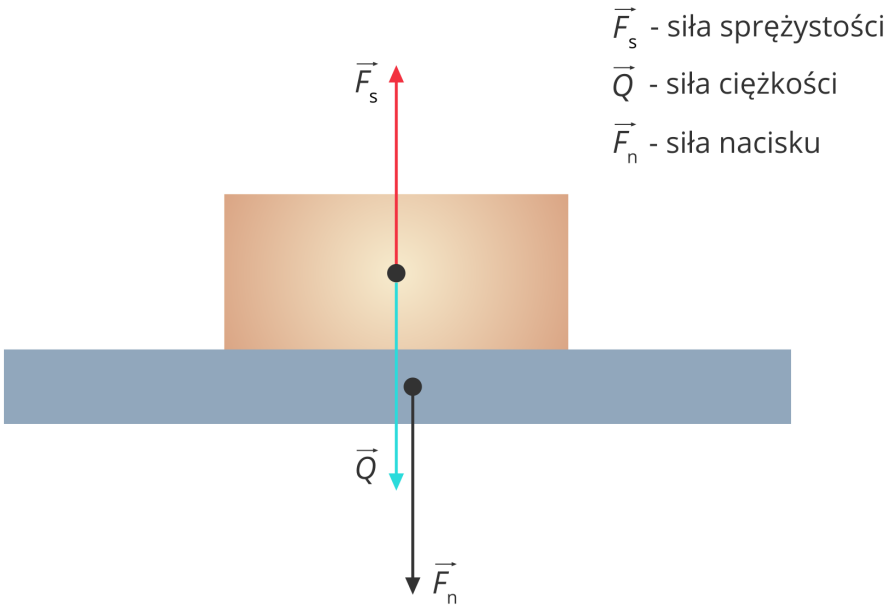
Aby zmienić kierunek ruchu toczącej się piłki, również musimy podziałać na nią siłą.

> **Zapamiętaj!**
>
> Przyczyną zmian prędkości ciała względem nieruchomego układu odniesienia jest działanie niezrównoważonej siły na to ciało.

> **Polecenie 1**
>
> Zastanów się z kolegami i koleżankami, co się stanie, gdy na ciało poruszające się w poziomie dowolnym ruchem prostoliniowym nagle przestaną działać wszelkie siły?

2. Pierwsza zasada dynamiki Newtona

Działanie niezrównoważonej siły (siły wypadkowej różnej od zera) powoduje zmianę prędkości poruszającego się ciała. Obserwujemy jednak i takie ciała, które poruszają się ze stałą prędkością lub też pozostają w spoczynku względem wybranego układu odniesienia.



Ciężar klocka równoważony jest przez siłę reakcji podłoża; klocek naciska na podłoże siłą nacisku, której wartość odpowiada ciężarowi klocka

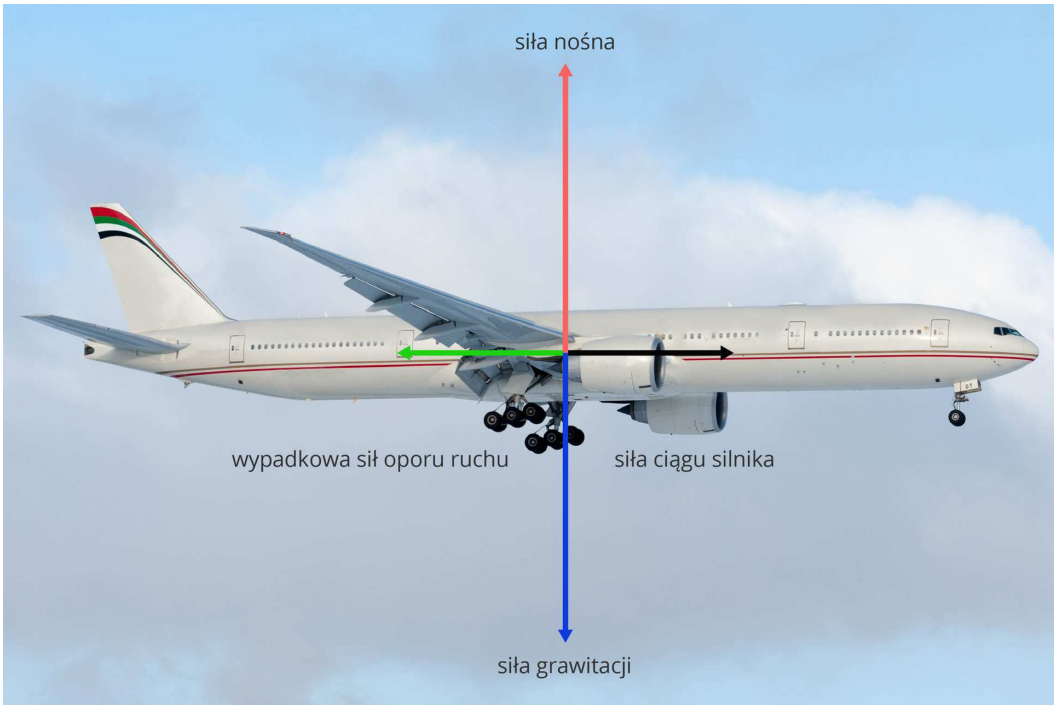
Gdy ciało spoczywa, wszystkie działające na nie siły równoważą się. Wartość siły wypadkowej wynosi zero. Na ciało nie działa żadna niezrównoważona siła, a jego prędkość v względem wybranego układu odniesienia równa jest zero.

Dlaczego samochód może poruszać się ze stałą prędkością pomimo tego, że jego silnik cały czas pracuje i wytwarza siłę napędową? Dlaczego prędkość samochodu nie rośnie?

Podobnie jest ze spadochroniarzem. Opada on ruchem jednostajnym (poza początkowym odcinkiem drogi). Wiemy jednak, że kamień spadający swobodnie porusza się ruchem przyspieszonym. Dlaczego w takim razie spadochroniarz porusza się z prędkością o stałej wartości?

Przyczyną tego zjawiska są opory ruchu. Zagadnieniem tym zajmowaliśmy się już wcześniej i będziemy się również zajmować dokładniej na następnej lekcji, dlatego też teraz ograniczymy się do stwierdzenia, że wartość siły oporu powietrza lub wody zależy od prędkości ruchu ciała w tych ośrodkach. Podczas opadania wartość prędkości spadochroniarza wzrasta i rośnie też siła oporu stawianego mu przez powietrze. Gdy siły się zrównoważą, dalszy ruch odbywa się już ze stałą wartością prędkości.

Siła napędowa silnika samochodu równoważona jest przez siły przeciwdziałające jego ruchowi, np. siłę tarcia toczących się po powierzchni jezdni opon lub siły oporu powietrza. Noszą one wspólną nazwę sił oporu ruchu. Siła wypadkowa działająca na jadący po linii prostej z prędkością o stałej wartości samochód, będąca sumą siły napędowej i sił oporu ruchu, równa jest zeru.



Siły działające na samolot w locie poruszający się ze stałą prędkością

Dlaczego lecący po linii prostej samolot może poruszać się ze stałą prędkością?
Na lecący samolot działają łącznie cztery siły, które muszą parami się równoważyć:

1. siła grawitacji (skierowana pionowo w dół) i siła nośna (skierowana pionowo w górę);
2. siła ciągu silników (zwrócona w tę stronę, w którą leci samolot) i siły oporu ruchu, zwrócone przeciwnie do zwrotu prędkości samolotu.

Gdy zostanie spełniony warunek ich równowagi, tzn. siła wypadkowa działająca na samolot wyniesie zero, to będzie on się poruszał z prędkością o stałej wartości, kierunku i zwrocie.

Przedstawione zjawisko nosi nazwę pierwszej zasady dynamiki, a sformułował ją na przełomie XVII i XVIII wieku sir Isaac Newton.

> **Reguła: Pierwsza zasada dynamiki Newtona**
>
> Jeżeli na ciało nie działa żadna siła lub działające siły się równoważą, to ciało pozostaje w spoczynku lub porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym względem nieruchomego układu odniesienia.

Ćwiczenie 1

Oceń prawdziwość poniższych zdań.

	Prawda	Fałsz
Jadący samochód porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym, gdy siła grawitacji równoważy siłę tarcia.	◯	◯
Jadący samochód porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym, gdy siłę tarcia równoważy siła napędzająca samochód.	◯	◯
Stojący na parkingu samochód nie porusza się, ponieważ działające na niego siły równoważą się.	◯	◯

Źródło: Dariusz Kajewski <Dariusz.Kajewski@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

3. Bezwładność ciał

Wyobraźmy sobie, że jadący autobus nagle zaczyna hamować. Co się wtedy dzieje? Przedmioty, które nie są umocowane, zaczynają się poruszać w tę stronę, w którą jechał autobus. Dotyczy to także ludzi, przy czym niektórzy z nich mogą się nawet przewrócić. Podobnie jest, gdy pojazd rusza z dużym przyspieszeniem. Wtedy nieumocowane przedmioty i jadący pojazdem ludzie zaczynają poruszać się względem ścian pojazdu do tyłu, co powoduje, że również się przewracają.

Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

Co się dzieje gdy autobus gwałtownie rusza?

Prezentowany jest widok z boku (przekrój – widać pasażerów stojących w środku, siedzących nie ma) animowanego autobusu. Na zewnątrz elementy sugerujące, ze autobusu stoi: drzewa, domy, latarnie, słupek przystanku. Autobus nie zmienia położenia względem nich. Autobus rusza. Przesuwa się tylko trochę i stopklatka. Pojawiają się dymki wypowiedzi. Dalej rusza. Pasażerowie padają na podłogę. Autobus odjeżdża. Pojawiają się dymki wypowiedzi.

Ciała pasażerów ruszającego z miejsca pojazdu przejawiają tendencję do pozostania w stanie, w którym znajdowały się dotąd. Jednak stopy na skutek występowania siły tarcia między podłogą a podeszwami obuwia „odjeżdżają" wraz z autobusem. Pasażerowie przewracają się do tyłu pojazdu.

Co stanie się w czasie hamowania autobusu? Ciała będą kontynuować swój ruch z prędkością, jaką miał on przed rozpoczęciem hamowania. Ich stopy związane są jednak siłami tarcia z podłogą pojazdu. Możemy wówczas zaobserwować, że pasażerowie, czasem nawet gwałtownie, przemieszczają się w stronę przodu autobusu, a nawet przewracają się. Oba powyższe przykłady pokazują, że ciała mają tendencję do zachowania istniejącego stanu – spoczynku bądź ruchu jednostajnego prostoliniowego. Do utrzymania tego stanu nie jest potrzebne oddziaływanie zewnętrzne. Wynika z tego pewna właściwość ciał zwana bezwładnością.

Aby zmienić stan ruchu ciała, tzn. zmniejszyć lub zwiększyć prędkość, zatrzymać lub zmienić kierunek jego ruchu (gdy w ruchu się znajduje) lub wprawić w ruch (gdy

spoczywa), wymagane jest działanie siły niezrównoważonej.

> **Zapamiętaj!**
>
> Bezwładność jest siłą pojawiającą się w układach odniesienia, które przyspieszają, zwalniają lub zmieniają kierunek ruchu względem nieruchomego układu odniesienia.

Podsumowanie

- Przyczyną zmian prędkości ciała względem nieruchomego układu odniesienia jest działanie na to ciało niezrównoważonej siły.
- Ciała spoczywające dążą do przebywania w stanie spoczynku, ciała poruszające się – do utrzymania tego ruchu bez zmiany prędkości. Cecha ciała polegająca na tym, że ciało dąży do zachowania stanu spoczynku lub stanu ruchu jednostajnego prostoliniowego nazywa się bezwładnością. Bezwładność uwidacznia się w układach odniesienia, które przyspieszają, zwalniają lub zmieniają kierunek ruchu względem nieruchomego układu odniesienia.
- Masa jest miarą ilości materii w danym przedmiocie. Jest miarą bezwładności – oporu, jaki stawia ten przedmiot, gdy chcemy go poruszyć, zatrzymać lub zmienić w jakiś sposób jego ruch.
- Pierwsza zasada dynamiki Newtona głosi, że jeżeli na ciało nie działa żadna siła lub działające siły się równoważą, to ciało pozostaje w spoczynku lub porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym względem nieruchomego układu odniesienia.

> **Praca domowa**
>
> > **Polecenie 2.1**
> >
> > Wymień przykłady praktycznego zastosowania bezwładności.
>
> > **Polecenie 2.2**
> >
> > Pocisk porusza się w lufie armaty w wyniku parcia gazów powstałych po spaleniu prochu. Wymień dwie siły działające na pocisk po opuszczeniu lufy. Czy jest wśród nich siła parcia gazów prochowych? Uzasadnij swoją odpowiedź.

Polecenie 2.3

Przygotuj następujące pomoce: niewielki prostopadłościenny klocek, kulkę o podobnych rozmiarach i samochodzik mający obracające się kółka. Ustaw je w jednej linii wzdłuż linijki, a następnie przesuwaj linijkę tak, aby wszystkie te przedmioty znalazły się w ruchu.
W pewnej chwili zatrzymaj linijkę. Jak będą się zachowywać wymienione przedmioty? Który z nich dotrze najdalej, a który pokona najkrótszą drogę? Dlaczego?

Polecenie 2.4

Nazwij i narysuj siły działające na klocek podczas jego ruchu. Ile wynosiłaby wartość wypadkowej tych sił, gdyby nie było tarcia?

Zadanie podsumowujące lekcję

Ćwiczenie 2

W którą stronę przechylą się pasażerowie autobusu przy jego skręcie w lewo i jednoczesnym przyspieszaniu?

	Prawda	Fałsz
W prawo i do przodu.	◯	◯
W lewo i do przodu.	◯	◯
W prawo i do tyłu.	◯	◯
W lewo i do tyłu.	◯	◯

Źródło: Dariusz Kajewski <Dariusz.Kajewski@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Słowniczek

bezwładność

– inercja; właściwość materii polegająca na zachowaniu przez ciało swojego stanu: ruchu lub spoczynku, dopóki nie działają niezrównoważone siły .

siła nośna

– jedna z sił działających w ośrodku (powietrzu, cieczy) na poruszające się w tym ośrodku ciało. Siła ta jest zależna od kształtu ciała i wartości prędkości ciała.

siły oporu ruchu

– wszystkie siły, które przeciwdziałają ruchowi poruszającego się ciała, np. tarcie lub opór powietrza.

Biogram

Jeden z największych uczonych w historii nauki

Isaac Newton

25.12.1642–20.03.1727

Fizyk, astronom i matematyk angielski, profesor uniwersytetu w Cambridge. Sformułował podstawy mechaniki klasycznej (trzy zasady dynamiki). Innymi epokowymi odkryciami Newtona są prawo powszechnego ciążenia i uzasadnienie praw Keplera. Był zwolennikiem korpuskularnej teorii światła (zgodnie z którą światło ma postać cząstek). Jest wraz z Leibnizem twórcą rachunku różniczkowego i całkowego.

Druga zasada dynamiki Newtona

Dlaczego gdy siła o takiej samej wartości działa na ciała o różnych masach, nadaje im inne przyspieszenia? Jeśli nie uwzględnimy sił oporu, to od czego zależy zmiana prędkości ciał?

Aby nieruchome ciało zaczęło się poruszać, należy na nie zadziałać większą lub mniejszą siłą – od czego jednak zależy, jak duża musi być ta siła?

Już potrafisz

- podać znaczenie pojęć: ruch, prędkość, przyspieszenie, siła wypadkowa;
- podać treść pierwszej zasady dynamiki Newtona;
- odróżniać ruchy jednostajne, przyspieszone i opóźnione;
- uwzględniać wpływ sił oporu na ruch ciał.

Nauczysz się

- podawać treść drugiej zasady dynamiki Newtona;
- opisywać zachowanie się ciał pod wpływem działającej siły na podstawie drugiej zasady dynamiki Newtona;
- wyrażać wartość działającej siły w niutonach.

1. Jakim ruchem porusza się ciało pod wpływem działania stałej zewnętrznej siły niezrównoważonej?

Pierwsza zasada dynamiki Newtona głosi, że ciało może zmienić swoją prędkość jedynie wskutek działania na niego zewnętrznej niezrównoważonej siły. Nie pozwala jednak wyciągnąć żadnych wniosków na temat ruchu, jakim pod wpływem takiej siły ciało będzie się przemieszczało. Aby to wyjaśnić, przeprowadź doświadczenie.

Doświadczenie 1

Ponieważ w szkołach występują różne modele torów powietrznych, przed rozpoczęciem doświadczenia należy dopasować zarówno masę wózka, jak i masy ciężarków. Ruch wózka powinien odbywać płynnie, bez zacięć.

Problem badawczy

Jakim ruchem będzie poruszało się ciało pod wpływem zewnętrznej siły niezrównoważonej?

Hipoteza

Działanie niezrównoważonej siły na ciało powoduje zmianę jego prędkości, czyli nadanie mu określonego przyspieszenia. Przyspieszenie to może być stałe, a tym samym ruch ciała – jednostajnie przyspieszony.

Co będzie potrzebne

- tor powietrzny z wózkiem o masie 1 kg;
- bloczek;
- ciężarek o masie pięciu gramów (m = 5 g);
- wytrzymała nić;
- chromatograf (jeżeli znajduje się w zestawie z torem powietrznym); możesz również użyć taśmy papierowej ciągniętej przez wózek i zamocowanej w jednym miejscu strzykawki z zabarwionym płynem. Możesz także przymocować strzykawkę z takim płynem do jadącego wózka, a taśmę papierową położyć na stole tak, aby spadające krople trafiały na nią.

Instrukcja

1. Wypoziomuj tor powietrzny.
2. Zamocuj bloczek.
3. Umieść wózek wraz z przymocowaną do niego nicią w najbardziej oddalonym punkcie toru powietrznego.
4. Zawieś na drugim końcu nici (za bloczkiem) pięciogramowy ciężarek.
5. Przymocuj taśmę chromatografu do drugiego końca wózka (albo wykorzystaj taśmę papierową w sposób opisany wyżej).
6. Pozwól opadać ciężarkowi.

Uzupełnij tabelę pomiarów.

Tabela pomiarów

$F[\mathrm{N}]$	$\Delta t[\mathrm{s}]$		$s[\mathrm{m}]$		$v = \frac{s}{\Delta t}$ $\left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right]$		$\Delta v\left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right]$		$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}\left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\right]$
	1.		1.		1.		1.		
	2.		2.		2.		2.		
	3.		3.		3.		3.		

$F[\mathrm{N}]$	$\Delta t[\mathrm{s}]$		$s[\mathrm{m}]$		$v = \frac{s}{\Delta t}$ $\left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right]$		$\Delta v\left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right]$		$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}\left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\right]$
	4.		4.		4.		4.		
	5.		5.		5.				

Przyjmij, że chromatograf odmierzał czas co 0,1 s i zmierz kolejne odcinki drogi przebytej przez ciało. Oblicz średnią wartość prędkości wózka w poszczególnych przedziałach czasu, korzystając z zależności $v_{\text{śr}} = \frac{s}{\Delta t}$. Następnie oblicz wartości zmiany prędkości na drugim odcinku w stosunku do pierwszego, potem na trzecim w stosunku do drugiego i tak dalej. Możesz dalej sprawdzić, czy i jak zmienia się stosunek zmiany wartości prędkości wózka do czasu, w którym ta zmiana nastąpiła.

Podsumowanie

Wyniki doświadczeń wskazują, że wartość średniej prędkości rośnie, a w granicach niepewności wyniku stosunek zmiany prędkości poruszającego się ciała do czasu, w którym ta zmiana nastąpiła, jest stały. Wynika z tego, że działanie na ciało stałej, niezrównoważonej siły zewnętrznej powoduje ruch ciała ze stałym przyspieszeniem, czyli porusza się ono ruchem jednostajnie przyspieszonym.

Zapamiętaj!

Pod wpływem stałej niezrównoważonej siły zewnętrznej ciała poruszają się ruchem jednostajnie przyspieszonym.

Polecenie 1

Na samochód może działać stała, różna od zera siła napędowa. Wyjaśnij, dlaczego może on poruszać się zarówno ruchem jednostajnym, jak i jednostajnie przyspieszonym?

2. Związek między przyspieszeniem a niezrównoważoną siłą zewnętrzną

Spróbujmy teraz na drodze doświadczalnej znaleźć związek między działającą niezrównoważoną siłą zewnętrzną (wypadkową sił) a przyspieszeniem, jakie pod jej wpływem uzyskuje ciało. Jeśli będziemy działali na ciało coraz większymi wartościami sił, czy pociągnie to za sobą również wzrost wartości przyspieszeń uzyskiwanych przez ciało? Posłużmy się nieznacznie zmienionym zestawem pomiarowym z poprzedniego doświadczenia.

Doświadczenie 2

Ponieważ w szkołach występują różne modele torów powietrznych, przed rozpoczęciem doświadczenia należy dopasować zarówno masę wózka, jak i masy ciężarków. Ruch wózka powinien odbywać płynnie, bez zacięć.

Przedstawiony wyżej sposób przeprowadzania doświadczenia jest wzorcowy. Chodzi o to, że gdy badamy zależność przyspieszenia od działającej siły, masa układu, który ta siła przyspiesza, musi być stała. Jeżeli będziemy jedynie zwiększać masę wiszących ciężarków, to co prawda wzrośnie wartość siły, ale zwiększy się również masa całego układu.

Problem badawczy

Jeśli kierunki i zwroty wektorów niezrównoważonej siły zewnętrznej i prędkości poruszającego się ciała są zgodne i działająca siła wzrośnie, to czy wzrośnie również przyspieszenie ciała?

Hipoteza

Wzrost wartości siły zewnętrznej działającej na ciało o stałej masie pociąga za sobą proporcjonalny wzrost jego przyspieszenia.

Co będzie potrzebne

- tor powietrzny z wózkiem o masie 1 kg;
- nakładka o masie 0,25 kg;
- bloczek;
- pięć ciężarków, każdy o masie 5 g;
- wytrzymała nić.

Instrukcja

1. Wypoziomuj tor powietrzny.
2. Zamocuj bloczek.
3. Umieść wózek z wraz z przymocowaną do niego nicią w najbardziej oddalonym punkcie toru powietrznego.
4. Na wózek nałóż nakładkę.
5. Na nakładce ustaw cztery ciężarki o masie 5 g.
6. Zawieś na drugim końcu nici (za bloczkiem) pięciogramowy ciężarek.
7. Pozwól opadać ciężarkowi, mierząc na określonej drodze czas ruchu wózka.
8. Powtórz kilkakrotnie doświadczenie. Za każdym razem zabierz z nakładki wózka ciężarek i przyczep go do ciężarków (ciężarka) uprzednio umieszczonych na końcu nici, tak aby masa układu nie zmieniała się, a działająca na wózek siła wzrastała.

Na podstawie tabeli pomiarów sporządź wykres zależności $a(F)$.

Tabela pomiarów

Siła $F[\mathrm{N}]$ (F_0 – ciężar jednego obciążnika)	**Czas *t* [s]**	**Przyspieszenie $a = \frac{2s}{t^2}\left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\right]$**
$F_0 =$		
$2F_0 =$		

Siła $F[\mathrm{N}]$ (F_0 – ciężar jednego obciążnika)	Czas *t* [s]	Przyspieszenie $a = \frac{2s}{t^2}\left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\right]$
$3F_0 =$		
$4F_0 =$		
$5F_0 =$		

Podsumowanie

Gdy wartość niezrównoważonej siły zewnętrznej (wypadkowej sił działających) rośnie, to rośnie również przyspieszenie ciała, na które ona działa. Z wykresu zależności *a (F)* wyraźnie widać, że uzyskiwane przyspieszenie jest wprost proporcjonalne do przyłożonej siły.

Zapamiętaj!

Jeśli na ciało o stałej masie działa stała niezrównoważona siła zewnętrzna (siła wypadkowa) F, to nadaje mu ona stałe przyspieszenie *a*. Przyspieszenie to jest wprost proporcjonalne do działającej siły wypadkowej.

3. Związek między przyspieszeniem a masą ciała, gdy działa na nie stała niezrównoważona siła zewnętrzna

Obserwacja otoczenia skłania do wniosku, że przyspieszenie uzyskiwane przez poruszające się ciało zależy również od jego masy. Znaczniej trudniej jest przyspieszyć wyładowaną ciężarówkę niż lżejszy samochód osobowy (pomijając oczywiście różnice wynikające z mocy ich silników). Możemy więc przypuszczać, że istnieje jakiś związek między uzyskiwanym przez ciało przyspieszeniem pod wpływem niezrównoważonej siły zewnętrznej a masą

ciała. Aby się przekonać, czy tak jest w rzeczywistości, ponownie przeprowadźmy eksperyment z wykorzystaniem toru powietrznego.

Doświadczenie 3

Ponieważ w szkołach występują różne modele torów powietrznych, przed rozpoczęciem doświadczenia dopasuj zarówno masę wózka, jak i masy ciężarków. Ruch wózka powinien odbywać płynnie, bez zacięć.

Problem badawczy

Czy przyspieszenie, które uzyskuje ciało pod wpływem działającej stałej i niezrównoważonej siły zewnętrznej, zależy od masy ciała?

Hipoteza

Tak, jest ono tym mniejsze, im większa jest masa ciała, na które działa siła.

Co będzie potrzebne

- tor powietrzny;
- wózek o masie 1 kg (m_0 =1 kg);
- nakładka na wózek (dla odważników) o masie m_n =0,25 kg;
- cztery odważniki o masie 0,25 kg każdy (m_n = 0,25 kg);
- wytrzymała nić;
- obciążnik o masie 10 g;
- bloczek;
- stoper.

Instrukcja

1. Zamocuj bloczek.
2. Umieść wózek z nakładką wraz z przymocowaną do niego nicią w najbardziej oddalonym punkcie toru powietrznego, tak aby w czasie działania dmuchawy, nakładka nie przemieszczała się.
3. Zawieś na drugim końcu nici (za bloczkiem) dziesięciogramowy ciężarek.
4. Pozwól opadać ciężarkowi, mierząc na określonej drodze czas ruchu wózka.
5. Wynik pomiaru powtórz kilkakrotnie, za każdym razem zwiększając masę wózka za pomocą dodatkowych odważników.

Podsumowanie

Wyniki doświadczenia wskazują, że przyspieszenie ciała uzyskiwane pod wpływem stałej niezrównoważonej siły (siły wypadkowej) zależy od masy ciała. Im jest ona większa, tym mniejsza wartość przyspieszenia.

Zapamiętaj!

Przyspieszenie, które uzyskują ciała pod wpływem działania siły wypadkowej o ustalonej wartości, jest odwrotnie proporcjonalne do masy ciał:

$$a \sim \frac{1}{m}$$

Polecenie 2

Oblicz, jak i ile razy zmieni się przyspieszenie ciała, gdy:

1. wartość siły wypadkowej wzrośnie trzy razy lub zmaleje dwa razy, a masa ciała będzie stała;
2. ta sama siła wypadkowa działać będzie na ciało o dwukrotnie większej masie;
3. siła wypadkowa dwa razy większa będzie działać na ciało o dwukrotnie większej masie.

4. Druga zasada dynamiki Newtona

W 1687 r. angielski fizyk i matematyk Isaac Newton w swoim fundamentalnym dla rozwoju mechaniki klasycznej dziele pt. *Philosophiae naturalis principia mathematica* (*Matematyczne podstawy filozofii naturalnej*) oprócz prawa powszechnego ciążenia sformułował prawa rządzące ruchem ciał, w tym pierwszą, drugą i trzecią zasadę dynamiki.

Reguła: Druga zasada dynamiki Newtona

Jeśli na ciało działa stała niezrównoważona siła (siła wypadkowa), to ciało porusza się ruchem jednostajnie zmiennym z przyspieszeniem wprost proporcjonalnym do działającej siły i odwrotnie proporcjonalnym do masy ciała.
Drugą zasadę dynamiki Newtona zapisujemy tak:

$$a = \frac{F}{m}$$

lub

$$F = m \cdot a,$$

gdzie $a\left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\right]$ – przyspieszenie; $F[\mathrm{N}]$ – siła; $m[\mathrm{kg}]$ – masa ciała.

Z drugiej zasady wynika, że jeżeli różne siły działają na ciało o stałej masie, to tym większe jest przyspieszenie, im większa jest wartość siły wypadkowej. Z kolei, jeżeli taka sama siła działa kolejno na ciała o różnych masach, to uzyskane przyspieszenia są tym większe, im mniejszą masę ma dane ciało.

Druga zasada dynamiki Newtona jest jedną z podstawowych zasad w fizyce. Dzięki niej jesteśmy w stanie zrozumieć i opisać ruch niemalże wszystkich ciał, począwszy od ogromnych planet, a skończywszy na cząstkach elementarnych. Musimy jednak założyć, że prędkości tych ciał są dużo mniejsze od prędkości światła. Ruch ciał poruszających się z prędkościami bliskimi prędkości światła rządzi się innymi prawami.

Druga zasada dynamiki pozwala nam zdefiniować jednostkę siły.

> **1 N (niuton)**
>
> – 1 niuton jest wartością siły, która ciału o masie 1 kg nadaje przyspieszenie $1\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$
>
> $$1\ \mathrm{N} = 1\ \mathrm{kg} \cdot 1\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$$

> **Polecenie 3**
>
> Zastanów się, czy pod wpływem działania stałej niezrównoważonej siły wypadkowej ciało będzie poruszało się ze stałą prędkością, stałym przyspieszeniem czy z rosnącym przyspieszeniem? Uzasadnij odpowiedzi (zarówno twierdzące, jak i przeczące).

Podsumowanie

- W XVII w. wybitny fizyk i matematyk sir Isaac Newton sformułował trzy zasady dynamiki. Szczególną rolę w rozwoju fizyki odegrała druga z nich.
  Jeśli na ciało działa stała niezrównoważona siła, to ciało porusza się ruchem jednostajnie zmiennym z przyspieszeniem wprost proporcjonalnym do działającej siły i odwrotnie proporcjonalnym do masy ciała.
- Z drugiej zasady wynika, że jeżeli różne siły działają na ciało o stałej masie, to tym większe jest przyspieszenie, im większa jest wartość siły wypadkowej. Z kolei, jeżeli taka sama siła działa kolejno na ciała o różnych masach, to uzyskane przyspieszenia są tym większe, im mniejszą masę ma dane ciało.
- Drugą zasadę dynamiki zapisujemy za pomocą wzorów:
  $a = \frac{F}{m}$ lub
  $F = m \cdot a$,
  gdzie:
  $a\left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\right]$ – przyspieszenie; $F[\mathrm{N}]$ – siła; $m[\mathrm{kg}]$ – masa ciała.
  Druga zasada dynamiki pozwala na zdefiniowanie jednostki siły – 1 N (niutona). 1 niuton

jest wartością siły, która nadaje ciału o masie $1\,\mathrm{kg}$ przyspieszenie $1\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$.
$1\ \mathrm{N} = 1\ \mathrm{kg} \cdot 1\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$.

Praca domowa

Polecenie 4.1

Oblicz wartość siły wypadkowej, jaką trzeba przyłożyć do piłki o masie $0{,}5\ \mathrm{kg}$, aby zaczęła się ona poruszać z przyspieszeniem o wartości $2\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$.

Polecenie 4.2

Oblicz wartość siły napędowej samochodu o masie $1500\ \mathrm{kg}$ poruszającego się z przyspieszeniem $1\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$, jeżeli siły oporów ruchu mają wartość $500\ \mathrm{N}$.

Polecenie 4.3

W wyniku działania siły wypadkowej, w czasie 5 sekund wartość prędkości ciała o masie $3\ \mathrm{kg}$ wzrosła z $5\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$ do $10\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$. Oblicz wartość siły wypadkowej.

Zadanie podsumowujące lekcję

Ćwiczenie 1

Które informacje dotyczące piłki, która została kopnięta, są prawdziwe, a które fałszywe?
Podczas kopnięcia piłka

	Prawda	Fałsz
zmieniła swoją prędkość na skutek działania niezrównoważonej siły.	◯	◯
zmieniła swoją prędkość na skutek działania stałej zrównoważonej siły.	◯	◯

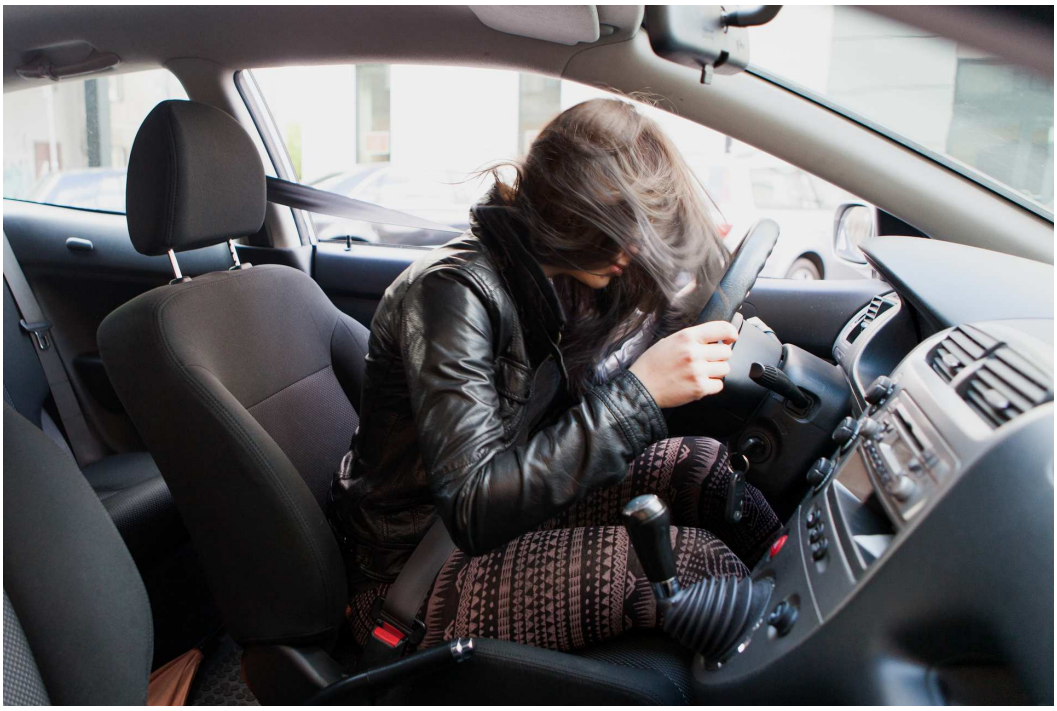
Źródło: Dariusz Kajewski <Dariusz.Kajewski@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Podsumowanie wiadomości z dynamiki

W tym dziale poznaliście, jak siły wpływają na ruch ciał. Wiecie już, kiedy ruch jest jednostajny, a kiedy zmienny i jak zmienić rodzaj ruchu. Poznaliście treść zasad dynamiki Newtona i potraficie wyjaśnić, dlaczego dany ruch jest taki, a nie inny. Wiecie, jakim ruchem porusza się ciało, i potraficie powiedzieć, czy wypadkowa sił działających na to ciało jest równa zeru, czy też od niego różna. Poznaliście kilka rodzajów oporów ruchu i potraficie opisać ich wpływ na ruch ciał. Siły te powodują zmniejszanie wartości prędkości, ale bez nich nie byłoby możliwe rozpoczęcie ruchu, przyspieszanie i zmiana kierunku ruchu.

Podstawy dynamiki jako nauki zajmującej się ruchem ciał materialnych zawdzięczamy Izaakowi Newtonowi, który opisał je wraz z innymi sformułowanymi przez siebie prawami fizyki w dziele z 1684 roku

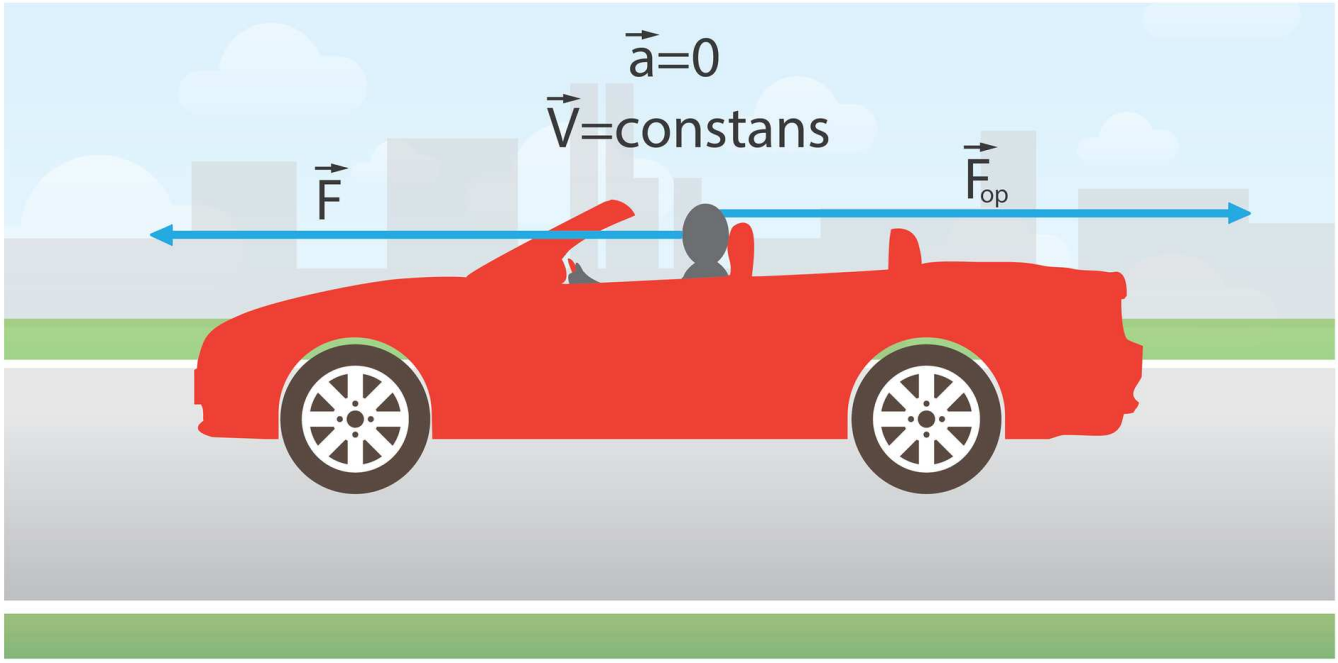
1. Bezwładność ciał.



Źródło: Tomorrow sp.z o.o., licencja: CC BY 3.0.

1. Ciała spoczywające dążą do przebywania w stanie spoczynku, ciała poruszające się – do utrzymania tego ruchu bez zmiany prędkości. Ta „niechęć" ciał wobec zmian charakteru ich ruchu nazywa się **bezwładnością (inercją)**.
2. Bezwładność ciał uwidacznia się zawsze, gdy chcemy zmienić stan ich ruchu (ew. ich spoczynku) w danym układzie.
3. Siła bezwładności występuje w układzie odniesienia, który przyspiesza, zwalnia lub zmienia kierunek ruchu względem innego, nieruchomego układu odniesienia. Takie układy odniesienia, poruszające się ruchem niejednostajnym nazywamy układami nieinercjalnymi.
4. Bezwładność ciał zależy od ich masy; taka sama siła przyłożona do ciał o różnych masach w różnym stopniu zmienia ruch ciała o dużej i o małej masie.

2. Pierwsza zasada dynamiki.



Źródło: Dariusz Adryan, licencja: CC BY 3.0.

1. W XVII w. sir Isaac Newton sformułował trzy zasady dynamiki.
2. Pierwsza zasada dynamiki Newtona mówi, że jeżeli na ciało nie działa żadna siła lub działające siły się równoważą, to ciało pozostaje w spoczynku lub porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym względem nieruchomego układu odniesienia.
3. Oznacza to, że przyczyną zmian prędkości ciała względem nieruchomego układu odniesienia jest działanie na to ciało niezrównoważonej siły.

3. Opory ruchu

Źródło: DLR German Aerospace Center (https://www.flickr.com), licencja: CC BY 2.0.

1. Wszystkie poruszające się w naszym otoczeniu ciała napotykają siły, które przeciwdziałają ich ruchowi. Mogą być one na przykład wynikiem oporu, który stawia poruszającemu się ciału ośrodek, lub tarcia między powierzchnią podłoża i ciała znajdującego się w ruchu. Nazywamy je **siłami oporu ruchu**.
2. Opory ruchu:
    - zwiększają się wraz ze wzrostem wartości prędkości ciała względem ośrodka;
    - zależą od kształtu ciała;
    - są większe w cieczach niż w gazach.
3. Opory ruchu w wielu sytuacjach utrudniają nam życie i są przyczyną zwiększonego wydatkowania energii. Istnieją jednak sposoby na ich ograniczenie, np. nadawanie poruszającym się przedmiotom opływowego kształtu. Czasami jednak zależy nam na zwiększeniu np. sił tarcia.

4. Tarcie

Źródło: Tomorrow Sp.z o.o., licencja: CC BY 3.0.

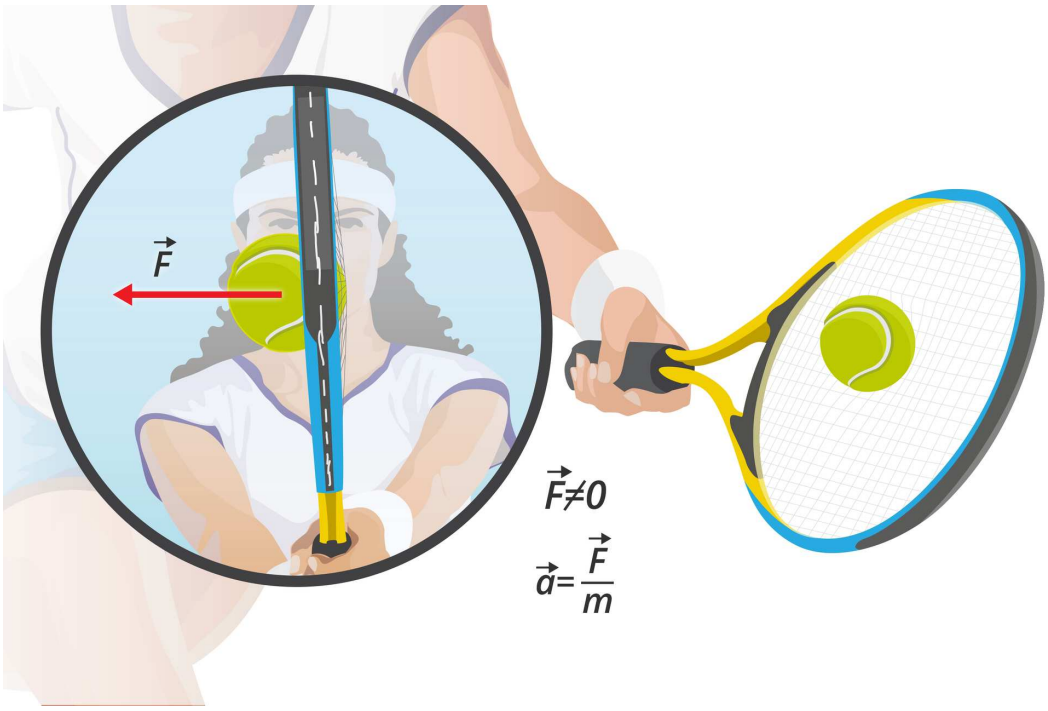
1. Tarcie to opór ruchu (siła) związany z oddziaływaniem występującym na powierzchni styku dwóch ciał wraz z pojawieniem się siły działającej na ciało. Siła ta działa w celu wprawienia go w ruch względem drugiego ciała. Może też być nią siła oporu w trakcie przesuwania się dwóch stykających się ciał. Siła tarcia działająca na poszczególne ciała ma kierunek równoległy do płaszczyzny zetknięcia, a zwrot jest przeciwny do zwrotu wektora prędkości danego ciała.
2. Tarcie jest nieco większe podczas wprawiania ciała w ruch niż wówczas, gdy ciało w takim ruchu już się znajduje. Z tego powodu tarcie dzielimy na statyczne i kinetyczne.

5. Tarcie kinetyczne

Źródło: Redline (http://commons.wikimedia.org), licencja: CC BY-SA 3.0.

1. Tarcie kinetyczne jest efektem powstawanie sił oporu w trakcie przesuwania się dwóch stykających się ciał. Siła tarcia działająca na te ciała ma kierunek równoległy do płaszczyzny zetknięcia, a zwrot jest przeciwny do zwrotu wektora prędkości danego ciała.
2. Siła tarcia kinetycznego zależy od nacisku ciała na podłoże oraz od rodzaju materiałów, z jakich wykonane są stykające się powierzchnie.
3. Do obliczenia sił tarcia możemy posłużyć się następującym wzorem:
   $F_T = f \cdot F_{\mathrm{N}}$,
   gdzie:
   $F_T [\mathrm{N}]$ – siła tarcia;
   $F_N [\mathrm{N}]$ – siła nacisku;
   f – współczynnik tarcia.
4. Współczynnik tarcia zależy od rodzaju trących o siebie powierzchni i nie ma jednostki.
5. Współczynnik tarcia kinetycznego jest mniejszy od współczynnika tarcia statycznego.
6. Współczynnik tarcia wyznaczamy doświadczalnie.

6. Druga zasada dynamiki



Źródło: Tomorrow sp.z o.o., licencja: CC BY 3.0.

Z trzech zasad dynamiki sformułowanych przez Isaaca Newtona szczególną rolę w rozwoju fizyki odegrała druga z nich. Oto jej treść:

1. Jeśli na ciało działa niezrównoważona siła (siła wypadkowa), to ciało porusza się ruchem zmiennym z przyspieszeniem wprost proporcjonalnym do działającej siły i odwrotnie proporcjonalnym do masy ciała.
2. Drugą zasadę dynamiki zapisujemy za pomocą następujących wzorów:
   $a = \frac{F}{m}$
   lub
   $F = m \cdot a$,
   gdzie: $a\left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\right]$ – przyspieszenie; F [N] – siła; m [kg] – masa ciała.
3. Ponieważ przyspieszenie, a więc zmiana ruchu ciała, zależy od jego masy, mówimy, że masa ciała jest miarą jego bezwładności.

7. Zastosowanie drugiej zasady dynamiki do obliczeń

1. Druga zasada dynamiki Newtona łączy działającą na ciało siłę wypadkową F z przyspieszeniem a, jakie pod jej wpływem uzyskuje ciało o masie m.
   $F = m \cdot a$.
2. Siłę obliczymy, podstawiając do powyższego wzoru masę i przyspieszenie ciała.

3. Jeśli znana jest siła wypadkowa i masa ciała, to przyspieszenie otrzymamy, posługując się wzorem:
   $a = \frac{F}{m}$.
4. Chcąc obliczyć masę, korzystamy ze wzoru:
   $m = \frac{F}{a}$.
5. Druga zasada dynamiki pozwala na zdefiniowanie jednostki siły – 1 N (niutona):
6. Siła ma wartość 1 N, jeśli w kierunku swego działania ciału o masie 1 kg nadaje przyspieszenie $a = 1\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$.
7. $1\ \mathrm{N} = 1\ \mathrm{kg} \cdot 1\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$.

8. Trzecia zasada dynamiki

Źródło: Tomorrow sp.z o.o., licencja: CC BY 3.0.

1. W przyrodzie występuje wiele rodzajów oddziaływań, ale wszystkie mogą zostać opisane i zmierzone przy pomocy sił. Siła jest miarą oddziaływania. Oddziaływania są wzajemne, to znaczy wywołując pewną akcję za pomocą działającej siły, musimy spodziewać się reakcji układu, na który działamy.
2. Trzecia zasada dynamiki Newtona mówi, że gdy ciało A działa na ciało B pewną siłą, to ciało B działa na ciało A siłą o tej samej wartości, tym samym kierunku, lecz przeciwnym zwrocie. Siły te nie mogą się równoważyć, ponieważ przyłożone są do

dwóch różnych ciał.
$\overrightarrow{F}_{\mathrm{AB}} = -\overrightarrow{F}_{\mathrm{BA}}$

3. Trzecią zasadę dynamiki Newtona nazywamy też zasadą akcji i reakcji. Każdej akcji towarzyszy reakcja równa co do wartości i kierunku, lecz przeciwnie zwrócona.
4. Trzecia zasada dynamiki towarzyszy nam na co dzień, np. podczas chodzenia, pływania, wbijania gwoździa w ścianę i wielu innych czynności. Dzięki tej samej zasadzie dynamiki latają samoloty odrzutowe i możliwe są podróże kosmiczne (trzecią zasadę dynamiki wykorzystują silniki rakietowe) w najbliższym otoczeniu Ziemi.

9. Zadania

> **Polecenie 1**
>
> W trakcie serwowania piłka tenisowa o masie $m = 56\ \mathrm{g}$ w momencie uderzenia rakietą porusza się z przyspieszeniem $a = 10\ 000 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$. Oblicz wartość siły, jaką rakieta uderza piłkę.

> **Polecenie 2**
>
> Siedzący w kajaku Marcin usiłuje za pomocą liny przyciągnąć do siebie drugi kajak, w którym siedzi Anka. Ciągnie linę siłą $100\ \mathrm{N}$. Oblicz przyspieszenie, z jakim zacznie poruszać się ciągnięty kajak. Masa typowego kajaka wynosi $m = \ 60\ \mathrm{kg}$. Czy kajak, w którym siedzi Marcin, pozostanie nieruchomy?

> **Polecenie 3**
>
> Oblicz masę wózka, który pod działaniem siły $F = \ 5\ \mathrm{N}$ porusza się z przyspieszeniem $0{,}5 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$.

> **Polecenie 4**
>
> Oblicz wartość siły, jakiej trzeba użyć, aby zwiększyć wartość prędkości ciężarówki od $18 \frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$ do $54 \frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$ w ciągu $20\ \mathrm{s}$. Masa ciężarówki wynosi $15\ \mathrm{ton}$.

Polecenie 5

Na stole stoi szklanka napełniona wodą. Łączna masa szklanki i wody wynosi $0{,}3\ \mathrm{kg}$. Na powierzchni wody położono korek o masie $0{,}01\ \mathrm{g}$, który po niej pływa. Oblicz:

1. wartość siły, którą woda działa na pływający korek;
2. wartości sił, jakimi szklanka naciska na stół przed i po położeniu korka.

10. Test

Ćwiczenie 1

Jednostką miary bezwładności ciała jest

- [ ] $\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$.
- [ ] niuton.
- [ ] dowolna wielkość fizyczna.
- [ ] $\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$.
- [ ] gram.
- [ ] jednostka masy.
- [ ] kilogram.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 2

Skutkiem działania niezrównoważonej siły jest

- [ ] ruch zmienny.
- [ ] ruch jednostajny prostoliniowy.
- [ ] przyspieszenie.
- [ ] prędkość.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 3

Chwilę po otwarciu spadochronu, skoczek opada w dół ze stałą prędkością. Oznacza to, że

- [ ] ciężar spadochronu jest mniejszy niż ciężar skoczka.
- [ ] siły oporu ruchu są większe od siły ciężkości skoczka.
- [ ] siły oporu ruchu i siła ciężkości równoważą się.
- [ ] wypadkowa sił działających na skoczka jest równa zero.
- [ ] siły oporu ruchu są mniejsze od siły ciężkości skoczka.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 4

Dokończ zdanie:
Jeśli Słońce przyciąga Jowisza pewną siłą, to Jowisz przyciąga Słońce siłą

- ◯ większą co do wartości i mającą przeciwny zwrot.
- ◯ mniejszą co do wartości i mającą przeciwny zwrot.
- ◯ równą zero.
- ◯ większą co do wartości i mającą taki sam zwrot.
- ◯ równą co do wartości i mającą przeciwny zwrot.
- ◯ równą co do wartości i mającą taki sam zwrot.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 5

Siła tarcia kinetycznego

- ◯ zależy od wielkości stykających się powierzchni.
- ◯ zależy od siły nacisku i rodzaju stykających się powierzchni.
- ◯ zależy od siły nacisku, a nie zależy od rodzaju stykających się powierzchni.
- ◯ zależy tylko od prędkości ciała.
- ◯ nie zależy od siły nacisku tylko od rodzaju stykających się powierzchni.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 6

Podczas startu rakiety z jej dysz wylatują gazy spalinowe. Oddziaływanie których ciał decyduje o tym, że rakieta startuje?

- ◯ Gazów spalinowych i Ziemi.
- ◯ Rakiety i Ziemi.
- ◯ Gazów spalinowych i powietrza.
- ◯ Gazów spalinowych i rakiety.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 7

Zwrot siły tarcia kinetycznego jest

- ☐ w ruchu przyspieszonym przeciwny do prędkości, a w ruchu opóźnionym zgodny z prędkością ciała.
- ☐ w ruchu przyspieszonym zgodny z prędkością, a w ruchu opóźnionym przeciwny do prędkości ciała.
- ☐ zawsze przeciwny do zwrotu przemieszczenia ciała.
- ☐ zawsze zgodny ze zwrotem wektora prędkości ciała.
- ☐ zawsze przeciwny do zwrotu prędkości ciała.

Powtórzenie wiadomości z dynamiki

Ćwiczenie 8

Kawałek magnesu tkwi nieruchomo na drzwiach lodówki. Oznacza to, że

- ◯ siła, jaką magnes naciska na drzwi, jest większa od ciężaru magnesu.
- ◯ wypadkowa wszystkich sił działających na magnes jest równa zero.
- ◯ siła, jaką drzwi przyciągają magnes, jest większa od ciężaru magnesu.
- ◯ siła tarcia między drzwiami a magnesem jest większa od ciężaru magnesu.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 9

Motocyklista jedzie po poziomej gładkiej szosie ze stałą szybkością $90\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$
Co można powiedzieć o siłach działających na motocyklistę?

- ☐ Siła ciągu silnika jest stała i większa od sił oporów ruchu.
- ☐ Siła ciągu silnika równoważy ciężar motocyklisty i opory ruchu.
- ☐ Wypadkowa wszystkich sił działających na motocyklistę jest równa zero.
- ☐ Siła ciągu silnika równoważy siły oporów ruchu, a siła sprężystości podłoża równoważy ciężar motocykla i motocyklisty.
- ☐ Wypadkowa wszystkich sił działających na motocyklistę jest stała.

Powtórzenie wiadomości z dynamiki

Ćwiczenie 10

Siła 4 N działając na kamień o masie 0,5 kg, nada mu przyspieszenie

- ◯ $4{,}5\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$.
- ◯ $8\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$.
- ◯ $2\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$.
- ◯ $0{,}125\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 11

Aby narciarz o masie 50 kg uzyskał przyspieszenie $5\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$, potrzebna jest siła o wartości

- ◯ 25 N.
- ◯ 55 N.
- ◯ 45 N.
- ◯ 250 N.
- ◯ 10 N.
- ◯ 10 N.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 12

Przyporządkuj jednostkę do wielkości fizycznej.

współczynnik tarcia	kilogram
prędkość	kilometr na godzinę ($\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$)
masa	wielkość bezwymiarowa
przyspieszenie	niuton (N)
siła	metr na sekundę kwadrat ($\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$)

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 13

Jeśli kulka popchnięta siłą 3 N uzyskała przyspieszenie $2\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$, to znaczy, że masa tej kulki wynosiła

- [ ] $\frac{2}{3}\mathrm{kg}$.
- [ ] 5 kg.
- [ ] 0,66 kg.
- [ ] $\frac{3}{2}\mathrm{kg}$.
- [ ] 1 kg.
- [ ] 6 kg.
- [ ] 1,5 kg.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Sprawdzian wiadomości z dynamiki

Ćwiczenie 1

Kropla deszczu opada w dół z prędkością o stałej wartości $5\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$. Oznacza to, że

- [ ] siły oporu ruchu są mniejsze od siły grawitacji działającej na kroplę.
- [ ] siły oporu ruchu są większe od siły grawitacji działającej na kroplę.
- [ ] siły oporu ruchu i siła ciężkości kropli równoważą się.
- [ ] siły działające na kroplę równoważą się.
- [ ] wypadkowa sił działających na kroplę jest stała i zwrócona pionowo w dół.
- [ ] wypadkowa sił działających na kroplę jest równa zero.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 2

Jeśli naelektryzowana linijka, umieszczona nad kartką papieru ciągnie ją w górę pewną siłą, to kartka ciągnie linijkę siłą

- ( ) równą zero.
- ( ) większą co do wartości i mającą taki sam zwrot.
- ( ) o takiej samej wartości i przeciwnym zwrocie.
- ( ) równą co do wartości i mającą taki sam zwrot.
- ( ) większą co do wartości i mającą przeciwny zwrot.
- ( ) mniejszą co do wartości i mającą przeciwny zwrot.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 3

Oceń prawdziwość zdań.

	Prawda	Fałsz
Tarcie, które trzeba pokonać, aby wprawić ciało w ruch, jest większe niż to, które działa w czasie ruchu.	◯	◯
Gdy stoimy na podłodze, to my naciskamy na podłogę, a podłoga na nas nie.	◯	◯
Aby rowerzysta poruszał się ze stałą prędkością, wypadkowa sił działających na niego musi być stała i większa od zera.	◯	◯
Do zatrzymania poruszającego się samochodu nie jest potrzeba żadna siła.	◯	◯
Każda zmiana prędkości ciała wymaga działania siły.	◯	◯
Siła tarcia zawsze zwrócona jest przeciwnie do prędkości ciała.	◯	◯

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 4

Balon meteorologiczny wisi nieruchomo na pewnej wysokości nad ziemią. Oznacza to, że

- [ ] siła wyporu powietrza równoważy ciężar balonu.
- [ ] siła wyporu równoważy ciężar balonu i opory ruchu.
- [ ] siła wyporu jest większa od ciężaru balonu.
- [ ] wypadkowa wszystkich sił działających na balon jest równa zero.
- [ ] wypadkowa wszystkich sił działających na balon jest stała i różna od zera.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 5

Siła o wartości $1\ \mathrm{N}$ nada przyspieszenie $2\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$ ciału o masie

- [ ] 3 kg.
- [ ] 2 kg.
- [ ] 1 kg.
- [ ] $\frac{1}{4}\ \mathrm{kg}$.
- [ ] 0,25 kg.
- [ ] 0,5 kg.
- [ ] $\frac{1}{2}\ \mathrm{kg}$.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Polecenie 1

Ziemia przyciąga kamień o masie $1\ \mathrm{kg}$ siłą $10\ \mathrm{N}$, a kamień o masie $100\ \mathrm{kg}$ siłą $1000\ \mathrm{N}$. Oblicz przyspieszenia uzyskane przez te kamienie pod wpływem siły, jaką przyciąga je Ziemia.

Polecenie 2

Kopnięta poziomo piłka o masie $1{,}5\ \mathrm{kg}$ w momencie kopnięcia uzyskała przyspieszenie $5\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$.

1. Oblicz wartość siły kopnięcia.

2. Po nasiąknięciu wodą masa piłki wzrosła do $2\ \mathrm{kg}$. O ile większej siły musi użyć zawodnik, aby nadać jej takie samo przyspieszenie jak poprzednio?

Polecenie 3

Siła napędowa samochodu wynosi $2000\ \mathrm{N}$, a siły oporów ruchu są równe $500\ \mathrm{N}$. Przyspieszenie uzyskiwane przez samochód ma wartość $1\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$. Oblicz masę samochodu.

Praca jako wielkość fizyczna

Na łodzi żeglującej po oceanie członkowie załogi wykonują różne zadania. Nawigator odczytuje wskazania przyrządów pomiarowych i nanosi pozycję łodzi na mapę. Żeglarz podnosi zaś żagiel, ciągnąc za linę przerzuconą przez zespół kołowrotków. Według kapitana jednostki obaj wykonują swoją pracę. Czy jednak w rozumieniu fizyki obie te czynności można byłoby określić mianem pracy?

Zgodnie z definicją fizyczną człowiek stojący z reklamą firmy na ulicy i nieporuszający się, nie wykonuje żadnej pracy – nawet jeśli tablica jest duża i ciężka

Już potrafisz

- wymienić cechy wielkości wektorowej: punkt przyłożenia, kierunek, zwrot i wartość;
- uzasadnić, dlaczego siła jest wielkością wektorową;
- wykazać, że za zmianę ruchu ciała odpowiada siła;
- podać definicję jednostki siły.

Nauczysz się

- odróżniać znaczenie słowa praca w życiu codziennym i jako wielkości fizycznej;
- podawać definicję pracy jako wielkości fizycznej;
- posługiwać się dżulem [J] jako jednostką pracy;
- obliczać pracę wykonywaną przez siłę działającą w kierunku równoległym do przemieszczenia ciała.

Na pewno wielokrotnie już słyszałeś słowo praca, np. wujek szuka pracy, nauczycielka zadała pracę domową, członkiem rządu jest minister pracy itp. W przytoczonych wypowiedziach słowo praca używane jest w znaczeniu ogólnym, potocznym. Fizycy używając tego pojęcia, mają na myśli precyzyjnie określoną wielkość fizyczną. Fizyk mówi, że pracę wykonuje siła, której działanie wywołuje jakiś skutek: zmianę ruchu ciała, jego przemieszczenie, zmianę prędkości lub odkształcenie.
Każdy chyba przyzna, że im dalej przesuwamy szafę, tym większą wykonujemy pracę. Jeżeli szafa jest ciężka, a siły tarcia są duże, to wykonywana praca rośnie jeszcze bardziej.
Definicję pracy można sformułować następująco:

praca

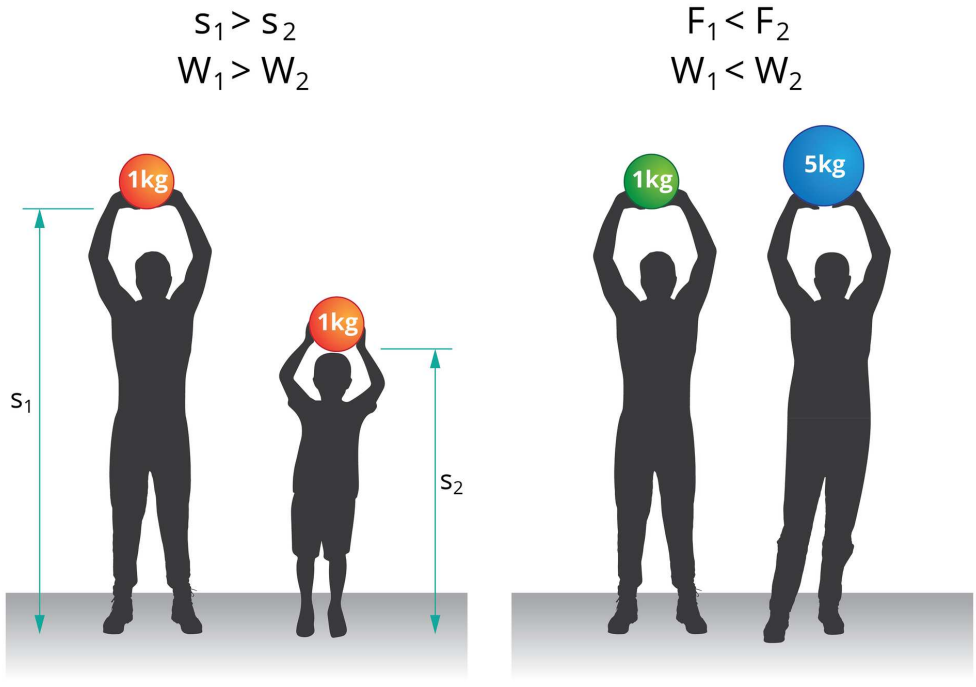
– wielkość fizyczna, która jest iloczynem siły i przemieszczenia ciała w kierunku równoległym do kierunku działania siły; pracę oznaczamy literą [W] od angielskiego słowa *work* – praca.

$$\text{praca} = \text{siła} \cdot \text{przemieszczenie}$$

lub

$$W = F \cdot s$$

Warto zauważyć, że pracę można zdefiniować wzorem i słownie na podstawie wywołanych przez nią skutków.



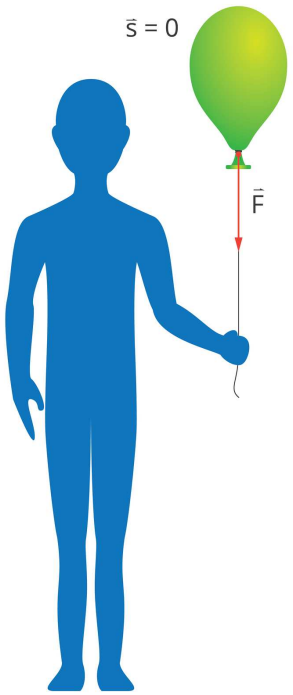
W której sytuacji praca jest większa?

Podczas podnoszenia piłki z podłogi na wysokość głowy większą pracę wykona osoba o większym wzroście (piłka zostanie przemieszczona na większą odległość). Osoba o tym samym wzroście wykona zaś większą pracę, podnosząc piłkę o większym ciężarze (musi użyć większej siły).

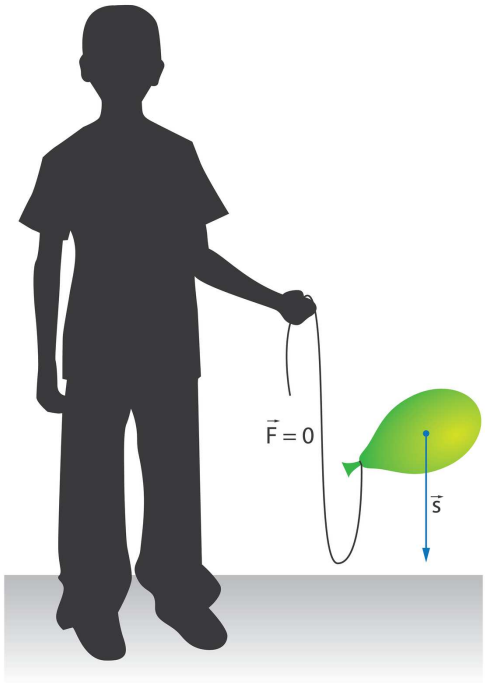
Ściśle rzecz ujmując, na wartość pracy wpływa tylko ta składowa siły, która jest równoległa do przemieszczenia. O tym, dlaczego jest to ważne i co z tego wynika, dowiesz się w dalszej części tego rozdziału.

> **Zapamiętaj!**
>
> Praca nie jest wykonywana, gdy:
>
> - nie ma przemieszczenia;
> - siła ma wartość zero;
> - siła skierowana jest prostopadle do przemieszczenia.

Łatwiej to zrozumiesz i zapamiętasz, gdy przeanalizujesz następujące przykłady:



Trzymasz w ręku napiętą linkę, do końca której przywiązany jest unoszący się nieruchomo balon. Praca siły, którą napinasz linkę, ma wartość zero, ponieważ przemieszczenie ma wartość zero.



Balon opada w dół (przez nieszczelności uciekł z niego hel), a ty trzymasz swobodnie zwisającą linkę (która nie jest naciągnięta). Twoja praca ma wartość zero, gdyż siła, z jaką działasz na balon, ma wartość zero.

Polecenie 1

We wstępie do tej lekcji opisaliśmy pokrótce zadania wykonywane przez dwóch członków załogi statku. Zadaliśmy też pytanie: Czy w rozumieniu fizyki obie te czynności można określić mianem pracy? Odpowiedź uzasadnij.

Ćwiczenie 1

Wskaż osoby wykonujące pracę zgodnie z fizyczną definicją pracy.

- [ ] Ojciec trzyma dziecko „na barana”, stojąc w miejscu.
- [ ] Listonosz wnosi paczkę na piętro.
- [ ] Krawiec prasuje spodnie.
- [ ] Nauczycielka słucha i ocenia odpowiedzi uczniów.
- [ ] Pielęgniarka wykonuje zastrzyk (naciska tłok strzykawki, przesuwając go wewnątrz cylindra strzykawki).
- [ ] Łuczniczka naciąga cięciwę łuku.
- [ ] Sztangista trzyma sztangę nieruchomo nad głową.
- [ ] Bibliotekarka przenosi książkę z niższej półki na wyższą.
- [ ] Magazynier przesuwa skrzynię, pchając ją siłą równoległą do podłogi.
- [ ] Robotnik budowlany wciąga worek z cementem, ciągnąc za linę przerzuconą przez blok.
- [ ] Dyrektor banku czyta i analizuje raport przygotowany przez księgowość.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

dżul

– jednostka pracy, która oznaczana jest literą J. Nazwa jednostki pochodzi od nazwiska angielskiego fizyka i eksperymentatora J.P. Joule’a. Praca ma wartość 1 J, jeśli siła o wartości 1 N skierowana równolegle do toru ruchu przemieści ciało na odległość 1 metra.

$$1\ \mathrm{J} = 1\ \mathrm{N} \cdot 1\ \mathrm{m}$$

Obrazowo rzecz ujmując, jeden dżul jest w przybliżeniu równy pracy, jaką wykonujemy, podnosząc tabliczkę czekolady (100 g) na wysokość jednego metra. Gdy praca jest duża,

posługujemy się wielokrotnościami tej jednostki, tj. kilodżulami [kJ] lub megadżulami [MJ].

Zajmijmy się teraz obliczaniem pracy.

> **Przykład 1**
>
> Oblicz pracę, jaką wykonuje dźwig, który powoli podnosi ze stałą prędkością element konstrukcyjny o masie m = 500 kg na wysokość 20 metrów.
>
> **Analiza zadania:**
> Praca wykonywana przez dźwig podnoszący element konstrukcyjny:
> $W = F \cdot s$.
> Do obliczenia pracy potrzebna jest znajomość siły i wartości przemieszczenia. Wartość przemieszczenia została podana w zadaniu. A co z siłą? Najmniejsza siła, jaką należy działać na ciało, aby móc podnieść je do góry, musi równoważyć jego ciężar. Wartość tej siły obliczymy więc ze wzoru na ciężar ciała:
> $F = m \cdot g$
> Do obliczenia wartości siły potrzebujemy zatem wartości masy podnoszonego ciała i przyspieszenia grawitacyjnego, a do obliczenia wartości pracy – wysokości, na jaką podnosimy to ciało.
> **Dane:**
> $m = 500\ \text{kg}$,
> $s = 20\ \text{m}$,
> $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.
> **Szukane:**
> $W = \ ?$
> **Obliczenia:**
> Siła, jaką działamy, musi być zwrócona pionowo w górę i przesunięcie elementu też odbywa się w górę. Jej wartość wynosi:
> $F = m \cdot g = 500\ \text{kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 5\ 000\ \text{N}$.
> Obliczamy wartość pracy:
> $W = F \cdot s = 5\ 000\ \text{N} \cdot 20\ \text{m} = 100\ 000\ \text{J} = 100\ \text{kJ}$.
>
> **Odpowiedź:**
> Praca wykonana przy podnoszeniu elementu konstrukcji wynosi 100 kilodżuli, czyli 100 tysięcy dżuli.

W tym miejscu można zadać pytanie, jaką pracę wykonałby dźwig, opuszczając powoli w dół, z prędkością o stałej wartości, element konstrukcyjny? Ciekawych odsyłamy do uzupełnienia zamieszczonego na końcu tej lekcji.

> **Przykład 2**

Kierowca zepsutego samochodu zepchnął go z jezdni, działając na niego siłą 700 N, i wykonał przy tym pracę 1 400 J. Oblicz, o ile metrów przesunął on swoje auto.

Analiza zadania:

Praca wykonana przez kierowcę podczas spychania samochodu: $W = F \cdot s$.

Wymagane wielkości:

F – siła,

s – odległość, na jaką został przesunięty pojazd.

Dane:

$F = 700\ \text{N}$,

$W = 1\ 400\ \text{J}$.

Szukane:

$s = \ ?$

Obliczenia:

Aby obliczyć drogę, na jakiej znana nam siła wykona zadaną ilość pracy, należy przekształcić wzór:

$W = F \cdot s / : F$

Po podzieleniu obu stron równania przez F otrzymujemy:

$\frac{W}{F} = s$

Teraz możemy przystąpić do obliczeń:

$s = \frac{W}{F} = \frac{1\ 400\text{J}}{700\ \text{N}} = 2\ \text{m}$

Odpowiedź:

Auto zostało przesunięte o 2 metry.

Polecenie 2

Oblicz pracę wykonaną przez bibliotekarkę, która przeniosła dziesięć książek (o masie pół kilograma każda) ze stołu na półkę znajdującą się jeden metr powyżej stołu.

Polecenie 3

Podczas robienia zastrzyku pielęgniarka wykonała pracę 200 J, przesuwając tłoczek strzykawki o dwa centymetry. Oblicz wartość siły, jaką pielęgniarka naciskała na tłoczek.

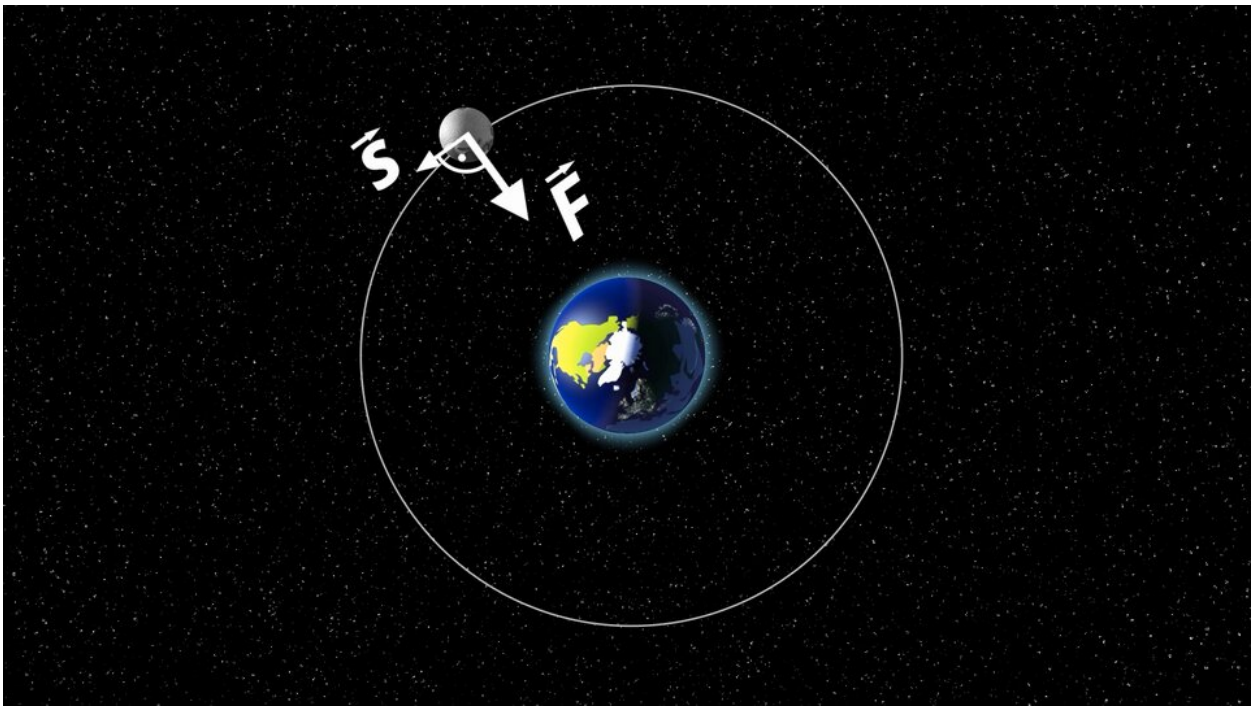
Wskazówka

Pamiętaj o zamianie jednostek.

* Jaką pracę wykonałby dźwig, opuszczając powoli element konstrukcyjny w dół?

Ciekawostka

Ziemia działa na Księżyc siłą grawitacji, utrzymując go na orbicie okołoziemskiej. Spróbujmy obliczyć pracę, jaką wykonuje ta siła.



Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

Czy Ziemia „pracuje", utrzymując Księżyc na orbicie?

Czy Ziemia „pracuje", trzymając Księżyc na orbicie?

Ziemia przyciąga Księżyc siłą o wartości około $F = 2 \cdot 10^{20}$ N, zwróconą do środka Ziemi (do środka okręgu, po którym porusza się Księżyc). W ciągu godziny Księżyc przebywa drogę ok. 3800 km. Zwróć jednak uwagę, że siła działająca wzdłuż promienia okręgu jest prostopadła do toru ruchu Księżyca. Oznacza to, że mimo ogromnej wartości siły i przemieszczenia **praca ma wartość zero**.

Warto zapamiętać, że tak jest w każdym ruchu po okręgu – praca siły skierowanej do środka okręgu ma wartość zero.

Ważne!

Dlaczego w pewnych sytuacjach praca może być dodatnia, ujemna lub równa zero (mimo wartości siły i przesunięcia różnych od zera), stanie się oczywiste po zapoznaniu się z pojęciami energii potencjalnej i kinetycznej oraz zasadą zachowania energii.

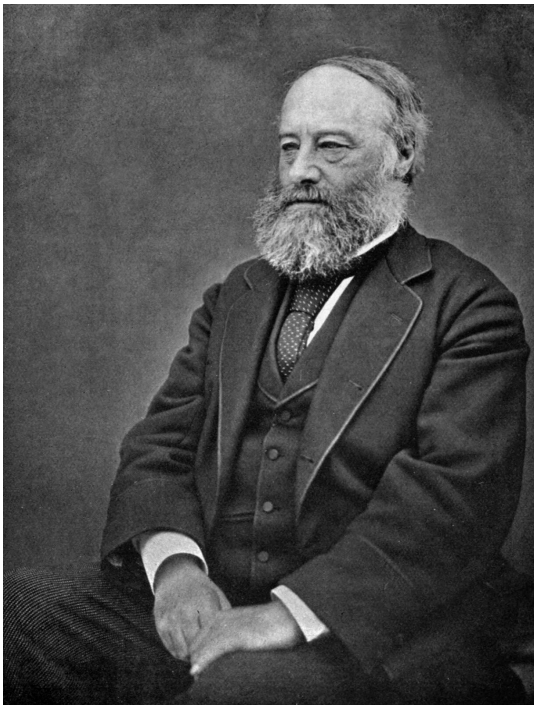
Podsumowanie

- W języku fizyki praca W to ściśle zdefiniowana wielkość fizyczna, będąca iloczynem siły F i przemieszczenia s, jeśli przemieszczenie ciała jest zgodne z kierunkiem i zwrotem działającej siły:
  $W = F \cdot s$
- Jednostka pracy nazywa się **dżul**, oznaczamy ją literą J:
  $1\ \text{dżul} = 1\ \text{niuton} \cdot 1\ \text{metr}$
  $1\ \text{J} = 1\ \text{N} \cdot 1\ \text{m}$

Praca ma wartość 1 dżula, jeśli siła o wartości 1 niutona skierowana równolegle do toru ruchu przesunie ciało na odległość 1 metra.

> **Praca domowa**
>
> > **Polecenie 4.1**
> >
> > Oblicz pracę, jaką musisz wykonać, aby przesunąć szafę o 2 metry. Siła, jaką musisz działać na szafę, ma wartość 250 N i jest równoległa do podłogi.
>
> > **Polecenie 4.2**
> >
> > Oblicz odległość, na jaką należy przesunąć ciało, aby działając siłą 120 N, wykonać pracę o wartości 3600 J.
>
> > **Polecenie 4.3**
> >
> > Piłki o jednakowych masach podniesiono na różne wysokości: pierwszą na wysokość 30 cm, a drugą – 90 cm. W której sytuacji wykonana praca była większa i ile razy? Odpowiedzi uzasadnij.
>
> > **Polecenie 4.4**
> >
> > Piłki o masach 1 i 5 kg podniesiono na jednakową wysokość. W której sytuacji wykonana praca była większa i ile razy?

Biogram



Fizyk angielski, którego prace stały się podstawą nauki o cieple (termodynamiki)

James Prescoult Joule

24.12.1818–11.10.1889

Joule urodził się w rodzinie piwowara. Ze względu na słabe zdrowie naukę w szkole rozpoczął dopiero w wieku 15 lat, pracując jednocześnie w browarze, gdzie zorganizował sobie pracownię fizyczną. Gdy miał 19 lat, ogłosił pierwszą samodzielną pracę naukową opisującą silnik elektryczny własnego pomysłu. Początkowo interesował się zagadnieniem ciepła, a szczególnie zamianą energii mechanicznej na ciepło – wyznaczył mechaniczny równoważnik ciepła. Następnie zajął się badaniem termicznych skutków przepływu prądu, co doprowadziło do powstania znanego dziś prawa Joule'a, według którego ilość ciepła wytworzonego przez prąd jest proporcjonalna do kwadratu natężenia prądu, czasu jego przepływu i oporu przewodnika. J.P. Joule za swoje dokonania otrzymał od królowej angielskiej nagrodę w postaci dożywotniej pensji.

Moc jako szybkość wykonywania pracy

Jeżeli dwie osoby podnoszą ciało o ciężarze 100 N, to mówimy, że są jednakowo silne. Jeżeli podniosą je na wysokość jednego metra, to wykonają taką samą pracę. A jeżeli jedna z nich podniesie ten ciężar w czasie 1 sekundy, a druga w czasie 2 sekund, to czym się różnią prace wykonane przez te osoby? Która osoba jest silniejsza i czy oznacza to, że jest ona mocniejsza?

Gdy kupujesz elektronarzędzia lub sprzęt AGD, często bierzsz pod uwagę ich moc. Czy wiesz jednak, co tak naprawdę oznacza ten termin?

Już potrafisz

- stwierdzić, że pracę wykonuje siła równoległa do przemieszczenia;
- podać definicję pracy i obliczyć jej wartość jako iloczyn siły i przesunięcia;
- podać definicję jednostki pracy w układzie SI;
- wyrażać czas w sekundach, które są jednostką w układzie SI.

Nauczysz się

- podawać definicję mocy i jej jednostki;
- przeliczać jednostki mocy;
- obliczać moc urządzenia wykonującego pracę.

moc

– wielkość fizyczna wyrażona liczbowo jako iloraz pracy i czasu jej wykonania:

$$\text{moc} = \frac{\text{praca}}{\text{czas wykonania tej pracy}}$$

lub

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

Moc informuje nas, ile pracy może wykonać dane urządzenie lub osoba w określonej jednostce czasu, np. w ciągu sekundy. Jeżeli w poszczególnych sekundach wykonana praca jest różna, to z powyższej zależności obliczymy średnią moc.

Co to znaczy, że jakieś urządzenie ma większą moc? Oznacza to, że taką samą pracę może wykonać w krótszym czasie, czyli szybciej niż urządzenie o mniejszej mocy, lub też w tym samym czasie wykona większą pracę.

wat

– jednostka mocy (W); urządzenie ma moc 1 wata [W] jeśli w ciągu 1 sekundy [s] wykona pracę 1 dżula [J], czyli:

$$1\ \mathrm{W} = \frac{1\ \mathrm{J}}{1\ \mathrm{s}}$$

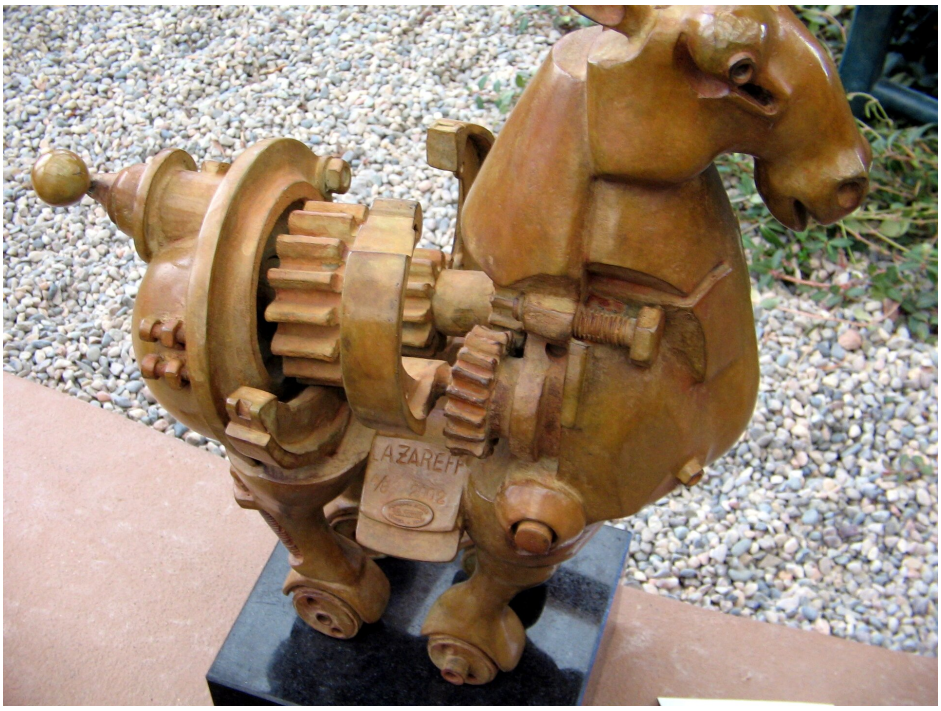
Nazwa tej jednostki pochodzi od nazwiska szkockiego inżyniera i konstruktora Jamesa Watta.
W przypadku występowania dużych mocy używamy jednostki tysiąc razy większej, czyli kilowatów (np. moc silnika tramwajowego wynosi 200 kW) lub megawatów (np. elektrownia ma moc 1200 MW), a małe moce wyrażamy w miliwatach (moc lecącej muchy ma wartość 0,3 mW).

Ciekawostka

W motoryzacji jako jednostki mocy tradycyjnie używa się jeszcze koni mechanicznych [KM]. Zbliżoną co do wartości do konia mechanicznego jednostkę mocy zdefiniował James Watt. Jest to tzw. **koń parowy** [HP]. Zależność pomiędzy tymi jednostkami jest następująca:

$$1\ \mathrm{KM} = 735{,}49875\ \mathrm{W} = 0{,}9863\ \mathrm{HP}$$

Moc $1\ \mathrm{KM}$ odpowiadała mocy zaprzęgu z jednym koniem, $2\ \mathrm{KM}$ – z dwoma końmi itd. Jest to tzw. moc brutto konia, liczona z pominięciem rozmaitych strat. Do zapisu wartości mocy używa się też często skrótu niemieckiego – PS.



Fizyka inspiruje również artystów

Ćwiczenie 1

Połącz w pary te liczby mianowane, które wyrażają tę samą moc.

30 mW	0,0003 W
0,3 mW	3000000 W
3 MW	0,03 W
300 kW	300000 W

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Doświadczenie 1

Problem badawczy

- Czy to, jak szybko człowiek wykonuje pracę, zależy jego masy?
- Czy szybkość wykonywania pracy (moc), przypadająca na 1 kg masy ciała człowieka jest zawsze taka sama?

Hipoteza

- Człowiek o większej masie szybciej wykona taką samą pracę (ma większą moc).
- Moc przypadająca na 1 kg masy ciała człowieka jest w przybliżeniu taka sama.

Co będzie potrzebne

- linijka;
- stoper;
- waga łazienkowa.

Instrukcja

1. Wybierz mało uczęszczaną klatkę schodową o różnicy wysokości dwóch pięter.
2. Policz liczbę schodów między dwoma piętrami *N*.
3. Linijką zmierz wysokość jednego stopnia schodów *h*. Najlepiej zmierz wysokość kilku różnych stopni $h_1, h_2 \text{i } h_3$ i oblicz średnią wysokość pojedynczego stopnia $h_{\text{śr}}$. Wysokość

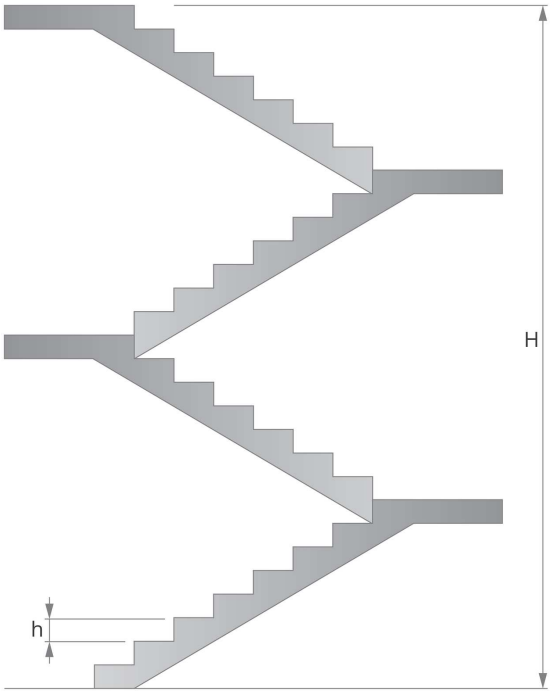
tę wyraź w metrach. Pamiętaj o zaokrągleniu wyników obliczeń do dwóch miejsc po przecinku (dokładność pomiaru nie powinna przekraczać jednego centymetra).

4. Wyznacz swoją masę *m* i wyraź ją w kilogramach [kg].

5. Stoperem zmierz czas, w którym wbiegasz na drugie piętro *t*. Wyraź go w sekundach [s] z dokładnością do jednego miejsca po przecinku.

6. Po odpoczynku możesz powtórzyć pomiar czasu, a do dalszych obliczeń wziąć jego wartość średnią. Pamiętaj o zaokrągleniu wyników obliczeń do jednego miejsca po przecinku.

7. Oblicz pokonaną wysokość *H*, mnożąc liczbę schodów *N* i wysokość pojedynczego stopnia: $H = N \cdot h$. Wynik podaj w metrach [m] z dokładnością do jednego miejsca po przecinku.



Jak zmierzyć wysokość schodów?

8. Oblicz pracę wykonaną podczas biegu: $W = m \cdot g \cdot H$. Wynik podaj w dżulach z dokładnością do jednego dżula [J].

9. Oblicz moc, z jaką pracowałaś/eś podczas biegu: $P = \frac{W}{t}$. Wynik podaj w watach z dokładnością do jednego wata [W].

10. Oblicz moc przypadającą na 1 kilogram twojej masy: $\frac{P}{m}$. Wynik podaj w watach na kilogram [kg] z dokładnością do jedności.

11. Wyniki pomiarów i obliczeń wpisz do tabeli pomiarów.

Tabela pomiarów

N	$h[\mathrm{m}]$	$h_{śr}[\mathrm{m}]$	$m[\mathrm{kg}]$	$t[\mathrm{s}]$	$H = N \cdot h_{śr}[\mathrm{m}]$	$W = m \cdot g \cdot H[\mathrm{J}]$	$P =$
	$h_1 =$						
	$h_2 =$						
	$h_3 =$						

Podsumowanie

1. Zbierz informacje o wynikach pomiarów uzyskanych przez inne osoby z klasy i przedstaw je w formie tabeli. Wpisuj wyniki, zaczynając od osoby o najmniejszej, a kończąc na osobie o największej masie.

Zebrane wyniki pomiarów wszystkich uczestników doświadczenia

$L.p.$	$m[\mathrm{kg}]$	$P = \frac{W}{t}[\mathrm{W}]$	$\frac{P}{m}\left[\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{kg}}\right]$
1			
2			

$L.p.$	$m[\mathrm{kg}]$	$P=\frac{W}{t}[\mathrm{W}]$	$\frac{P}{m}\left[\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{kg}}\right]$
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

2. Przeanalizuj liczby w tabeli i zapisz wnioski:

    1. Jeśli wraz ze wzrostem masy ciała (druga kolumna tabeli) rośnie moc (trzecia kolumna tabeli), zapisz, że pierwsza z hipotez jest prawdziwa. Wniosek będzie

więc brzmiał: *Człowiek o większej masie ma większą moc*. Jeśli wyniki w tabeli tego nie potwierdzają – napisz, że pierwsza z hipotez nie została potwierdzona.

2. Jeśli liczby zawarte w ostatniej kolumnie są w przybliżeniu takie same, zapisz, że druga z hipotez jest prawdziwa. Wniosek będzie więc brzmiał: *Moc przypadająca na 1 kg masy ciała człowieka jest w przybliżeniu taka sama*. Jeśli liczby w ostatniej kolumnie znacznie się różnią, zapisz, że druga z hipotez nie została potwierdzona. Pamiętaj, że wyniki pomiarów obarczone są niepewnością pomiarową i do potwierdzenia hipotezy liczby w ostatniej kolumnie nie muszą być idealnie takie same.

3. Jeśli zebrane przez ciebie dane nie potwierdzają żadnej z postawionych hipotez, zastanów się, co może być tego przyczyną. Może należy rozdzielić pomiary chłopców od pomiarów dziewczynek? Może nie wszyscy uczniowie w klasie mają tyle samo lat? A może są wśród was utalentowani, wytrenowani sportowcy i to ich wyniki znacząco odbiegają od wyników przeciętnego nastolatka? Zapisz w dwóch, trzech zdaniach swoje przemyślenia.

Przejdźmy teraz do obliczeń. Oto przykłady.

Przykład 1

Z jaką mocą pracuje człowiek, który w ciągu pół godziny wykonuje pracę $360\ \text{kJ}$?
Analiza zadania:
Moc, z jaką pracuje człowiek, obliczamy według wzoru: $P = \frac{W}{t}$.
Wymagane wielkości:
W – wykonywana praca;
t – czas wykonania pracy.
Dane:
$W = 360\ \text{kJ} = 360\ 000\ \text{J}$,
$t = 0{,}5\ \text{h} = 1\ 800\ \text{s}$.
Szukane:
$P = ?$
Zwróć uwagę, że przed przystąpieniem do obliczeń należało zamienić jednostki czasu z godzin na sekundy. Teraz przystąpmy do obliczeń.
Obliczenia:
$P = \frac{W}{t} = \frac{360\ 000\ \text{J}}{1\ 800\ \text{s}} = 200\ \text{W}$.
Odpowiedź:
Człowiek pracował z mocą $200\ \text{W}$.

Przykład 2

Oblicz pracę, jaką wykona silnik odkurzacza o mocy $1{,}2\ \mathrm{kW}$ w ciągu 20 minut.

Analiza zadania:

Moc silnika odkurzacza obliczymy ze wzoru: $P = \frac{W}{t}$.

Wzór ten po przekształceniu pozwoli nam obliczyć pracę.

$P = \frac{W}{t} \ / \cdot t$

$P \cdot t = \frac{W}{t} \ \cdot t$

$P \cdot t = \frac{W}{t} \ \cdot t$

$W = P \cdot t$

Pracę silnika odkurzacza obliczymy więc ze wzoru: $W = P \cdot t$.

Wymagane wielkości:

P – moc odkurzacza,

t – czas pracy odkurzacza.

Dane:

$P = 1{,}2\ \mathrm{kW} = 1\ 200\ \mathrm{W}$,

$t = 20\,\mathrm{min} \ = 1200s$.

Szukane:

$W =?$

Możemy zatem przystąpić do obliczeń.

Obliczenia:

$W = P \cdot t = 1\ 200\ \mathrm{W} \cdot 1\ 200\ \mathrm{s} = 1\ 440\ 000\ \mathrm{J} = 1{,}4\ \mathrm{MJ}$.

Odpowiedź:

Silnik wykonał pracę 1 miliona 440 tysięcy dżuli, czyli 1,4 megadżuli.

Polecenie 1

Obejrzyj film i wzorując się na rozumowaniu Młodego Fizyka, odpowiedz na pytanie: czy silniejszy zawsze oznacza to samo co mocniejszy?

Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

Czy silniejszy znaczy to samo co mocniejszy?

Dwóch młodych mężczyzn Filip i Paweł przechwala się przed sobą. Filip mówi: ja mogę 100 kilogramowy worek ziemniaków wnieść na pierwsze piętro. Nad jego głową pojawia się dymek, a w dymku animacja: mięśniak niosący do góry, po schodach wielki worek ziemniaków. Pot z niego kapie, idzie bardzo powoli. Na worku napis „100 kg". Filip ma wygląd kulturysty, Paweł chudego, wysokiego biegacza. Paweł : ty z tym workiem ledwo idziesz a ja błyskawicznie wbiegam na czwarte piętro. Mogę nawet mieć 10 kilowy plecak. Nad jego głową pojawia się dymek a w dymku animacja: bystronogi chudzielec wbiega po 2-3 stopnie po schodach do góry. Na plecach plecak z napisem 10 kg. F: też mi wyczyn! Przecież biegnąc prawie nic nie niesiesz. 2c.P: Jak to nie. Plecak może nie taki ciężki ale zobacz jak szybko posuwam się do góry. F: Eeee, spróbowałbyś z worem, tak jak ja… P: patrz! Idzie Młody fizyk. On nam naukowo wykaże kto jest lepszy. W kadr wchodzi Młody Fizyk o wyglądzie kujona (okularki, lekko nieobecny wyraz twarzy i wzrok itp.) Cześć, część, sie ma. witają się P: fizyk, powiedz kto jest lepszy. Ja wbiegam na 4. piętro w 20 sekund z 10 kilogramowym plecakiem F: a ja w pół minuty wnoszę 100 kilo ziemniaków na 1. piętro. To nie takie proste. Powiedzcie mi ile sami ważycie. F: ja 80 kg, same mięśnie, ani grama tłuszczu P: ja 50 kg, tłuszczu też specjalnie nie widać Nie da się ukryć, że twoja siła Filipie jest imponująca. Razem z masą

swego ciała niesiesz 180 kg i jeszcze idziesz po schodach. Ty Paweł, chyba byś się rozpłaszczył na ziemi pod takim ciężarem, jaki dźwiga Filip więc nawet nie próbuj. Filip promienieje: zadowolony, dumny wyraz twarzy, ujmuje się pod boki, trąca Pawła i mówi: słuchaj Mądrego słabeuszu! Paweł milczy speszony. MF kontynuuje: ale siłą to nie wszystko. Policzmy, który z was wykonuje więcej pracy. Wyciąga tablet i zaczyna „klikać" w ekran. F i P zaglądają mu przez ramię. W prawym, górnym rogu inset z ekranem tabletu. Nie musi to być real foto ekranu, tylko coś podobnego do zrzutu ekranu. MF: pracę liczymy mnożąc siłę działającą w kierunku przesunięcia i to przesunięcie. Na tablecie/insecie pojawia się wzór: który dalej zostaje na ekranie. Siła, którą musi działać każdy z was jest równa waszemu ciężarowi plus ciężar niesionego ładunku. Ciężar liczymy mnożąc masę przez przyspieszenie ziemskie, więc: Wzór uzupełnia się: Praca Filipa wynosi: Wzór uzupełnia się Filip: Praca Pawła wynosi: Wzór uzupełnia się Paweł: Licząc uwzględniłem już wasze własne ciężary i to, że Paweł przebył 4 razy większą drogę niż Filip. Przyjęcie 4 metrów jako wysokości jednego piętra jest przybliżone ale rozsądne. popatrz Filipie; Paweł choć dźwigał tylko mały plecak, to wykonał więcej pracy od ciebie. to jeszcze nie wszystko. Policzmy moc rozwijaną przez każdego z was. Moc to ilość pracy wykonywana w jednostce czasu więc obliczymy ją dzieląc wykonaną pracę przez czas jej wykonania. Pojawia się wzór: liczymy. Dla Filipa Wzór się uzupełnia: dla Pawła:Wzór się uzupełnia: Paweł rozwija znacznie większą moc. Uwaga: wszystkie obliczenia są cały czas widoczne w insecie. Nic nie znika, tylko przybywają kolejne wzory. Filip ma zaskoczoną minę. Paweł promienieje. Trąca Filipa mówiąc: słuchaj Mądrego mięśniaku. fizyk mówi do kolegów. Inset z obliczeniami cały czas widoczny. Jak widzicie w fizyce siłą i moc, to nie to samo. Silny to nie to samo co mocny. Ty Filipie dysponujesz siłą atlety ale już nie tak wielką mocą. Za to ty, Pawle choć możesz działać znacznie mniejszą siłą, to bardzo szybko wykonujesz pracę co skutkuje dużą wartością mocy. To prawdziwie mistrzowski wynik. Jak widzicie duża siła nie zawszę oznacza także dużą moc. A więc koledzy wasz spór pozostaje nierozstrzygnięty: każdy z was jest lepszy w czym innym i nie można tego porównywać.

Przykład 3

Aby jechać po poziomym torze ze stałą szybkością $5\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$, rowerzysta musi pokonywać opory ruchu o wartości $50\ \mathrm{N}$. Z jaką mocą musi pracować rowerzysta?

Analiza zadania:

Moc rowerzysty: $P = \frac{W}{t}$.

Droga przebyta przez rowerzystę: $s = v \cdot t$.

Praca rowerzysty: $W = F \cdot s = F \cdot v \cdot t$.

Wymagane wielkości:

F – siła,

v – prędkość.

Dane:

$F = 50\ \mathrm{N}$,

$v = 5\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$.

Szukane:
$P = ?$
Obliczenia:
Moc można obliczyć, korzystając ze wzoru:
$P = \frac{W}{t}$.
Wzór na pracę można podstawić do wzoru na moc. Otrzymujemy wówczas zależność:
$P = \frac{F \cdot s}{t} = F \cdot \frac{s}{t}$.
Zwróć uwagę, że wyrażenie $\frac{s}{t}$ oznacza wartość prędkości, zatem otrzymujemy zależność:
$P = F \cdot v$.
A zatem:
$P = F \cdot v = 50\ \mathrm{N} \cdot 5 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} = 250\ \mathrm{W}$.
Odpowiedź:
Rowerzysta pracował z mocą 250 watów.

Podsumowanie

- Moc to szybkość wykonywania pracy, **czyli jest równa liczbowo pracy wykonanej w jednostce czasu**. Moc P jest równa ilorazowi pracy W i czasu t, w którym ta praca została wykonana:
  $P = \frac{W}{t}$
- Jednostką mocy w układzie SI jest **wat**. Urządzenie ma moc jednego wata, jeśli w ciągu sekundy wykonuje pracę jednego dżula:
  $1\ \mathrm{W} = \frac{1\ \mathrm{J}}{1\ \mathrm{s}}$

Praca domowa

Polecenie 2.1

Aby rozładować towar z samochodu dostawczego, trzeba wykonać pracę $900\ \mathrm{MJ}$. Oblicz czas, w jakim pracę tę wykona maszyna o mocy $P_1 = 300\ \mathrm{kW}$, a w jakim maszyna o mocy $P_2 = 450\ 000\ \mathrm{W}$? Wyniki podaj w sekundach oraz w minutach.

Zadanie podsumowujące lekcję

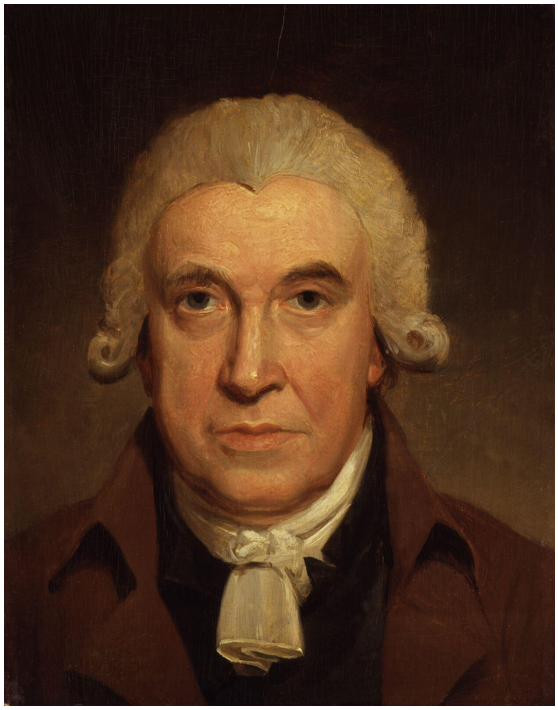
Ćwiczenie 2

Uzupełnij tekst.

Traktor ma większą moc niż koń, dlatego w tym samym czasie wykona _____ pracę niż koń. Lokomotywa spalinowa ma mniejszą moc niż elektryczna, dlatego tę samą pracę wykona w _____ czasie. Silnik o większej mocy rozpędzi samochód do tej samej prędkości w _____ czasie.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Biogram



James Watt – szkocki konstruktor i wynalazca

James Watt

19.01.1736–25.08.1819

James Watt urodził się w rodzinie cieśli i już w szkole ujawniły się jego wielkie zdolności matematyczne oraz techniczne. Pracował jako wytwórca i konstruktor przyrządów precyzyjnych najpierw w Londynie, a następnie na Uniwersytecie w Glasgow. Zasłynął jako twórca znaczących ulepszeń maszyny parowej: wydzielił komorę kondensacji pary, opracował zespół przekładni umożliwiających zastosowanie silnika parowego w pojazdach, zbudował regulator prędkości obrotowej silnika parowego (zwany regulatorem Watta).

Maszyny proste. Wyznaczanie masy ciała przy użyciu dźwigni dwustronnej

Czy możesz podnieść sam dużą szafę albo samochód lub ciężki kamień? Jest to możliwe, chociaż nie zmniejsza wcale ilości pracy do wykonania.

Maszyny proste znali już ludzie pierwotni, a ogrom ich możliwości i teoretyczne zasady działania (np. dźwigni) nieobce były starożytnym

Już potrafisz

- stwierdzić, że pracę wykonuje siła równoległa do przemieszczenia;
- obliczyć wartość pracy jako iloczynu siły i przemieszczenia;
- podać definicję jednostki pracy.

Nauczysz się

- opisywać budowę i zasady działania dźwigni dwustronnej i jednostronnej, bloku nieruchomego i kołowrotu;
- wymieniać przykłady stosowania maszyn prostych;
- wyznaczać masę ciała przy użyciu dźwigni dwustronnej;
- uzasadniać, dlaczego maszyny proste nie zmniejszają wartości wykonywanej pracy.

Od zarania dziejów człowiek starał się ułatwić sobie wykonywanie czynności służących zdobywaniu jedzenia lub ochronie przed chłodem. Oglądając pierwsze narzędzia z okresu kamienia łupanego, widzimy, że miały one kształt klina (przekrój trójkąta) – była to jedna z pierwszych maszyn prostych, jakie opracował człowiek (a przynajmniej jedna z tych, o których wiemy na podstawie badań ocalałych świadectw rozumnej i celowej działalności naszych przodków sprzed tysięcy lat).

Narzędzia o kształcie klina to jedne z najstarszych używanych przez człowieka

W starożytności wykorzystywano już dźwignie dwu- i jednostronne, pochylnie, bloczki i kołowroty. Do dziś wiele z tych narzędzi używamy nadal – bądź to bezpośrednio, bądź jako elementy bardziej złożonych konstrukcji i urządzeń.

Pierwsze urządzenia zbudowane przez człowieka wykorzystywały zasady działania maszyn prostych

Jak dziś wygląda stan naszej wiedzy o maszynach prostych?

> **maszyny proste**
>
> – urządzenia ułatwiające wykonanie pracy. Nie zmniejszają one pracy, ale umożliwiają wykonanie jej z użyciem mniejszej siły.

Ponieważ nie ma nic za darmo, mniejsza siła do wykonania tej samej pracy potrzebuje dłuższej drogi. Maszyny proste działają na podstawie tej właśnie zasady.

Do maszyn prostych należą:

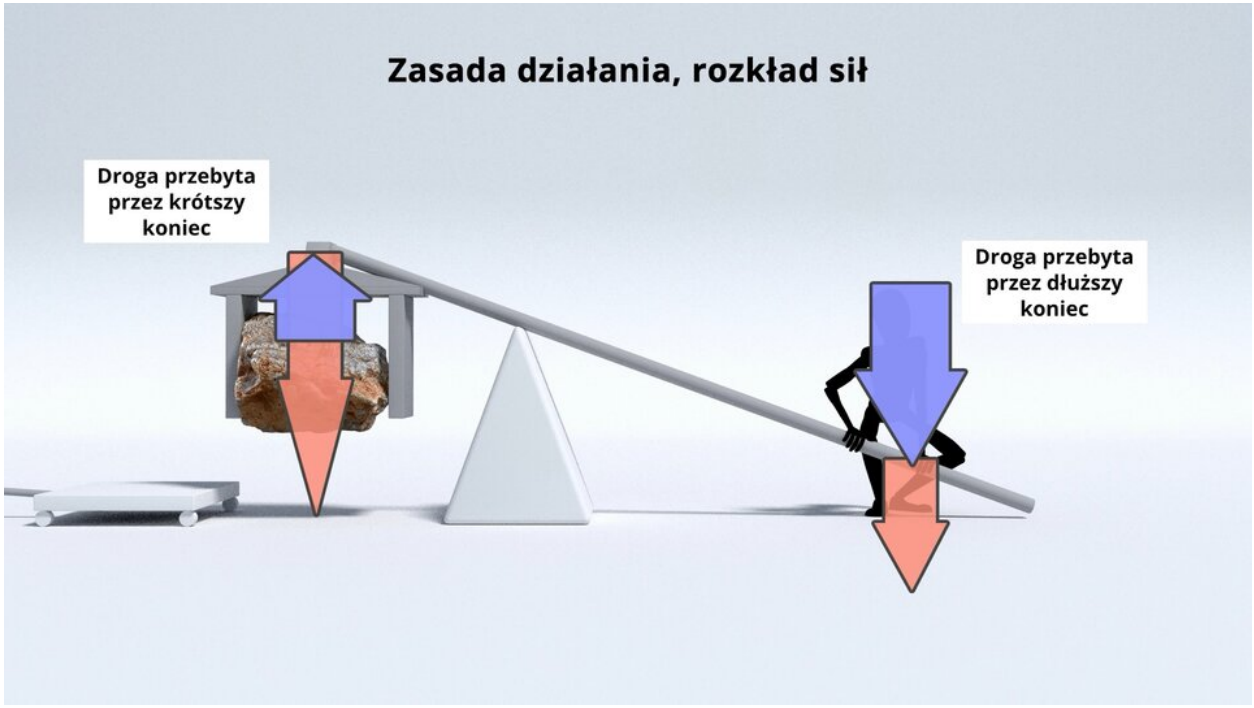
- dźwignia jednostronna,
- dźwignia dwustronna,
- blok nieruchomy,
- kołowrót,
- blok ruchomy,
- równia pochyła,
- klin,
- śruba lub ślimak,
- wielokrążek prosty i potęgowy,
- przekładnia zębata,
- mechanizm korbowy,
- prasa hydrauliczna.

W tym podrozdziale omówimy zasadę działania tylko czterech pierwszych z wymienionych maszyn prostych. Zasadę działania prasy hydraulicznej poznałeś przy realizacji tematu

„Prawo Pascala i jego zastosowanie” w podręczniku do klasy pierwszej.

1. Dźwignia dwustronna

Zacznijmy od doświadczenia. Tym razem obejrzysz je na filmie, ale może będziesz miał okazję, aby je powtórzyć.



Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

Praktyczne wykorzystanie dźwigni dwustronnej

Jak przesunąć wielki kamień?

Przedstawiony na filmie stalowy pręt ułożony w taki, a nie inny sposób, pełni rolę dźwigni dwustronnej.

> **Zapamiętaj!**
>
> Dźwignia dwustronna to sztywny pręt podparty w jednym punkcie, do którego siły są przyłożone po obu stronach punktu podparcia.

Pręt może obracać się wokół osi przechodzącej przez punkt podparcia. Odległość punktu przyłożenia siły od osi obrotu nazywamy ramieniem siły.

1.1 Warunek równowagi dźwigni dwustronnej

Doświadczenie 1

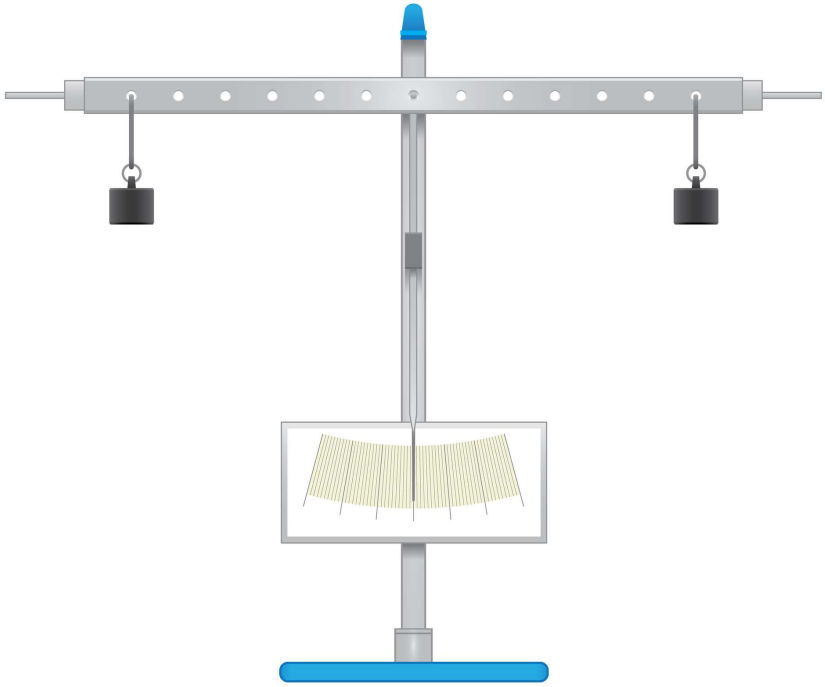
Wyznaczenie warunku równowagi dźwigni dwustronnej.

Co będzie potrzebne

- szkolny model dźwigni dwustronnej lub listewka, prosty patyk, kijek, plastikowy pręt o długości około 30 cm. Można też wykorzystać tekturową rurę, na którą była nawinięta folia spożywcza. Ważne, aby element nie był zbyt gładki i miał jednakową średnicę na całej długości;
- trzy kawałki sznurka lub mocnej nici – nie powinny być zbyt gładkie (śliskie);
- linijka;
- dziesięć jednakowych odważników. Zamiast nich można użyć dużych cukierków w papierkach, do których przywiążemy pętelki z nici. Jeśli całkowitą masę cukierków podzielimy przez ich liczbę, ustalimy masę pojedynczego cukierka.

Instrukcja

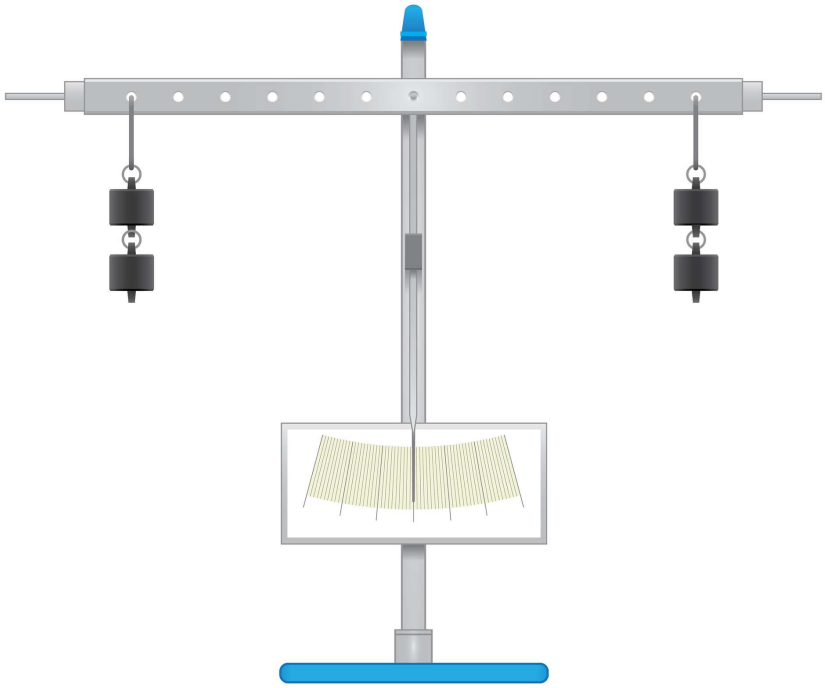
1. Zamocuj dźwignię na statywie.
2. Jeśli używasz dźwigni, którą samodzielnie wykonałeś – zaznacz jej środek, a następnie z każdej strony po sześć dwucentymetrowych odcinków, licząc od środka. Na środku listewki przywiąż sznurek i zawieś go na statywie. Widok typowej szkolnej dźwigni przedstawiono na rysunku.



Model dźwigni dwustronnej

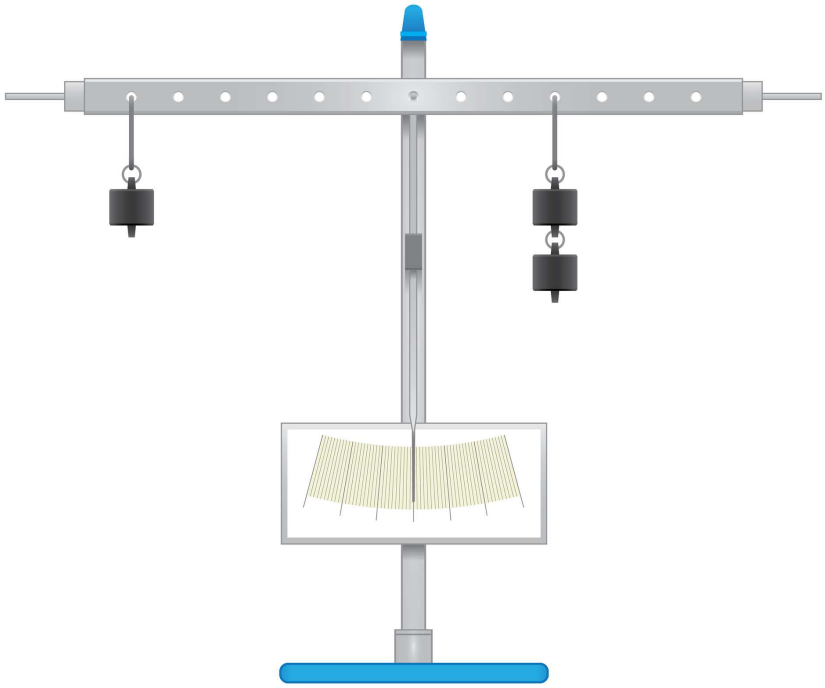
3. Po lewej stronie dźwigni na szóstym znaczniku (licząc od środka) zawieś jeden ciężarek.

4. Dobierz liczbę ciężarków, którą musisz zawiesić po prawej stronie w takiej samej odległości od środka, aby dźwignia pozostała w równowadze (listwa pozostawała pozioma).



Symetrycznie obciążona dźwignia dwustronna

5. Dobierz liczbę ciężarków, którą musisz zawiesić po prawej stronie na trzecim znaczniku, licząc od środka, aby dźwignia pozostała w równowadze (pręt wisiał poziomo).



Niesymetrycznie obciążona dźwignia dwustronna w równowadze

6. Dobierz liczbę ciężarków, którą musisz zawiesić po prawej stronie na drugim znaczniku, licząc od środka, aby dźwignia pozostała w równowadze (pręt wisiał poziomo).

7. Po lewej stronie dźwigni zawieś cztery ciężarki na piątym znaczniku, licząc od środka.

8. Dobierz liczbę ciężarków, którą musisz zawiesić po prawej stronie na czwartym znaczniku, licząc od środka, aby dźwignia pozostała w równowadze (pręt wisiał poziomo).

9. Samodzielnie dobierz kombinację liczby ciężarków i miejsc ich zawieszenia, tak aby dźwignia pozostała w równowadze.

10. Wyniki pomiarów zapisz w tabeli:

Tabela pomiarów do doświadczenia

Lewa strona	**Prawa strona**

Liczba ciężarków	Masa ciężarków $m[\mathrm{kg}]$	Siła ciężkości $F[\mathrm{N}]$	Odległość od osi obrotu $r[\mathrm{cm}]$	Iloczyn $F \cdot r$ $[\mathrm{N} \cdot \mathrm{cm}]$	Liczba ciężarków	Masa ciężark $m[\mathrm{kg}]$

11. Uzupełnij tabelę, obliczając:

    1. masę ciężarków (m = masa jednego ciężarka x liczba ciężarków), pamiętaj o wyrażeniu jej w kilogramach;

    2. siłę ciężkości ciężarków, korzystając ze wzoru $F = m \cdot g$;

    3. iloczyn siły ciężkości i odległości punktu zawieszenia ciężarków od osi obrotu dźwigni.

Podsumowanie

1. Z przeprowadzonych obserwacji widać, że dźwignia pozostaje w równowadze nawet wtedy, gdy siły przyłożone po dwóch stronach osi obrotu nie są jednakowe.

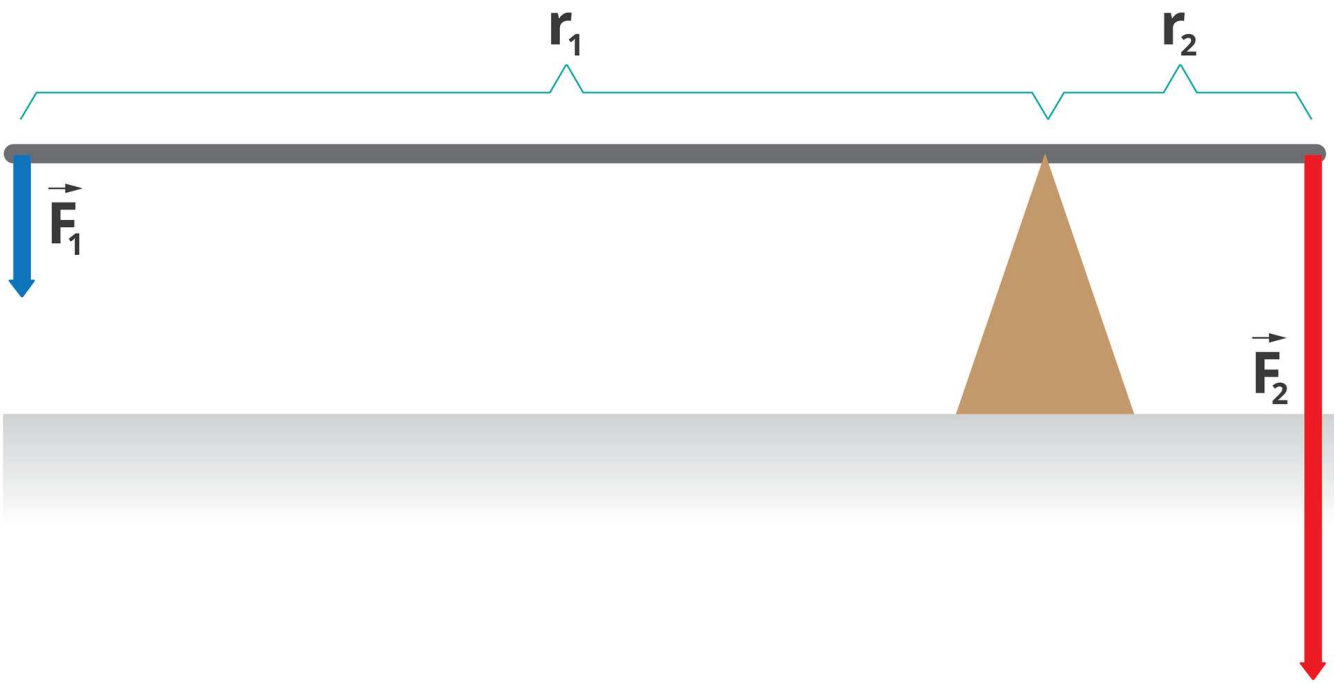
2. Dźwignia pozostaje w równowadze, gdy siły przyłożone po dwóch stronach osi obrotu mają taki sam kierunek i zwrot (działanie jednej z nich usiłuje obrócić dźwignię zgodnie z ruchem wskazówek zegara, a drugiej – przeciwnie) oraz iloczyn wartości sił i ramion tych sił jest taki sam po obu stronach osi obrotu. Wniosek ten możemy zapisać wzorem: $F_L \cdot r_L = F_P \cdot r_P$. Warunek ten jest prawdziwy dla sił prostopadłych do dźwigni, ale z takimi właśnie mieliśmy do czynienia w chwili, gdy dźwignia znajdowała się w stanie równowagi.

Zapamiętaj!

Dźwignia dwustronna pozostaje w równowadze, jeśli iloczyn siły i ramienia siły ma taką samą wartość po obu stronach punktu podparcia dźwigni, czyli:

$$F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$$

oraz siły po obu stronach osi obrotu mają taki sam zwrot i są prostopadłe do dźwigni.



Mała siła może zrównoważyć dużą siłę, jeśli ma odpowiednio duże ramię

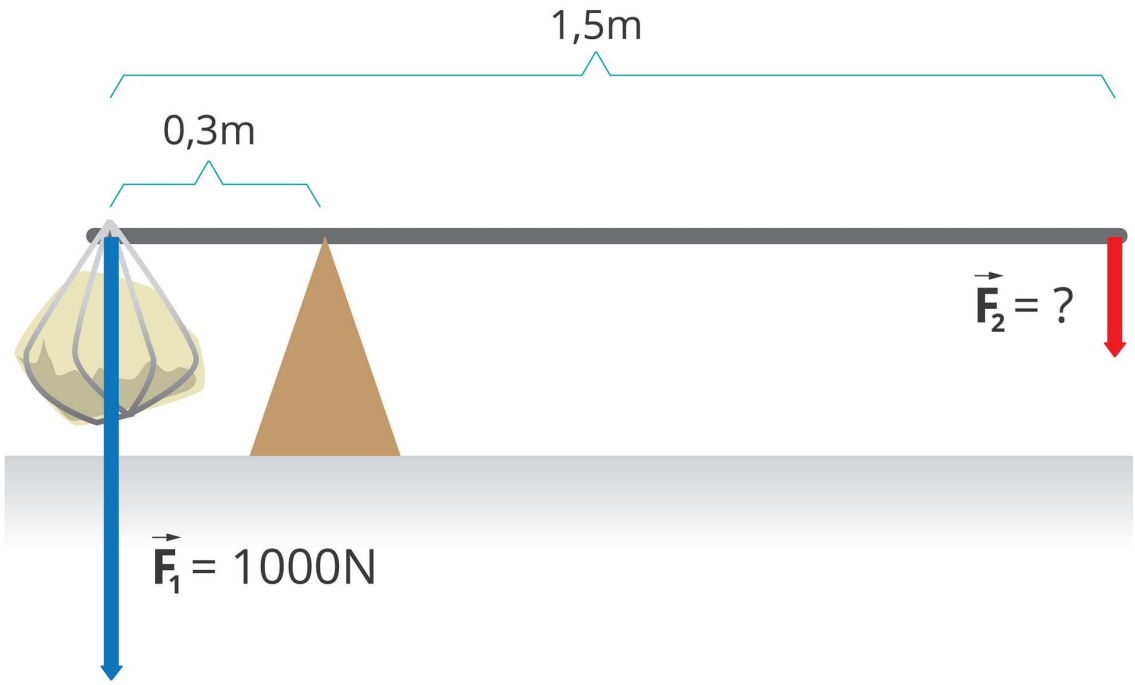
Przykład 1

Kamień, który podnoszono na pierwszym filmie, miał masę 100 kg. Do podnoszenia użyto stalowego pręta o długości 1,5 m. Punkt podparcia pręta (dźwigni) znajdował się w odległości 30 cm od końca pręta wsuniętego pod kamień. Oblicz:

- wartość siły, jaką kamień działał na koniec pręta;
- wartość siły, jaką muszą działać ręce na drugi koniec dźwigni po podniesieniu kamienia, aby dźwignia była w równowadze.

Kamień został uniesiony na wysokość 5cm. Oblicz:

- pracę wykonaną przez siłę podnoszącą kamień;
- przesunięcie w dół końca pręta, na który naciskały ręce;
- pracę wykonaną przez siłę, jaką działały ręce.



Rozkład sił na dźwigni dwustronnej podczas podnoszenia kamienia

- **Analiza zadania:**
  Praca wykonana przez pręt podczas podnoszenia kamienia wynosiła: $W_1 = F_1 \cdot s_1$.
  Praca wykonana przez ręce podczas podnoszenia kamienia wynosiła: $W_2 = F_2 \cdot s_2$.
  Warunek równowagi dźwigni dwustronnej:

  $F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$.
- **Wielkości wymagane:**
  s_1 – wysokość, na jaką podniesiono kamień;
  s_2 – odległość, na jaką przesunął się drugi koniec pręta;
  F_2 – siła, jaką ręce działają na pręt;
  r_2 – odległość między punktem podparcia a końcem dźwigni;
  F_1 – ciężar kamienia;
  r_1 – odległość między punktem podparcia a kamieniem;
  L – długość dźwigni.
- **Dane:**
  $m = 100\ \text{kg}$,
  $g = 10\frac{\text{N}}{\text{kg}}$,
  $r_1 = 30\ \text{cm} = 0{,}3\ \text{m}$,
  $L = 1{,}5\ \text{m}$,
  $r_2 = L - r_1 = 1{,}5\ \text{m} - 0{,}3\ \text{m} = 1{,}2\ \text{m}$,
  $s_1 = 5\ \text{cm} = 0{,}05\ \text{m}$.
- **Szukane:**
  $F_1 = ?$
  $F_2 = ?$
  $s_2 = ?$

$W_1 = ?$
$W_2 = ?$

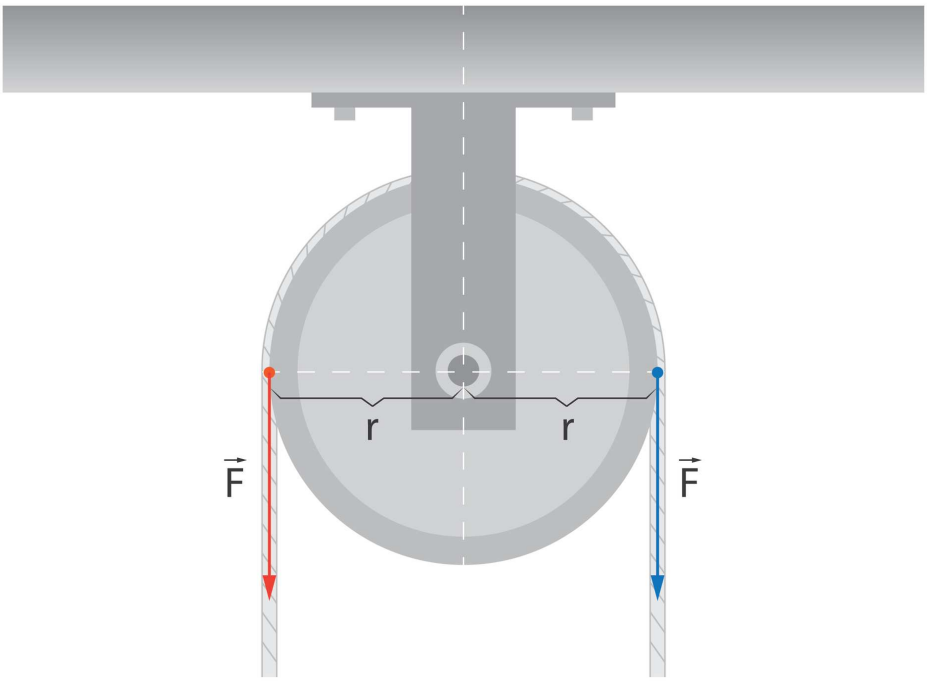
- **Obliczenia:**
  Obliczamy ciężar kamienia, czyli wartość siły F_1:
  $F_1 = m \cdot g = 100\ \text{kg} \cdot 10\frac{\text{N}}{\text{kg}} = 1\ 000\ \text{N}.$
  Teraz skorzystamy z warunku równowagi dźwigni i obliczamy siłę F_2, jaką ręce naciskają na pręt:
  $F_1 \cdot\ r_1 =\ F_2 \cdot\ r_2\ /:\ r_2$
  $F_2 = \frac{F_1 \cdot r_1}{r_2} F_2 = \frac{1\ 000\ \text{N} \cdot 0{,}3\ \text{m}}{1{,}2\ \text{m}} = 250\ \text{N}.$
  Odpowiedź 1:
  Ręce naciskały pręt siłą $250\ \text{N}$, czyli 4 razy mniejszą niż ciężar kamienia. Pracę wykonaną przez siłę, jaką pręt działał na podnoszony kamień, obliczymy ze wzoru na pracę. Należy pamiętać, że praca wykonana przez siłę podnoszącą kamień była równa iloczynowi ciężaru kamienia ($1\ 000\ \text{N}$) i wysokości, na jaką go podniesiono ($0{,}05\ \text{m}$): $W_1 = F_1 \cdot s_1 = 1\ 000\ \text{N} \cdot 0{,}05\ \text{m} = 50\ \text{J}.$
  Odpowiedź 2:
  Siła równoważąca ciężar kamienia wykonała pracę $50\ \text{J}$. Do obliczenia pracy rąk naciskających na drugi koniec pręta potrzebna jest znajomość drogi, na której ta siła działała. Na podstawie podobieństwa trójkątów po prawej i lewej stronie osi obrotu możemy zapisać następującą proporcję: $\frac{s_2}{r_2} = \frac{s_1}{r_1}$
  $\frac{s_2}{1{,}2\text{m}} = \frac{0{,}05\text{m}}{0{,}3\text{m}}$, czyli $s_2 = \frac{0{,}05}{0{,}3} \cdot 1{,}2\ \text{m} = 0{,}2\ \text{m}.$
  Zatem praca siły F_2 wynosi $W_2 = F_2 \cdot s_2 = 250\ \text{N} \cdot 0{,}2\ \text{m} = 50\ \text{J}.$
  Odpowiedź 3:
  Ręce przesunęły się w dół o $20\ \text{cm}$ i wykonały pracę o wartości $50\ \text{J}$. Widzimy więc, że praca wykonana przez siły po obu stronach dźwigni ma taką samą wartość, z tym że działając mniejszą siłą, musieliśmy pracować na dłuższej drodze.

2. Blok nieruchomy

Prawie na każdym placu budowy mamy do czynienia z praktycznym wykorzystaniem bloku nieruchomego.

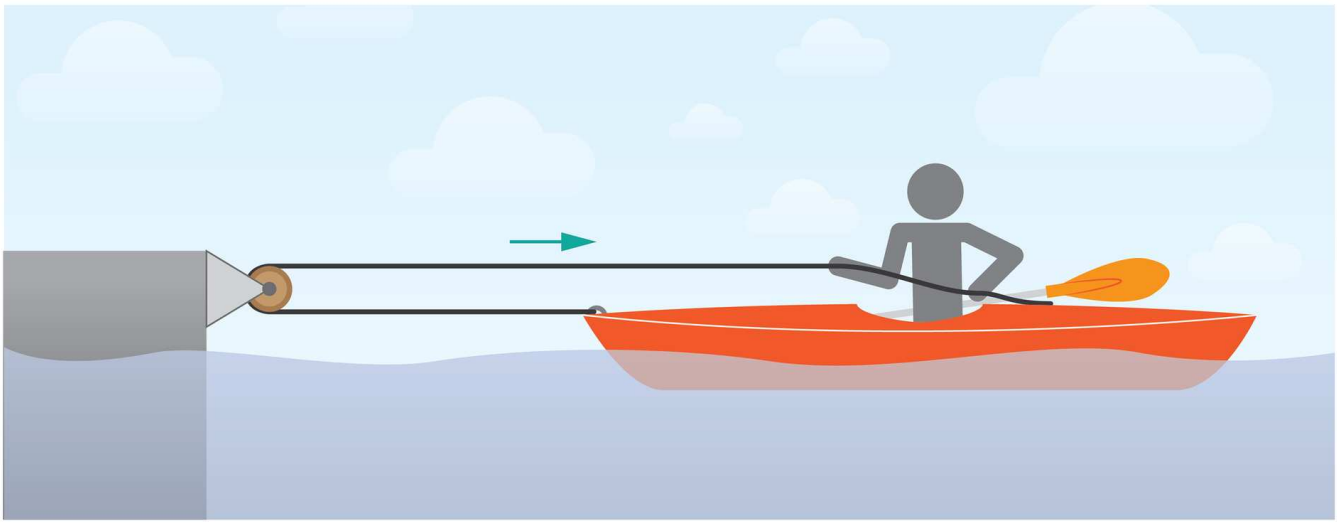
Blok nieruchomy to zamocowany na osi krążek (talerz) z przerzuconą przezeń liną. Słowo „nieruchomy” nie dotyczy ruchu obrotowego talerza, przez który przerzucono linę. Osadzony na osi krążek nie wykonuje ruchu postępowego. Jeśli się porusza, mamy do czynienia z blokiem przesuwnym (ruchomym).

Zasadę działania bloku nieruchomego ilustruje poniższy rysunek.



Zasada działania bloku nieruchomego

Blok nieruchomy jest rodzajem dźwigni dwustronnej. Ponieważ ramiona obu sił są takie same (ich wartość jest równa promieniowi koła), to podobnie jest w przypadku sił po obu stronach osi obrotu. Innymi słowy, jeśli za pomocą bloku chcemy podnieść porcję cegieł o ciężarze 300 N, to drugi koniec liny musimy ciągnąć w dół z siłą o wartości 300 N. Użycie bloku nieruchomego nie zmienia wartości siły, jakiej należy użyć, ale pozwala zmienić kierunek jej działania. Przykład takiej sytuacji pokazano na kolejnym rysunku.



Przykład wykorzystania bloku nieruchomego

Polecenie 1

Odpowiedz na pytanie: dlaczego użycie bloku nieruchomego ułatwia nam pracę, mimo że musimy działać siłą o takiej samej wartości, jakiej użylibyśmy bez korzystania z bloku?

Polecenie 2

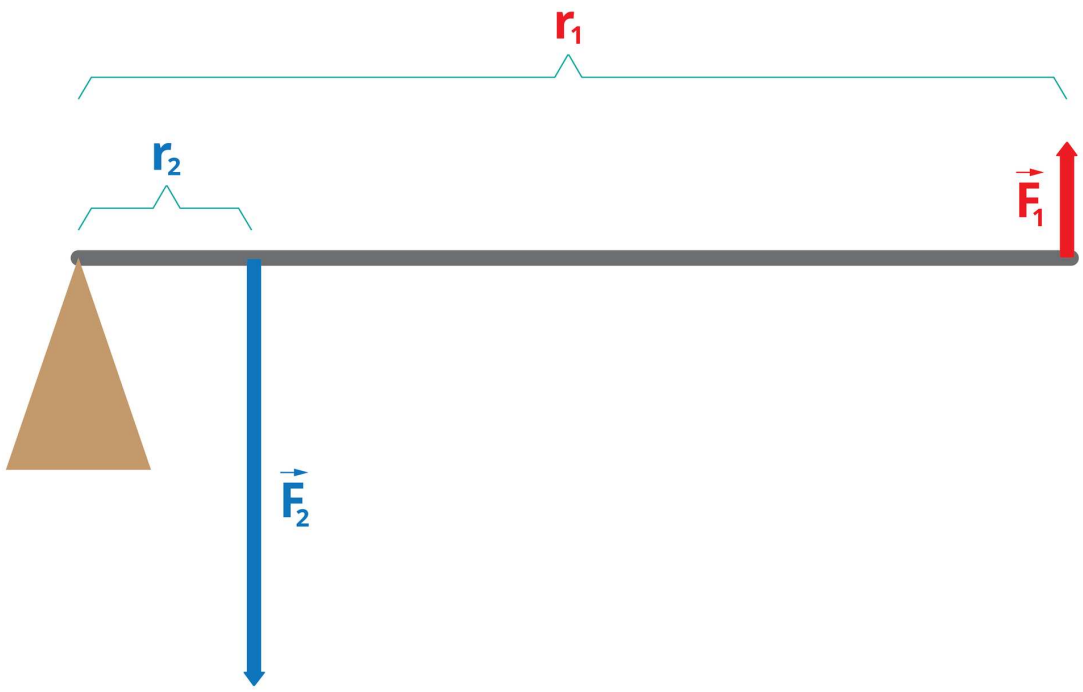
Oblicz, jaki największy ładunek może podciągnąć do góry robotnik korzystający z bloku nieruchomego. Masa robotnika wynosi $80\ \mathrm{kg}$.

3. Dźwignia jednostronna

Zapamiętaj!

Dźwignią jednostronną nazywamy sztywny pręt podparty w jednym punkcie, do którego siły są przyłożone po jednej stronie punktu podparcia.

Belka (sztywny pręt) może obracać się wokół osi przechodzącej przez punkt podparcia. W dowolnych dwóch punktach belki możemy do niej przykładać siły; będą one leżały po jednej stronie osi obrotu. Odległość punktu przyłożenia siły od osi obrotu nazywamy ramieniem siły.



Dźwignia ta różni się od dwustronnej położeniem punktu podparcia – osi obrotu. Jak wygląda warunek równowagi takiej dźwigni? Siły działające na dźwignię jednostronną muszą mieć przeciwne zwroty, tak aby działanie jednej powodowało obrót belki zgodnie z ruchem wskazówek zegara, a drugiej w kierunku przeciwnym. Ponadto iloczyny wartości siły i jej ramienia muszą mieć taką samą wartość dla obu sił, czyli:

$$F_1 \cdot r_2 = F_2 \cdot r_2.$$

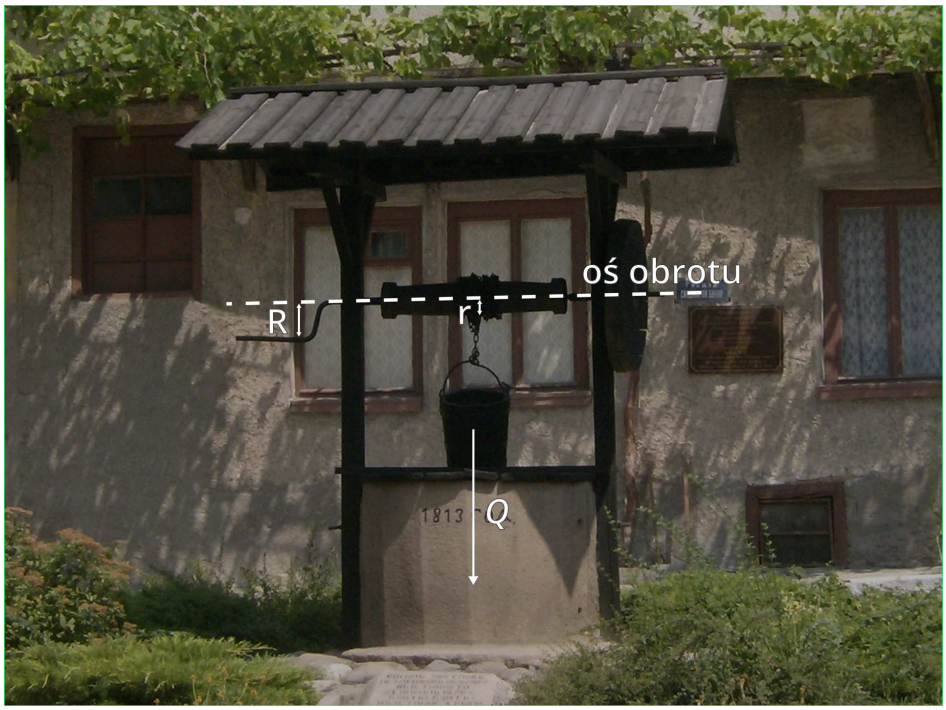
A oto kilka przykładów dźwigni jednostronnej spotykanych w naszym otoczeniu.

Przykłady zastosowań dźwigni jednostronnej w naszym otoczeniu

4. Kołowrót

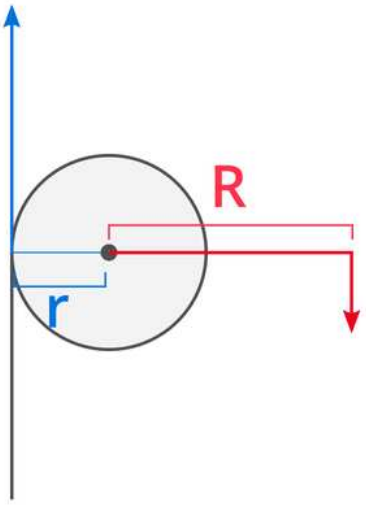
Inną maszyną prostą, dzięki której można wykonywać pracę, działając mniejszą siłą, jest kołowrót.

Kołowrót studzienny można jeszcze czasami zobaczyć na wsi, a na pewno w skansenie.



Źródło: Izvora (https://commons.wikimedia.org), Krzysztof Jaworski, licencja: CC BY 3.0.

> **Zapamiętaj!**
>
> Kołowrotem nazywamy umieszczony na osi walec o średnicy r, do którego doczepiono korbę o długości R i na który nawinięta jest lina lub łańcuch (cięgno).



Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

Jak działa kołowrót?

Jak działa kołowrót?

Widzimy więc, że kołowrót w zależności od położenia korby to na przemian dźwignia jednostronna i dwustronna. Jeśli pominiemy opory ruchu, to możemy zastosować znaną nam już zależność:

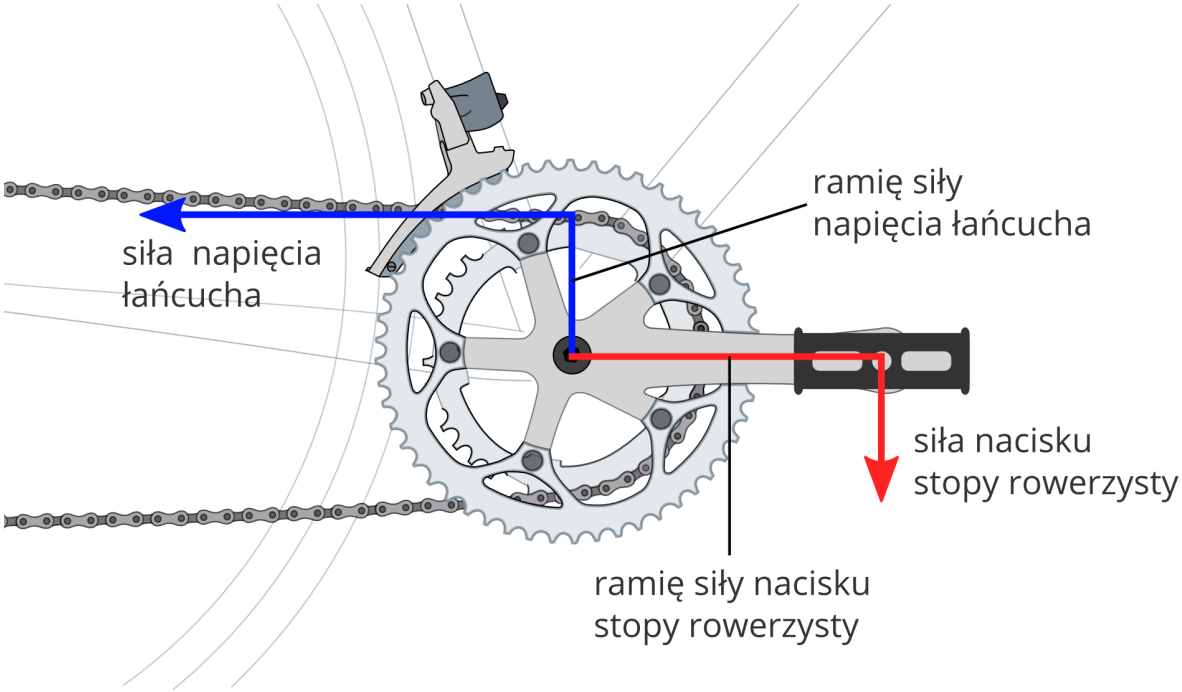
$$F_1 \cdot r = F_2 \cdot R,$$

gdzie: r – promień walca kołowrotu, R – długość ramienia korby.
Przykładając mniejszą siłę do korby o długości R, wywołamy więc działanie większej siły na cięgnie kołowrotu.

Polecenie 3

Oblicz wartość siły, jakiej trzeba użyć, aby za pomocą kołowrotu wyciągnąć ze studni wiadro z wodą o łącznej masie 15 kg. Średnica walca kołowrotu wynosi 30 cm, a korba ma długość 45 cm.

Przykładem kołowrotu, którym posługuje się chyba każdy z nas, są pedały roweru połączone korbą z tarczą zębatą, tak zwaną zębatką przednią.



Kołowrót jest przykładem maszyny prostej mającej szerokie zastosowanie również obecnie

Polecenie 4

Rowerzysta naciska na pedał roweru siłą 300 N.

1. Korba pedału ma długość 17,5 cm, a promień zębatki wynosi 8 cm. Oblicz wartość siły, jaką zębatka działa na łańcuch.

2. Odpowiedz na pytanie: co należy zrobić, aby zwiększyć tę siłę, nie zmieniając siły nacisku na pedał?

5. Wyznaczenie masy ciała za pomocą dźwigni dwustronnej

Doświadczenie 2

Wyznaczenie masy ciała za pomocą dźwigni dwustronnej, innego ciała o znanej masie i linijki.

Co będzie potrzebne

- szkolny model dźwigni dwustronnej lub prosty patyk, kijek, plastikowy pręt o długości około 30 cm. Można też wykorzystać tekturową rurę, na którą była nawinięta folia spożywcza – ważne, aby element nie był zbyt gładki i miał jednakową średnicę na całej długości;
- trzy kawałki sznurka lub mocnej nici (nie powinny być zbyt gładkie ani śliskie);
- dwie małe, jednakowe torebki foliowe;
- linijka;
- odważnik lub inny przedmiot o znanej masie – może to być torebka budyniu lub tabliczka czekolady, której masę podano na opakowaniu (ten przedmiot też będziemy nazywać odważnikiem);
- przedmiot do zważenia – na przykład piórnik.

Instrukcja

1. Na środku kijka zawiąż kawałek sznurka na tyle ciasno, by patyk sam się z niego nie wysuwał, ale na tyle luźno, by można go było przesuwać.
2. Chwyć za sznurek, podnieś patyk, sprawdź, czy wisi poziomo, a jeśli nie, przesuń nieco sznurek i sprawdź równowagę – postępuj tak aż do uzyskania idealnego wypoziomowania. Zaznacz położenie sznurka, przy którym patyk wisi poziomo.
3. Do uchwytów każdej torebki foliowej przywiąż kawałek sznurka zakończony pętelką. Pętelki muszą być na tyle duże, aby łatwo dały się nasunąć na końce patyka. To są szalki naszej wagi.

4. Do jednej szalki włóż odważnik, a do drugiej ważony przedmiot, zawieś szalki na końcach patyka i ostrożnie zacznij podnosić wagę za środkowy sznurek.

5. Jeśli waga przechyla się w jedną stronę, szalkę po tej stronie przesuń bliżej środka. Staraj się, by szalka zawierająca lżejszy przedmiot wisiała prawie na końcu patyka. Sprawdź, czy podniesiona waga jest w równowadze. Jeśli nie, powtarzaj czynność przesuwania cięższego przedmiotu aż do uzyskania równowagi.

6. Gdy szalki znajdą się w takim miejscu, że patyk wiszący na środkowym sznurku jest w równowadze – zaznacz położenia szalek.

7. Linijką zmierz odległość od środka do szalki zawierającej odważnik i zapisz:
   $r_1 = \ldots\ldots \text{ cm}$

8. Linijką zmierz odległość od środka do szalki zawierającej ważone ciało i zapisz:
   $r_2 = \ldots\ldots \text{ cm}$

9. Zapisz masę odważnika:
   $m_1 = \ldots\ldots \text{ g}$

Podsumowanie

1. Teraz przystąpimy do obliczania nieznanej masy ważonego ciała. Oznaczmy ją m_x.

2. Wiemy, że nasz patyk z szalkami zawieszony na środkowym sznurku stanowił dźwignię dwustronną, a to oznacza, że w momencie uzyskania równowagi spełniony był warunek:
   $F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$.

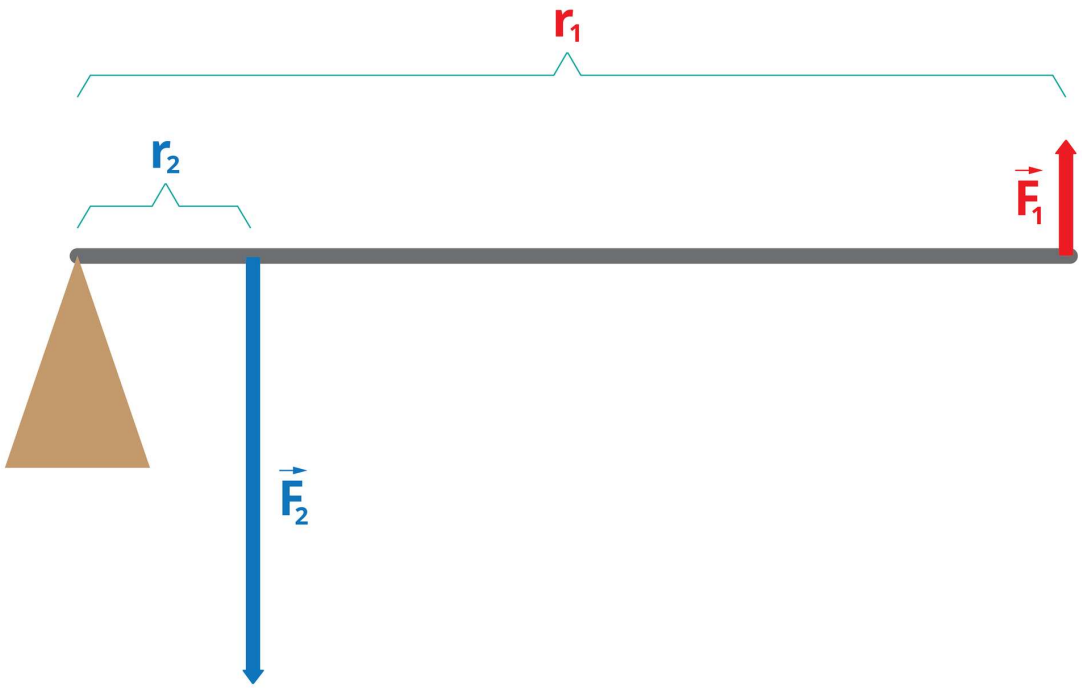
3. Siłami F_1 i F_2 są tu ciężary przedmiotów umieszczonych w szalkach, czyli:
   $F_1 = m_1 \cdot g, F_2 = m_x \cdot g$.

4. Po podstawieniu tych sił do warunku równowagi dźwigni otrzymujemy równanie:
   $m_1 \cdot g \cdot r_1 = m_x \cdot g \cdot r_2 / : g, m_1 \cdot r_1 = m_x \cdot r_2 / : r_2,$
   $m_x = m_1 \cdot \frac{r_1}{r_2}$.

5. Podstawiamy dane zanotowane podczas wykonywania pomiarów i obliczamy masę przedmiotu.

Podsumowanie

- **Maszyny proste** to urządzenia ułatwiające wykonanie pracy. Należy podkreślić, że nie zmniejszają one wykonanej pracy, ale pozwalają wykonać ją z użyciem mniejszej siły.
- Jedną z maszyn prostych jest dźwignia dwustronna. To sztywny pręt podparty w jednym punkcie, do którego siły są przyłożone po obu stronach punktu podparcia. Dźwignia dwustronna jest w równowadze, jeśli iloczyn siły i ramienia siły ma taką samą wartość dla obu stron punktu podparcia dźwigni, czyli: $F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$, oraz siły po obu stronach osi obrotu mają taki sam zwrot.
- **Blok nieruchomy** jest rodzajem dźwigni dwustronnej. To koło zamocowane na osi, przez które przerzucono linę. Ponieważ ramiona obu sił są takie same (czyli równe promieniowi koła), to również siły po obu stronach osi obrotu mają taką samą wartość. Użycie bloku nieruchomego pozwala zmienić kierunek działania siły.
- **Dźwignią jednostronną** nazywamy sztywną belkę (kij, pręt, rurę) podpartą na jednym z końców. W przypadku dźwigni jednostronnej punkty przyłożenia sił F_1 i F_2 leżą po tej samej stronie punktu podparcia. Belka może obracać się wokół osi przechodzącej przez punkt podparcia. W dowolnych dwóch punktach belki możemy przykładać siły; będą one leżały **po jednej stronie** osi obrotu.
- **Dźwignia jednostronna jest w równowadze, gdy** siły działające na dźwignię mają przeciwne zwroty, a iloczyny wartości siły i jej ramienia – taką samą wartość dla obu sił, czyli:
  $F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$



Zasada działania dźwigni jednostronnej

- Inną maszyną prostą jest **kołowrót**, czyli umieszczony na osi walec o promieniu r, do którego doczepiono korbę o długości R i na który nawinięta jest lina lub łańcuch.
- Kołowrót to na przemian dźwignia jednostronna i dwustronna. Jeśli pominiemy opory ruchu, to możemy do niego zastosować znaną nam zależność:
  $F_1 \cdot r = F_2 \cdot R$
- Oznacza to, że przykładając mniejszą siłę do korby o długości R, wywołamy działanie większej siły na cięgnie kołowrotu.

Słowniczek

blok nieruchomy

– maszyna prosta w postaci okrągłej tarczy osadzonej w obudowie obrotowo (na nieruchomej osi) i mającej na obwodzie rowek, przez który przechodzi lina. W zależności od tego, czy obudowa krążka może się z nim poruszać, czy też jest nieruchoma, rozróżnia się krążki: ruchome i nieruchome (stałe).

dźwignia dwustronna

– sztywny pręt podparty w jednym punkcie, do którego siły są przyłożone po obu stronach punktu podparcia.

dźwignia jednostronna

– sztywny pręt podparty w jednym punkcie, do którego siły są przyłożone po jednej stronie punktu podparcia.

kołowrót

– maszyna prosta będąca walcem o promieniu r z umocowaną na jego końcu korbą o ramieniu $R > r$. Osią obrotu kołowrotu jest jego oś symetrii. Na kołowrót jest nawinięta lina, której jeden koniec jest przymocowany do kołowrotu, a na drugi działa siła obciążająca Q. Siła poruszająca F działa prostopadle do ramienia korby i jest równa

$$F = \frac{r}{R} \cdot Q$$

Zadania podsumowujące rozdział

Ćwiczenie 1

Uzupełnij tekst.

Dzięki użyciu [ ] prostych wykonywanie [ ] jest łatwiejsze, ponieważ pozwalają one na użycie [ ] siły lub na pracę w wygodniejszej pozycji. Jednak nie zmniejszają one wartości [ ], gdyż wykonujemy ją na [ ] drodze.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 2

Kierując się zasadą działania, przypisz narzędzie do jednej z poniższych kategorii maszyn prostych.

Dźwignia jednostronna

Dźwignia dwustronna

Kołowrót

Blok nieruchomy

Elementy niepasujące do żadnej kategorii

kołowrotek wędkarski

ręczna wciągarka budowlana

taczki

żuchwa

waga dźwigniowa

kończyna (ręka lub noga)

sekator

dziadek do orzechów

śruba

siekiera

nożyczki

bloczek jachtowy

obcęgi

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Energia mechaniczna i jej rodzaje

W prasie i w serwisach informacyjnych często padają słowa: dostawcy energii, minister do spraw energii, zapotrzebowanie na energię, spór (czasem wojna) o energię – ale czym właściwie jest ta cała „energia”? Czy fizyka ma na to pytanie jednoznaczną odpowiedź?

Żadne z czysto fizycznych pojęć nie zrobiło aż takiej kariery w mowie potocznej, jak słowo „energia”, chociaż jego najkrótsza definicja jest prosta – to praca zmagazynowana np. przez sprężynę

Już potrafisz

- stwierdzić, że pracę wykonuje siła równoległa do przemieszczenia;
- wyrazić wartość pracy jako iloczyn siły i przemieszczenia;
- podać definicję jednostki pracy 1 dżul [J].

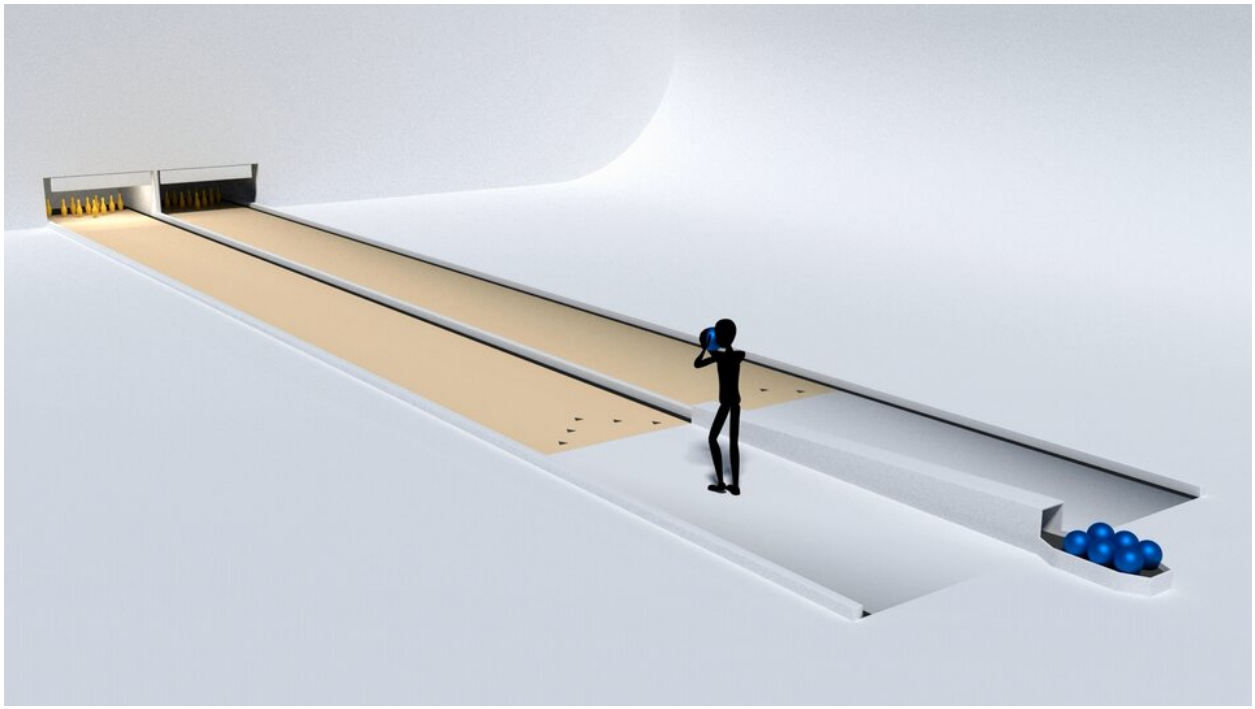
Nauczysz się

- podawać definicję energii oraz energii mechanicznej i wymieniać ich rodzaje;
- opisywać zmiany energii ciała w wyniku wykonania pracy.

Mówimy, że wykonanie jednej pracy i zmiana położenia ciała spowodowały zgromadzenie pewnej energii, dzięki której ciało to zyskało możliwość wykonania innej pracy.

Jeżeli na stole znajduje się lampa, to trudno sobie wyobrazić, aby mogła ona wykonać jakąś pracę. Gdyby jednak zawiesić ją na pewnej wysokości, to podczas spadania mogłaby ona wykonać pracę (na przykład tłukąc talerz leżący na stole pod lampą). Jednak aby zawiesić lampę, musimy ją podnieść do góry, a zatem działając pewną siłą, wykonać pracę. Jeżeli chcemy powiesić lampę wyżej, praca ta musi być większa, ponieważ działamy taką samą siłą, ale na dłuższej drodze. Wisząca na większej wysokości lampa ma większą energię i może wykonać większą pracę.

Właściwość ta jest charakterystyczna dla wszystkich ciał, które zostały podniesione nad powierzchnię Ziemi. Praca włożona w zmianę położenia tych ciał w pionie zostaje w nich „zmagazynowana", a one same mogą ją „oddać".



Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

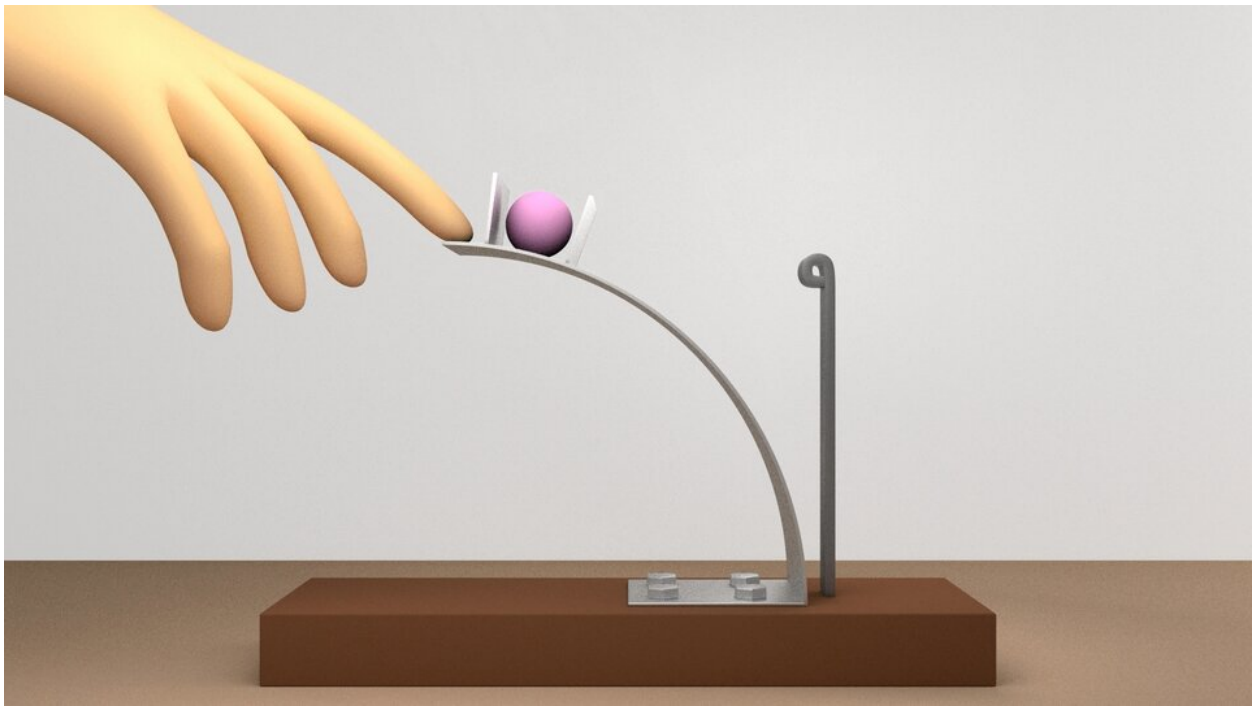
Poruszająca się kula wykonuje pracę przy przesuwaniu i przewracaniu kręgli

Kręgle

Podczas gry w kręgle rozpędzamy kulę – wykonujemy przy tym pracę (działamy na kulę siłą i przesuwamy na pewną odległość), następnie rozpędzona kula przesuwa i przewraca kręgle. Poruszające się ciało ma możliwość wykonania pracy. Mówimy, że posiada pewną energię związaną z ruchem.

W dawnych czasach używano tzw. bombard (informacji o nich poszukaj w Internecie). Był to pierwowzór działa. Bombarda wyrzucała kule kamienne lub żelazne z dużą prędkością. Kula uderzając w mury zamku, powodowała ich pękanie. Mogła ona wykonać pracę dzięki temu, że miała dużą prędkość.

Następnym przykładem możliwości wykonania pracy dzięki zmagazynowanej energii jest używana w dawnych czasach katapulta lub proca.



Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

Źródło: Marcin Sadomski, Kevin MacLeod (http://incompetech.com), Krzysztof Jaworski, Tomorrow Sp. z o.o., licencja: CC BY 3.0.

Katapulta

Z powyższych przykładów widać, że wykonanie nad ciałem pracy prowadzi do zmiany jego stanu. Ciało poprzez zmianę położenia lub uzyskanie prędkości ma możliwość wykonania pracy. Mówimy, że takie ciało zyskuje energię. Energia ta związana jest ze zmianą położenia lub zmianą prędkości i nazywamy ją energią mechaniczną.

Energię tę możemy podzielić na dwie kategorie:

1. Zależną od wzajemnego położenia oddziałujących ciał (jak w przypadku katapulty) – tę kategorię nazywamy **energią potencjalną**. Zmiana położenia ciał jest czynnikiem umożliwiającym wykonanie przez nie pracy. Przykładowo: wiszący nad wbijanym słupem młot kafara może wykonać pracę dopiero wtedy, gdy spadnie i uderzy w słup.
2. Zależną od ruchu ciała (jak w przypadku kręgli) – tę postać energii nazywamy **energią kinetyczną**. Ciało będące w ruchu może wykonać pracę. Szczegółowo te formy energii omówimy dalej.

Nie zawsze wykonana praca zmienia się w energię potencjalną lub kinetyczną. Jeżeli pchamy szafę poziomo siłą równą sile tarcia, to nie uzyskujemy ani wzrostu prędkości, ani zmiany położenia względem powierzchni Ziemi. Nie zmieniamy zatem ani energii

kinetycznej, ani potencjalnej ciała. Nie oznacza to jednak, że przepadła ona bez śladu – zmieniła się w inną formę energii – energię wewnętrzną, którą omówimy w dalszej części podręcznika. Energia ta związana jest ze zmianą temperatury ciała.

> **energia**
>
> – wielkość fizyczna charakteryzująca ciało lub układ ciał i związana z pracą, którą to ciało jest w stanie wykonać. Ciało (układ ciał) posiada energię, jeśli jest zdolne do wykonania pracy.

Energia może występować w różnych formach, np. energia elektryczna, energia cieplna, energia chemiczna, energia jądrowa, energia świetlna, energia mechaniczna. Jednostką energii jest dżul.

> **energia mechaniczna**
>
> – występuje w dwóch postaciach: energii potencjalnej i energii kinetycznej, a jej całkowita wartość jest ich sumą, czyli:
>
> $$\text{energia mechaniczna} = \text{energia potencjalna} + \text{energia kinetyczna}$$

Energię oznacza się symbolem E i dlatego powyższy związek możemy zapisać w formie równania:

$$E_{\text{mech}} = E_{\text{kin}} + E_{\text{pot}}$$

> **Zapamiętaj!**
>
> Energia ciała może się zmieniać. Gdy ciało wykonuje pracę, jego energia maleje, a gdy siły zewnętrzne wykonują pracę nad ciałem – jego energia wzrasta o wartość wykonanej pracy.

> **Przykład 1**
>
> Podczas gry w koszykówkę zawodnik podnosi piłkę nad głowę, zwiększając jej wysokość nad podłogą o $1{,}3$ metra. O ile wzrosła energia potencjalna piłki? Masa piłki do koszykówki wynosi $0{,}5\ \text{kg}$.
> **Analiza zadania:**
> Przyrost energii piłki (ΔE) jest równy pracy, jaką wykonał zawodnik, podnosząc piłkę do góry:
> $\Delta E = W$.
> Aby obliczyć pracę, musimy znać wartość siły i przesunięcia, gdyż $W = F \cdot s$.
> Podnosząc piłkę do góry, zawodnik musiał działać siłą co najmniej równą ciężarowi piłki, czyli:
> $F = m \cdot g$.
> Zatem praca wykonana przez zawodnika wynosiła:

$W = F \cdot s = m \cdot g \cdot s$.
Jest to jednocześnie wartość przyrostu energii piłki.
Dane:
$m = 0{,}5\ \mathrm{kg}$,
$g = 10 \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}}$,
$s = 1{,}3\ \mathrm{m}$.
Szukane:
$\Delta E = \ ?$
Obliczenia:
$E = W = F \cdot s = m \cdot g \cdot s = 0{,}5\ \mathrm{kg} \cdot 10 \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}} \cdot 1{,}3\ \mathrm{m} = 6{,}5\ \mathrm{J}$.
Odpowiedź:
Energia piłki wzrosła o $6{,}5\ \mathrm{J}$, ponieważ zawodnik wykonał nad nią pracę o takiej wartości.

Ćwiczenie 1

Które z poniższych stwierdzeń są prawdziwe, a które nie?

	Prawda	Fałsz
Toczący się walec uderzył w skrzynię i przesunął ją. W wyniku tego energia walca zmalała o wartość pracy wykonanej przez walec nad przesunięciem skrzyni.	◯	◯
Toczący się walec uderzył w skrzynię i przesunął ją. W wyniku tego energia walca wzrosła, ponieważ została wykonana praca.	◯	◯
Rakieta tenisowa uderzyła w piłkę, nadając jej prędkość. Energia piłki wzrosła o wartość pracy wykonanej przez rakietę przy rozpędzeniu piłki.	◯	◯
Łucznik naciągnął cięciwę łuku. Energia łuku wzrosła o wartość pracy wykonanej przez łucznika.	◯	◯
Samochód rozpędził się dzięki działaniu silnika. Energia samochodu wzrosła o wartość równą pracy wykonanej przez silnik.	◯	◯
Pracę włożoną w przesuwanie jakiegoś ciała zawsze można odzyskać.	◯	◯
Samochód rozpędził się dzięki działaniu silnika. Energia mechaniczna samochodu zmalała, ponieważ silnik zużył paliwo.	◯	◯

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ciekawostka

> Pojęcie energii jest stosunkowo nowe w nauce i do XVII wieku było zupełnie nieznane. Dopiero w 1695 r. Gottfried Wilhelm Leibniz podał twierdzenie, że iloczyn siły i drogi daje przyrost „siły żywej" (łacińskie *vis viva*). Newton nie przywiązywał szczególnej wagi do tego pojęcia. Nazwę „energia" wprowadził w 1807 r. Thomas Young. Jeszcze w 1850 r. znaczna część ówczesnych uczonych wątpiła w istnienie energii. Dziś wiele podręczników fizyki zaczyna się od stwierdzenia, że fizyka to nauka o energii i sposobach jej przemian.

Podsumowanie

- Energia jest wielkością fizyczną, którą ma ciało lub układ ciał, wyrażającą jego zdolność do wykonania pracy. Może występować w różnych formach, np. jako energia elektryczna, energia cieplna, energia chemiczna, energia mechaniczna.
- Jednostką energii jest dżul.
- Energia ciała może się zmieniać. Gdy ciało wykonuje pracę, jego energia maleje, a gdy siły zewnętrzne wykonują pracę nad ciałem – jego energia wzrasta o wartość wykonanej pracy.
- Energia mechaniczna jest sumą energii kinetycznej i potencjalnej.
- Najczęściej energię oznacza się symbolem E
  $E_{\mathrm{mech}} = E_{\mathrm{kin}} + E_{\mathrm{pot}}$

Zadania podsumowujące lekcję

Ćwiczenie 2

Zegarmistrz nakręcał sprężynę starego zegara, wykonał przy tym pracę o wartości $W = 0{,}7$ J. Jak i o ile zmieniła się energia sprężyny?

- ◯ Wzrosła, ale nie wiadomo o ile.
- ◯ Wzrosła o więcej niż 0,7 J.
- ◯ Wzrosła o 0,35 J.
- ◯ Wzrosła o 0,7 J.
- ◯ Zmalała o 0,7 J.
- ◯ Zmalała, ale nie wiadomo o ile.
- ◯ Zmieniła się o 0,7 J.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 3

Kowal podniósł młot o masie 10 kg na wysokość 1 metra. Jak i o ile zmieniła się energia młota?

- ◯ Zmieniła się o 100 J.
- ◯ Wzrosła, ale nie wiadomo o ile.
- ◯ Zmalała o 100 J.
- ◯ Wzrosła o 100 J.
- ◯ Zmalała, ale nie wiadomo o ile.
- ◯ Wzrosła o 10 J.
- ◯ Wzrosła o więcej niż 100 J.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 4

Tocząca się kula uderzyła w skrzynkę i przesunęła ją po podłodze, wykonując pracę o wartości 30 J. Jak i o ile zmieniła się energia kuli?

- ◯ Wzrosła o 30 J.
- ◯ Zmalała o więcej niż 30 J.
- ◯ Zmalała o 15 J.
- ◯ Zmieniła się o 30 J.
- ◯ Wzrosła, ale nie wiadomo o ile.
- ◯ Zmalała, ale nie wiadomo o ile.
- ◯ Zmalała o 30 J.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Słowniczek

kafar

– urządzenie budowlane służące do wbijania pionowych pali w ziemię lub w dno zbiornika wodnego. Nazwa wywodzi się z niemieckiego słowa *Keffer*. Kafary wykorzystuje się przy palowaniu – podczas robót budowlanych wykonywanych najczęściej na grząskich lub niedostatecznie stabilnych gruntach oraz w budowlach nawodnych.

katapulta

– machina miotająca pociski, wykorzystywana głównie w starożytności i średniowieczu. Zasada jej działania opiera się na wykorzystaniu energii sprężystej. Energia ta była wykorzystywana do miotania kamiennych pocisków.

Energia kinetyczna. Rozwiązywanie zadań

Czy piłka tenisowa może mieć taką samą energię jak biegnący pies?

Rozpędzone ciało ma energię – możemy się o tym łatwo przekonać, gdy próbujemy złapać rzucony nam przedmiot lub odbić piłkę tenisową rakietą

Już potrafisz

- podać definicję energii jako wielkości fizycznej opisującej stan ciała lub układu ciał, wyrażającej jego zdolność do wykonania pracy;
- przedstawiać energię mechaniczną jako sumę energii potencjalnej i kinetycznej;
- podać definicję jednostki energii;
- podać definicję energii potencjalnej.

Nauczysz się

- od czego i jak zależy energia kinetyczna ciała;
- obliczania energii kinetycznej ciała;
- rozwiązywania zadań rachunkowych związanych z energią kinetyczną.

W jednym z ostatnich podrozdziałów wspomnieliśmy o rozpędzonej kuli do gry w kręgle. Stwierdziliśmy wówczas, że praca włożona w rozpędzanie kuli może zostać chociaż częściowo zwrócona, gdy kula przesuwa i przewraca kręgle. Oznacza to, że kula dzięki wykonanej nad nią pracy zyskała energię. Ponieważ związana jest ona z ruchem kuli, nazywamy ją energią kinetyczną.

Od czego zależy energia kinetyczna poruszającej się kuli? Zacznijmy od doświadczenia.

Doświadczenie 1

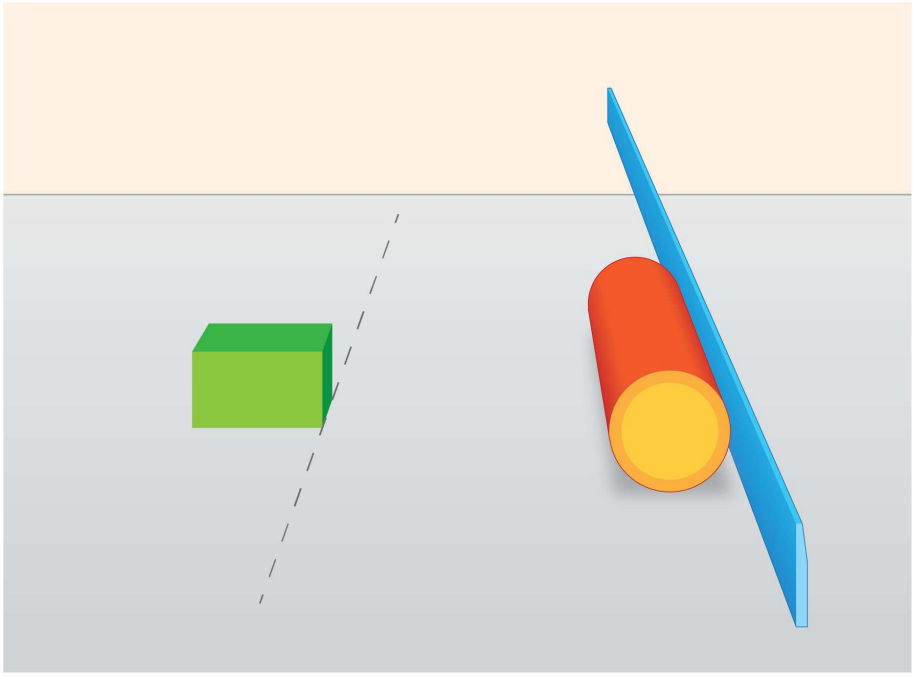
Ustalenie, od czego zależy energia kinetyczna ciała.

Co będzie potrzebne

- dwa przedmioty w kształcie walca o jednakowych średnicach i różnych masach (mogą to być puszki po napojach lub dezodorantach – jedna pusta, druga pełna);
- dwa jednakowe drewniane klocki lub inne niezbyt ciężkie przedmioty w kształcie prostopadłościanu (np. pudełka zapałek);
- linijka;
- kawałek kredy lub łatwo zmywalny mazak;
- ściereczka lub nawilżona chusteczka do zmywania śladów kredy lub flamastra.

Instrukcja

1. Połóż drewniany klocek mniej więcej na środku ławki.
2. Zaznacz kredą lub flamastrem początkowe położenie klocka.
3. Połóż jeden z walców w pobliżu krótszej krawędzi ławki i lekko popchnij go w stronę klocka.



Rozłożenie przyrządów potrzebnych do przeprowadzenia doświadczenia na ławce

4. Toczący się walec przesunął klocek – zaznacz miejsce, gdzie klocek się zatrzymał, i zmierz przesunięcie klocka.

5. Zanotuj wynik w tabeli 1 i zetrzyj ślady na ławce.

6. Powtórz czynności z pkt. 3–5, zwiększając wartość początkowej prędkości walca.

Tabela do doświadczenia 1.

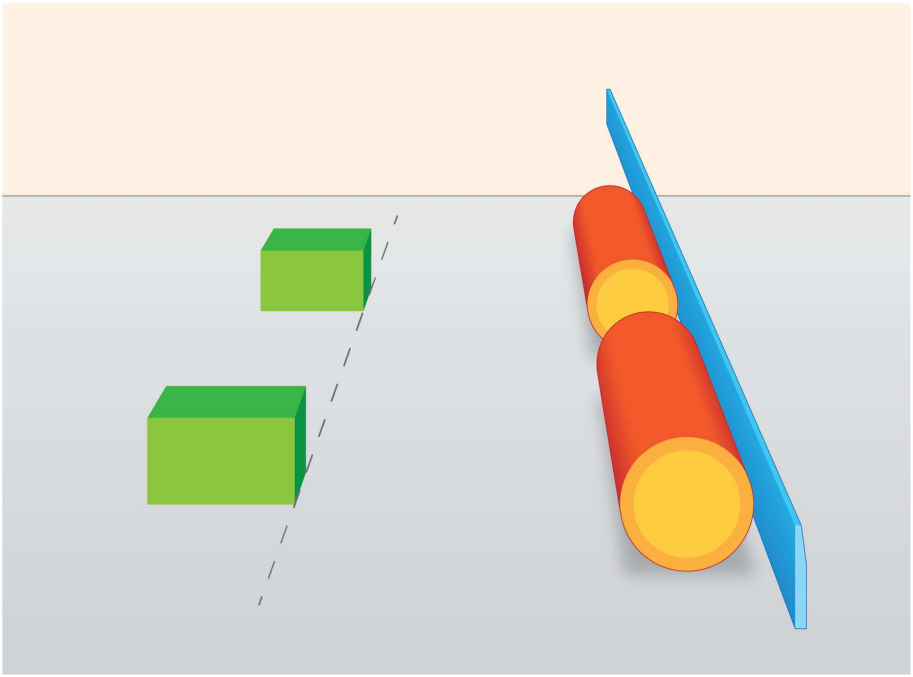
Prędkość walca	**Przesunięcie klocka [cm]**
mała	
średnia	

Prędkość walca	Przesunięcie klocka [cm]
duża	

7. Teraz na środku ławki połóż dwa drewniane klocki, a bliżej krótszej krawędzi – dwa walce o różnych masach.

8. Zaznacz położenia początkowe pudełek. Przy ich ustawianiu ważne jest, aby odległość między walcem a klockiem była jednakowa dla obu par przyrządów.

9. Za pomocą linijki popchnij jednocześnie oba walce, tak aby uzyskały jednakową prędkość początkową.



Linijka wprawia w ruch jednocześnie oba walce

10. Każdy z walców przesunął „swój klocek” – zaznacz miejsca, gdzie klocki się zatrzymały, i zmierz przesunięcia klocków.

11. Zanotuj wyniki w tabeli 2, zetrzyj ślady na ławce.

Tabela do doświadczenia 2.

Walec	**Przesunięcie klocka [cm]**
o mniejszej masie	
o większej masie	

12. Wprawianie walców w ruch tak, aby toczyły się po linii prostej, popychały klocki – a nie odbijały się od nich, oraz aby przesunięcia klocków nie były większe od długości ławki, wymaga nieco wprawy. Dlatego czynności opisane w tej instrukcji warto powtórzyć kilka razy.

Podsumowanie

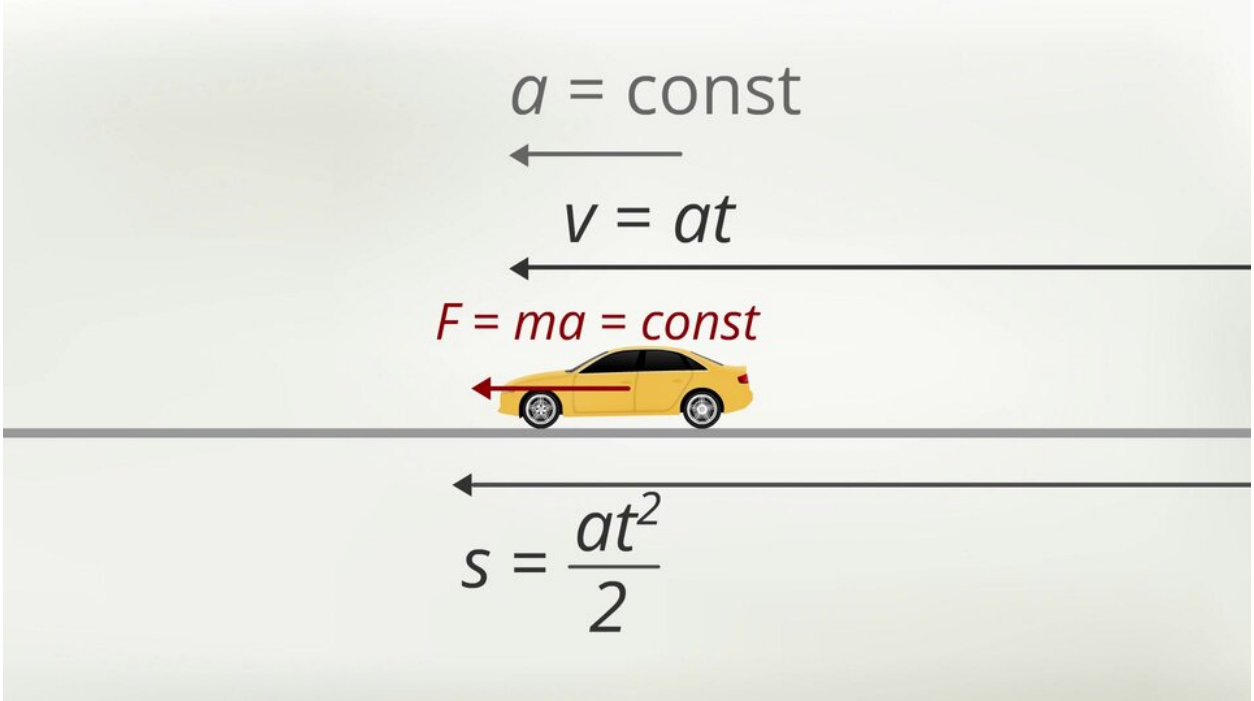
1. Jeśli przesunięcia klocka zanotowane w drugiej kolumnie tabeli 1 były coraz większe, oznacza to, że praca wykonana przez walec była coraz większa. Walec wykonywał pracę kosztem swojej energii kinetycznej. Jeśli mógł wykonać większą pracę, to znaczy, że miał większą energię. Możemy zapisać wniosek, że **energia kinetyczna toczącego się walca zależy od jego prędkości, przy czym większa wartość prędkości oznacza większą energię kinetyczną**.

2. Jeśli walec o większej masie przesunął pudełko na większą odległość, to znaczy, że wykonał większą pracę. Podobnie jak poprzednio walce wykonywały pracę kosztem energii kinetycznej. Większa praca została wykonana przez ten walec, który miał więcej energii. Z wyników w tabeli 2 wynika, że większą energię miał walec o większej masie. Ponieważ oba walce miały taką samą wartość prędkości, możemy zapisać wniosek, że **energia kinetyczna toczącego się walca zależy od jego masy, przy czym większa masa oznacza większą energię kinetyczną**.

Nasze doświadczenie miało charakter jakościowy, nie mierzyliśmy bowiem prędkości walców, ale wnioski z tego doświadczenia można rozszerzyć na inne ciała znajdujące się w ruchu.

> **Zapamiętaj!**
>
> Energia kinetyczna ciała rośnie wraz ze wzrostem masy ciała oraz ze wzrostem jego prędkości.

W celu wyprowadzenia wzoru opisującego zależność energii kinetycznej od masy i prędkości ciała przeprowadźmy doświadczenie wirtualne.



Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

Ile wynosi energia kinetyczna poruszającego się samochodu?

Droga, z prawej strony ekranu na drodze stoi samochód. Nad dachem samochodu napis v = 0, nad v strzałka. Pojawia się wektor siły przyłożony do centrum samochodu. Jak narośnie(błyskawicznie) to już się nie zmienia. Wektor poziomy. Nad wektorem podpis F = ma = const. Nad F i a strzałka. Samochód rusza i jedzie coraz szybciej w lewo. Pod samochodem i drogą pojawia się od początku ruchu narastający wektor zaczynający się w miejscu startu samochodu, a kończący w miejscu gdzie aktualnie samochód się znajduje, poziomy, skierowany w lewo. Nad samochodem w miejscu gdzie pierwotnie znajdował się napis v = 0, pojawia się narastający wektor poziomy, skierowany w lewo, początek wektora cały czas nad samochodem i podpisany v = at. Nad wektorem prędkości pojawia się w momencie łącznie z siłą wektor poziomy, skierowany w lewo, o stałej długości, poruszający się wraz z samochodem i podpisany a = const. samochód dojeżdża do lewej krawędzi ekranu. Stopklatka. Wszystkie wektory i podpisy pozostają.

Obliczmy pracę wykonaną przez siłę F przy rozpędzaniu samochodu:

$$W = F \cdot s$$

gdzie siła F zgodnie z drugą zasadą dynamiki jest równa $F = m \cdot a$, a drogę w ruchu jednostajnie przyspieszonym można wyrazić wzorem:

$$s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

Zatem po podstawieniu do wzoru na pracę wyrażeń na siłę i drogę otrzymujemy zależność:

$$W = F \cdot s = m \cdot a \cdot \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (a \cdot t)^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Skorzystaliśmy tutaj z przemienności mnożenia oraz ze wzoru na prędkość w ruchu jednostajnie przyspieszonym: $v = (a \cdot t)$.

Zgodnie z przyjętą wcześniej definicją praca sił zewnętrznych jest równa przyrostowi energii ciała – w tym wypadku energii kinetycznej.
Ostatecznie możemy zapisać:

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

> **energia kinetyczna**
>
> – jedna z form energii mechanicznej, którą posiadają ciała będące w ruchu. Energia kinetyczna zależy od masy ciała oraz wartości jego prędkości. Energia ta równa jest pracy, jaką trzeba wykonać, aby ciało o masie m rozpędzić do prędkości v (lub zatrzymać ciało będące w ruchu). Jednostką energii kinetycznej, tak jak wszystkich innych form energii, jest dżul.
> Wartość energii kinetycznej ciała jest równa iloczynowi połowy masy ciała i kwadratu wartości prędkości ciała:
>
> $$\text{energia kinetyczna} = \frac{1}{2} \cdot \text{masa} \cdot \text{prędkość}^2$$
>
> $$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

* Wzór ten jest poprawny tylko w pewnym zakresie prędkości

Zadania do lekcji

> **Ćwiczenie 1**
>
> Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Przejdźmy teraz do sposobów obliczania energii kinetycznej. Oto kilka przykładów.

> **Przykład 1**

Oblicz energię kinetyczną wózka widłowego o masie 300 kg, poruszającego się z prędkością $5\ \frac{m}{s}$.

Dane:

$\mathrm{m}\ =\ 300\ \mathrm{kg},$

$v = 5\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}.$

Szukane:

$E_{\mathrm{kin}} = ?$

Rozwiązanie:

Energię kinetyczną obliczamy, korzystając z wcześniej zapisanego wzoru:

$E_{\mathrm{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 300\mathrm{kg} \cdot \left(5\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right)^2 = 150 \cdot 25\frac{\mathrm{kg}\cdot\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2} = 3750\mathrm{J}.$

Odpowiedź:

Energia kinetyczna wózka wynosi 3750 dżuli.

Przykład 2

Jak i ile razy zmieni się energia kinetyczna wózka opisanego w przykładzie poprzednim, gdy po załadowaniu towarami jego masa wzrośnie dwukrotnie, a prędkość pozostanie niezmieniona?

Dane:

$\mathrm{m}\ =\ 300\ \mathrm{kg},$

$m_2 = 2 \cdot m = 2 \cdot 300\ \mathrm{kg} = 600\ \mathrm{kg},$

$v_2 = v = 5\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}.$

Szukane:

$\frac{E_{\mathrm{kin}\,2}}{E_{\mathrm{kin}}} = ?$

Rozwiązanie:

Sposób 1:

Obliczamy nową wartość energii kinetycznej wózka:

$E_{\mathrm{kin}\,2} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 600\ \mathrm{kg} \cdot \left(5\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right)^2 = 300 \cdot 25\frac{\mathrm{kg}\cdot\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2} = 7500\ \mathrm{J}$

i dzielimy ją przez wcześniejszą wartość energii kinetycznej:

$\frac{E_{\mathrm{kin}\,2}}{E_{\mathrm{kin}}} = \frac{7500\ \mathrm{J}}{3750\ \mathrm{J}} = 2.$

Odpowiedź:

Energia kinetyczna wózka wzrosła dwukrotnie.

Sposób 2:

Zapisujemy wzór na energię kinetyczną wózka o dwukrotnie większej masie:

$E_{\mathrm{kin}\,2} = \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot m \cdot v^2 = 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = 2 \cdot E_{\mathrm{kin}}$

(skorzystaliśmy tu z zasady przemienności mnożenia).

Odpowiedź:

Energia kinetyczna wózka załadowanego towarami jest dwa razy większa niż energia kinetyczna wózka pustego.

Zapamiętaj!

Energia kinetyczna ciała jest wprost proporcjonalna do masy ciała. To znaczy, że na przykład ciało o trzykrotnie większej masie ma trzy razy większą energię kinetyczną przy

tej samej wartości prędkości.

Przykład 3

Samochód o masie $2000\ \mathrm{kg}$ jechał początkowo z prędkością o wartości $10\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$, następnie przyspieszył do $20\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$. Jak i ile razy zmieniła się energia kinetyczna samochodu?

Dane:

$\mathrm{m} = 2\,000\,\mathrm{kg}$,

$v_1 = 10\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$,

$v_2 = 20\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} = 2 \cdot v_1$.

Szukane:

$\frac{E_{\mathrm{kin}\,2}}{E_{\mathrm{kin}}} = ?$

Rozwiązanie:

Sposób 1

Obliczamy wartość początkowej energii kinetycznej samochodu oraz jej wartość po zwiększeniu prędkości:

$E_{\mathrm{kin}\,1} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot {v_1}^2 = \frac{1}{2} \cdot 2\,000\mathrm{kg} \cdot \left(10\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right)^2 = 1\,000 \cdot 100\frac{\mathrm{kg \cdot m^2}}{\mathrm{s^2}} = 100\,000\mathrm{J} = 100\mathrm{kJ}$,

$E_{\mathrm{kin}\,2} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot {v_2}^2 = \frac{1}{2} \cdot 2\,000\mathrm{kg} \cdot \left(20\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right)^2 = 1000 \cdot 400\frac{\mathrm{kg \cdot m^2}}{\mathrm{s^2}} = 400\,000\mathrm{J} = 400\mathrm{kJ}$,

a następnie dzielimy te wartości przez siebie:

$\frac{E_{\mathrm{kin}\,2}}{E_{\mathrm{kin}\,1}} = \frac{400\ \mathrm{kJ}}{100\ \mathrm{kJ}} = 4$.

Odpowiedź:

Gdy samochód zwiększył swą prędkość dwukrotnie, jego energia kinetyczna wzrosła czterokrotnie.

Sposób 2

Obliczamy iloraz energii kinetycznych po przyspieszeniu i przed przyspieszeniem:

$\frac{E_{\mathrm{kin}\,2}}{E_{\mathrm{kin}\,1}} = \frac{\frac{1}{2} \cdot m \cdot {v_2}^2}{\frac{1}{2} \cdot m \cdot {v_1}^2} = \frac{(2 \cdot v_1)^2}{{v_1}^2} = \frac{4 \cdot {v_1}^2}{{v_1}^2} = 4$.

Odpowiedź:

Po dwukrotnym wzroście prędkości energia kinetyczna samochodu wzrosła czterokrotnie.

Zapamiętaj!

Energia kinetyczna ciała jest proporcjonalna do kwadratu prędkości, co oznacza, że na przykład trzykrotny wzrost prędkości danego ciała (o stałej masie) powoduje aż dziewięciokrotny wzrost jego energii kinetycznej.

Przykład 4

Cząsteczki tlenu i wodoru mają takie same energie kinetyczne. Masa cząsteczki tlenu jest 16 raz większa od masy cząsteczki wodoru. Która z tych cząsteczek porusza się szybciej i ile razy?

Rozwiązanie:

$m_{\mathrm{tlenu}} = 16 \cdot m_{w\,\mathrm{odoru}}$,

$E_{\mathrm{kintlenu}} = E_{\mathrm{kinwodoru}}$.

Taka sama wartość energii kinetycznej nie oznacza takiej samej prędkości, bo energia kinetyczna zależy też od masy. Skoro masa cząsteczki tlenu jest większa, to tę samą wartość energii kinetycznej cząsteczka ta osiągnie przy mniejszej prędkości. Policzmy:
$E_{\mathrm{kintlenu}} = E_{\mathrm{kinwodoru}}$,
$\frac{1}{2} \cdot m_{\mathrm{tlenu}} \cdot {v_{\mathrm{tlenu}}}^2 = \frac{1}{2} \cdot m_{\mathrm{wodoru}} \cdot {v_{\mathrm{wodoru}}}^2$,
$16 \cdot m_{\mathrm{wodoru}} \cdot {v_{\mathrm{tlenu}}}^2 = m_{\mathrm{wodoru}} \cdot {v_{\mathrm{wodoru}}}^2$,
$16 \cdot {v_{\mathrm{tlenu}}}^2 = {v_{\mathrm{wodoru}}}^2$,
$4 \cdot v_{\mathrm{tlenu}} = v_{\mathrm{wodoru}}$.

Odpowiedź:
Większą prędkość ma cząsteczka wodoru. Prędkość ta jest 4 razy większa od prędkości cząsteczki tlenu.
Zapamiętaj!

Ciała o różnych masach mogą mieć takie same energie kinetyczne, jeśli mają różne prędkości. Ciało o masie mniejszej osiągnie tę samą energię kinetyczną co ciało masywniejsze, jeśli jego prędkość będzie większa. Przy czym prędkość silniej wpływa na wartość energii kinetycznej i już 10 razy większa prędkość wystarczy, aby uzyskać taką energię, jaką ma ciało o masie 100 razy większej, bez zmiany wartości prędkości.
Polecenie 1

Wyszukaj w dostępnych ci źródłach informacji o masach i prędkościach osiąganych przez słonie i pociski karabinowe oraz odpowiedz na pytanie postawione we wstępie do tego modułu: czy pocisk może mieć taką samą energię, jak rozpędzony słoń?

Przykład 5

Marek i Krzysiek z II c siedzieli w autokarze, którym z całą klasą wyjeżdżali na wycieczkę. Piotrek – ich kolega z II b stał na parkingu i patrzył z zazdrością na odjeżdżających. Na najbliższej lekcji fizyki nauczyciel polecił Markowi i Piotrkowi, aby obliczyli energię kinetyczną Krzyśka podczas jazdy autobusu.
Marek stwierdził, że skoro Krzysiek siedzi obok niego, to jego prędkość jest równa zero, a więc również energia kinetyczna kolegi ma wartość zero, i taką odpowiedź wysłał nauczycielowi.
Piotrek zaś policzył: połowa masy Krzyśka to 25 kg, szybkość Krzyśka jest taka jak całego autokaru, czyli około 10 metrów na sekundę. 10 do kwadratu wynosi 100. Wynik: energia kinetyczna Krzyśka to 2500 J i takiej udzielił odpowiedzi.
Który z chłopców podał prawidłowy wynik zadania?
Rozwiązanie:
Obaj udzielili poprawnej odpowiedzi. Każdy z nich liczył energię kinetyczną względem siebie (a więc w układach odniesienia związanych z obserwatorem), a ponieważ

prędkość ciała (w tym wypadku Krzyśka) zależy od układu odniesienia, to tak samo jest w przypadku wartości energii kinetycznej.

Zapamiętaj!

Wartość energii kinetycznej zależy od układu odniesienia, ponieważ prędkość ciała zależy od układu odniesienia.

Przykład 6

Pocisk o masie $m = 5$ g przed uderzeniem w drewnianą belkę poruszał się z prędkością o wartości $500\frac{\text{m}}{\text{s}}$. Po uderzeniu w belkę zagłębił się w drewno na głębokość 20 cm. Oblicz:

1. energię kinetyczną pocisku przed uderzeniem w przeszkodę;
2. pracę, jaką wykonała siła oporu podczas ruchu pocisku w drewnie;
3. średnią wartość siły oporu (czyli zakładamy, że ta wartość jest stała).

Dane:
$m = 5\ \text{g} = 0{,}005\ \text{kg}$,
$v = 500\frac{\text{m}}{\text{s}}$,
$s = 20\ \text{cm} = 0{,}2\ \text{m}$.
Rozwiązanie:

1. $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 0{,}005\ \text{kg} \cdot \left(500\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 0{,}0025 \cdot 250000\frac{\text{kg}\cdot\text{m}^2}{\text{s}^2} = 625\ \text{J}$;
2. Praca wykonana przez siły oporu ma wartość równą zmianie energii kinetycznej pocisku, czyli: $W_{\text{oporu}} = 625\ \text{J}$.
3. Korzystamy ze wzoru na pracę:
   $W_{\text{oporu}} = F_{\text{oporu}} \cdot s$,
   $F_{\text{oporu}} = \frac{W_{\text{oporu}}}{s} = \frac{625\ \text{J}}{0{,}2\ \text{m}} = 3125\ \text{N}$.

Odpowiedź:
Energia kinetyczna pocisku wynosiła $625\ \text{J}$. Siła oporu zmniejszyła ją do zera, wykonując pracę o takiej właśnie wartości. Aby zatrzymać ten pocisk na drodze $20\ \text{cm}$, siła ta musiała mieć średnią wartość $3125\ \text{N}$.

Podsumowanie

- Energia kinetyczna to jedna z form energii mechanicznej. Mają ją ciała będące w ruchu i zależy ona od masy danego ciała oraz wartości jego prędkości.
- Energia kinetyczna ciała równa jest pracy, jaką trzeba wykonać, aby ciało o masie m rozpędzić do prędkości v (lub zatrzymać ciało będące w ruchu).

- Jednostką energii kinetycznej, tak jak wszystkich innych form energii, jest dżul (1 J).
- Wartość energii kinetycznej ciała równa jest połowie iloczynu masy ciała i kwadratu wartości jego prędkości: $\text{energia kinetyczna} = \frac{1}{2} \cdot \text{masa} \cdot \text{prędkość}^2$
  $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$
- Energia kinetyczna ciała jest wprost proporcjonalna do masy ciała. To oznacza, że na przykład ciało o dwukrotnie większej masie ma dwa razy większą energię kinetyczną przy tej samej wartości prędkości.
- Energia kinetyczna ciała jest proporcjonalna do kwadratu prędkości. To oznacza, że na przykład trzykrotny wzrost wartości prędkości danego ciała powoduje aż dziewięciokrotny wzrost jego energii kinetycznej.
- Wartość energii kinetycznej zależy od układu odniesienia, ponieważ prędkość ciała zależy od układu odniesienia.
- Ciała o różnych masach mogą mieć takie same energie kinetyczne, jeśli mają różne prędkości. Ciało o masie na przykład 100 razy mniejszej będzie miało tę samą energię kinetyczną co ciało masywniejsze, jeśli jego prędkość będzie 10 razy większa.

Praca domowa

Polecenie 2.1

Samochód o masie 1200 kg jedzie z prędkością o wartości 30 m/s, a następnie hamuje do 20 m/s. Oblicz:

1. początkową i końcową energię kinetyczną;
2. zmianę tej energii.

Wskazówka

Zmianę danej wielkości fizycznej obliczamy, odejmując od końcowej wartości tej wielkości jej wartość początkową.

Polecenie 2.2

Samochód o masie $m = \ 1700\ \mathrm{kg}$ jechał z prędkością $v = 36\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$, a po włączeniu hamulców zatrzymał się, przejechawszy jeszcze drogę $s = 10\ \mathrm{metrów}$.

1. Oblicz energię kinetyczną samochodu przed włączeniem hamulców.
2. Oblicz wartość średniej siły i pracę, jaką wykonała podczas zatrzymywania samochodu.
3. Ile metrów przejechałby ten hamujący samochód, gdyby jego prędkość początkowa była dwa razy większa? Możemy przyjąć, że siła hamowania była taka sama w obu przypadkach.

> **Wskazówka**
>
> Pamiętaj o zamianie jednostek.

Polecenie 2.3

Dwie piłeczki mają taką samą energię kinetyczną. Pierwsza piłeczka ma masę $m_I = 9\ \mathrm{g}$ i porusza się z prędkością o wartości $v_I = 36\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$. Oblicz prędkość drugiej piłeczki, która ma masę $m_{\mathrm{II}} = 1\ \mathrm{g}$.

Zadania podsumowujące lekcję

Ćwiczenie 2

Energia kinetyczna ciała o masie 1 kg poruszającego się z prędkością 1 m/s wynosi

- ◯ 2 N.
- ◯ 0,5 J.
- ◯ 1 J.
- ◯ 0,5 N.
- ◯ 2 J.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 3

Energia kinetyczna ciężarówki o masie 10 ton przy prędkości 20 m/s wynosi 2 MJ. Oblicz wartość energii kinetycznej tej ciężarówki, jeśli po załadunku jej masa wzrośnie do 20 ton, a prędkość się nie zmieni. Wskaż prawidłową odpowiedź.

- ◯ 8 MJ
- ◯ 4 000 J
- ◯ 4 000 000 J
- ◯ 40 MJ
- ◯ 8 kJ

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 4

Jak i ile razy zmieni się energia kinetyczna piłki, jeśli jej prędkość wzrośnie dwukrotnie?

- ◯ Nie można tego obliczyć – brak danych.
- ◯ Wzrośnie czterokrotnie.
- ◯ Zmaleje dwukrotnie.
- ◯ Nie zmieni się.
- ◯ Wzrośnie dwukrotnie.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 5

Rozpędzenie roweru na poziomym torze do prędkości 5 km/h wymagało od kolarza wykonania pracy 100 J. Ile pracy musiałby wykonać ten rowerzysta, aby ten sam rower, w tych samych warunkach, rozpędzić do prędkości 10 km/h?

- ◯ Nie można obliczyć, ponieważ nie znamy masy rowerzysty i roweru.
- ◯ 400 J
- ◯ 50 J
- ◯ 200 J
- ◯ 400 N

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Energia potencjalna grawitacji i sprężystości

Pompa dostarcza kolejne porcje betonu do zalania stropu między piętrami wieżowca. Trwa to przez pewien czas. Czy można obliczyć pracę, jaką musi wykonać ta pompa, aby zalać cały strop?

Ciało podniesione na pewną wysokość i zrzucone z niej wykona pracę, uderzając o podłoże. Intuicyjnie wiemy, że wartość tej pracy zależy od wysokości ciała i jego ciężaru, ale jak wygląda to z punktu widzenia fizyki? Jakim rodzajem energii dysponuje przedmiot, który uniesiono na wysokość np. metra?

Już potrafisz

- podać definicję energii jako wielkości fizycznej opisującej stan ciała lub układu ciał, wyrażającej jego zdolność do wykonania pracy;
- stwierdzić, że energia mechaniczna jest sumą energii potencjalnej i kinetycznej;
- podać definicję jednostki energii;
- stwierdzić, że ciała mające masę przyciągają się wzajemnie siłami grawitacji;
- podać definicję siły sprężystości jako siły dążącej do przywrócenia pierwotnego kształtu lub objętości ciału, które uległo odkształceniu;
- obliczać wartość energii kinetycznej.

Nauczysz się

- podawać definicję energii potencjalnej;
- obliczać energię potencjalną grawitacji;
- obliczać energię potencjalną sprężystości;
- analizować zmiany energii potencjalnej w różnych zjawiskach.

W rozdziale poświęconym energii mechanicznej dowiedziałeś się, że można ją podzielić na dwa rodzaje: energię potencjalną i energię kinetyczną. Teraz zajmiemy się tą pierwszą kategorią.

> **energia potencjalna**
>
> – jedna z form energii mechanicznej, którą ma układ oddziałujących ze sobą ciał (przyciągających się lub odpychających), a jej wartość zależy od położenia tych ciał względem siebie. Jest to zatem energia układu ciał.

W nazwie energii potencjalnej występuje jeszcze dodatkowe określenie – mówiące o rodzaju oddziaływania, którego skutkiem jest ta energia. Jeśli między ciałami działa siła elektryczna – mówimy o energii potencjalnej elektrycznej. Jeśli jest to siła grawitacji – o energii potencjalnej grawitacji, jeśli zaś siła sprężystości – o energii potencjalnej sprężystości itd. W przypadku energii potencjalnej sprężystości ciałami, o których mowa, są cząsteczki danego ciała. Zmiana odległości między nimi powoduje powstanie sił dążących do przywrócenia poprzednich rozmiarow lub kształtu ciała.

Te dwa ostatnie rodzaje energii potencjalnej będą przedmiotem naszych dalszych rozważań.

1. Energia potencjalna grawitacji

> **energia potencjalna grawitacji**
>
> – energia układu ciał oddziałujących siłami grawitacyjnymi. Wartość tej energii zależy od masy ciał oraz od odległości między nimi. Rośnie, gdy zwiększa się odległość między oddziałującymi ciałami, oraz jest większa w przypadku ciał o większej masie.

> **Ćwiczenie 1**
>
> Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Czy ciało leżące na stole ma energię potencjalną? Czy może spaść i wykonać pracę?
Ile energii zyska ciało o masie m po podniesieniu go np. na wysokość h nad powierzchnię stołu?

Pamiętamy, że:

- praca to iloczyn siły i przesunięcia $W = F \cdot s$;
- podniesienie ciała do góry wymaga użycia siły równej ciężarowi ciała, czyli: $F = m \cdot g$;
- przesunięcie s jest równe wysokości h.

Po uwzględnieniu tych informacji widzimy, że energia potencjalna grawitacji ciała wzrosła o pracę wykonaną podczas podnoszenia tego ciała:

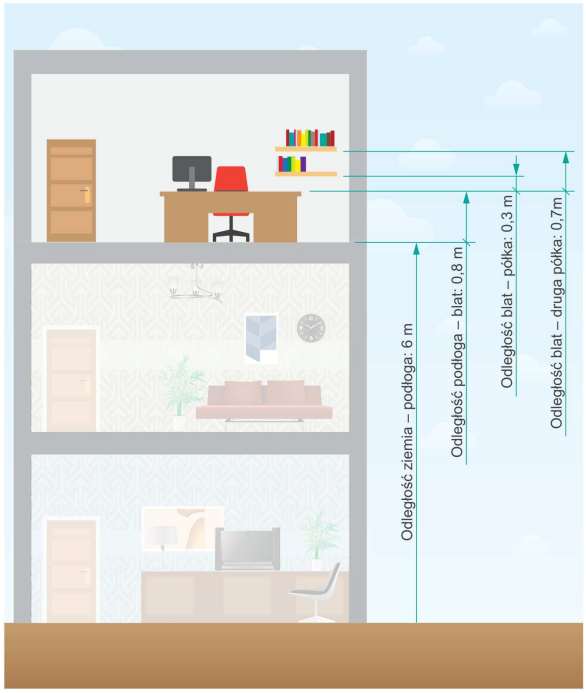
$$E_{\text{pot. grawit.}} = m \cdot g \cdot h$$

Jeżeli teraz to ciało spadnie o 1 m w dół, to może wykonać pracę o tej właśnie wartości. Powiemy, że względem powierzchni stołu energia potencjalna jest równa $E = m \cdot g \cdot h$, gdzie h jest wysokością ciała nad stołem.
Gdy $h = 0$, czyli kiedy ciało leży na stole, to jego energia potencjalna jest równa zero. Czy jednak na pewno tak jest? Gdyby otworzyła się zapadnia i ciało to spadłoby na podłogę, to również mogłoby wykonać jakąś pracę. Oznacza to, że choć energia potencjalna ciała liczona względem powierzchni stołu była równa zero, to energia potencjalna liczona względem podłogi już nie była równa zero. Pojęcie energii potencjalnej zawsze związane jest z poziomem odniesienia, względem którego ją rozpatrujemy i obliczamy.

W lepszym zrozumieniu tego zagadnienia pomoże nam analiza poniższego przykładu.

Przykład 1

Książka o masie 1 kg leży na półce, która znajduje się 30 cm nad blatem biurka. Blat znajduje się 80 cm nad podłogą pokoju, pokój zaś jest na drugim piętrze budynku. Podłoga pokoju znajduje się na wysokości 6 metrów nad poziomem ulicy. Sytuację przedstawiono na rysunku.



Źródło: Dariusz Adryan, licencja: CC BY 3.0.

Oblicz energię potencjalną grawitacji książki.
Rozwiązanie:
Przed przystąpieniem do obliczeń należy określić, względem jakiego poziomu chcemy znać wartość energii potencjalnej.
Energia potencjalna książki względem blatu biurka wynosi:

$E_{\text{pot.grawit.}} = m \cdot g \cdot h_b = 1\ \text{kg} \cdot 10\frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 0{,}3\ \text{m} = 3\ \text{J}$
Energia potencjalna książki względem podłogi pokoju wynosi:

$$E_{\text{pot.grawit.}} = m \cdot g \cdot h_p = 1\ \text{kg} \cdot 10\frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot (0{,}3 + 0{,}8)\ \text{m} = 11\ \text{J}$$

Energia potencjalna książki względem ulicy wynosi:

$$E_{\text{pot.grawit.}} = m \cdot g \cdot h_u = 1\ \text{kg} \cdot 10\frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot (0{,}3 + 0{,}8 + 6)\ \text{m} = 71\ \text{J}$$

Odpowiedź:
W zależności od wyboru poziomu odniesienia wartość energii potencjalnej książki wynosi: $3\ \text{J}$ względem blatu biurka, $11\ \text{J}$ względem podłogi lub $71\ \text{J}$ względem ulicy.
Zapamiętaj!

Wartość energii potencjalnej grawitacji zależy od wyboru poziomu, względem którego ją obliczamy.
Przykład 2

O ile wzrośnie energia potencjalna książki z poprzedniego przykładu, jeśli z pierwszej półki nad biurkiem przeniesiemy ją na drugą, wiszącą na wysokości $70\ \text{cm}$ nad biurkiem? Obliczenia przeprowadź dla wszystkich trzech poziomów odniesienia.
Rozwiązanie:

A. Energia potencjalna grawitacji względem blatu biurka
Nowa wartość energii wynosi:

$$E_{\text{pot.grawit.}} = m \cdot g \cdot h_b = 1\ \text{kg} \cdot 10\frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 0{,}7\ \text{m} = 7\ \text{J},$$

zatem przyrost energii wynosi: $\Delta E_{\text{pot.grawit.}} = 7\ \text{J} - 3\ \text{J} = 4\ \text{J}.$

B. Energia potencjalna grawitacji względem podłogi
Nowa wartość energii wynosi:

$$E_{\text{pot.grawit.}} = m \cdot g \cdot h_p = 1\ \text{kg} \cdot 10\frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot (0{,}7 + 0{,}8)\text{m} = 15\ \text{J}$$

zatem przyrost energii wynosi:
$\Delta E_{\text{pot.grawit.}} = 15\ \text{J} - 11\ \text{J} = 4\ \text{J}.$

C. Energia potencjalna grawitacji względem ulicy
Nowa wartość energii wynosi:

$$E_{\text{pot.grawit.}} = m \cdot g \cdot h_u = 1\ \text{kg} \cdot 10\frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot \Big(0{,}7 + 0{,}8 + 6\Big)\ \text{m} = 75\ \text{J},$$

zatem przyrost energii wynosi:
$\Delta E_{\text{pot.grawit.}} = 75\ \text{J} - 71\ \text{J} = 4\ \text{J}.$

Odpowiedź:
Niezależnie od wyboru poziomu odniesienia przyrost energii potencjalnej grawitacji wynosi 4 J.
Zapamiętaj!

Przyrost energii potencjalnej grawitacji nie zależy od wyboru poziomu odniesienia i jest wprost proporcjonalny do masy ciała i zmiany wysokości.

Ćwiczenie 2

Energia potencjalna grawitacji ciała o masie 1 kg znajdującego się na wysokości 1 m nad powierzchnią ziemi, obliczona względem tej powierzchni wynosi

- ◯ 1 J.
- ◯ 10 N.
- ◯ 2 J.
- ◯ 1 N.
- ◯ 10 J.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 3

Janek przeniósł swój plecak z krzesła o wysokości 40 cm na stół znajdujący się o 35 cm wyżej. Oblicz, o ile wzrosła energia potencjalna plecaka? Masa plecaka wynosiła 10 kg.

- ◯ 350 J
- ◯ 35 J względem krzesła i 75 J względem podłogi
- ◯ 75 J
- ◯ 35 N
- ◯ 35 J

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 4

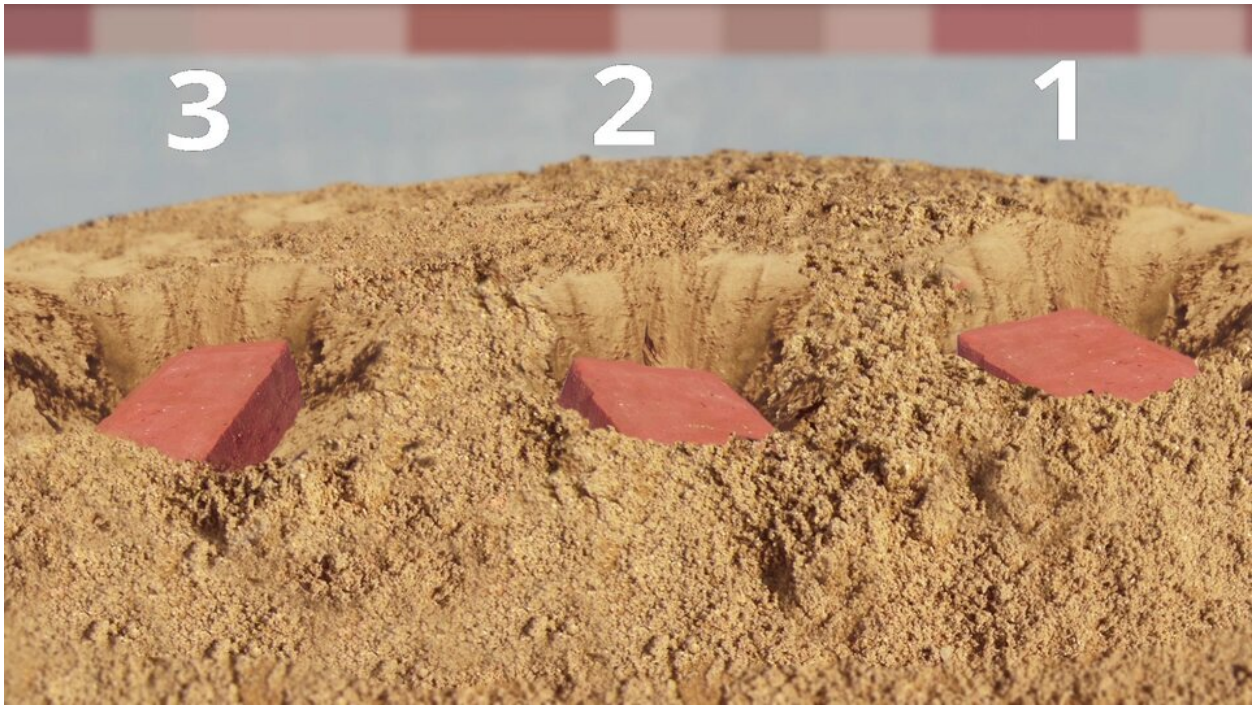
Oblicz pracę jaką może wykonać młotek o masie 5 kg, spadając z wysokości 0,5 m?

- ◯ 1 N
- ◯ 25 J
- ◯ 2,5 J
- ◯ 25 N
- ◯ 2 J

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

A teraz, kiedy umiesz już obliczać energię potencjalną grawitacyjną, zastanów się, po co wprowadziliśmy to pojęcie, skoro można było rozwiązać pokazane wyżej przykłady, stosując po prostu wzór na pracę?

Otóż **najważniejszą cechą energii potencjalnej jest to, że zależy ona tylko od początkowego i końcowego położenia ciała, nie zależy zaś od sposobu, w jaki ta zmiana nastąpiła**. Innymi słowy – praca, którą może wykonać cegła spadająca z dachu, nie zależy od tego, w jaki sposób ta cegła została tam przetransportowana.



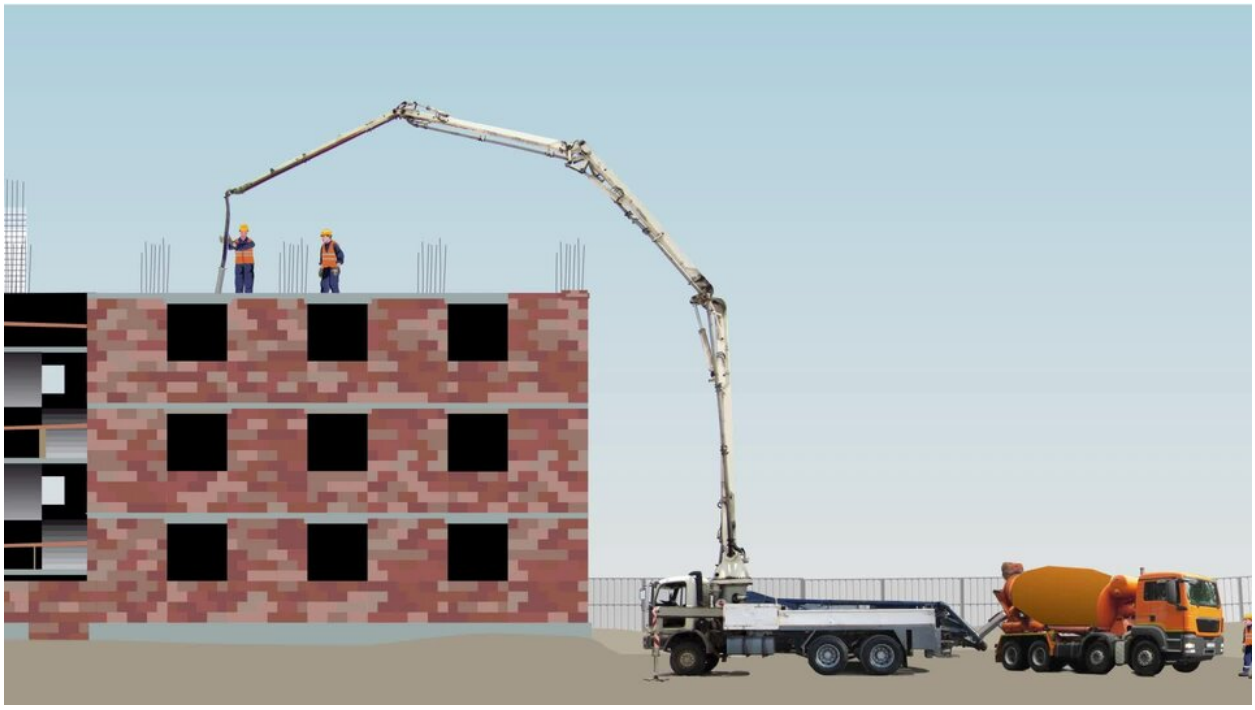
Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

Źródło: Tomorrow Sp. z o.o., licencja: CC BY 3.0.

Scenografia przedstawiająca plac budowy: częściowo wzniesiony budynek – szkielet, pod budynkiem na ziemi płaska pryzma piachu. Animacja robotnika: bierze cegłę z ze stosu na dole i idzie schodami na dach. Ustawia cegłę na krawędzi dachu. Nad wniesioną cegłą pojawia się cyfra 1. Pojawia się animowany taśmociąg ustawiony skośnie (kąt ca. 45 stopni) od ziemi do dachu. Robotnik kładzie cegłę na taśmie, ta jedzie do góry i spada obok cegły nr 1. Nad cegłą pojawia się cyfra 2. Pojawia się animowany bloczek z liną. Robotnik na dole kładzie cegłę na szalkę zaczepioną do liny i ciągnąc z drugi koniec liny wciąga szalę z cegłą na dach. Cegła ląduje obok dwóch pierwszych. Może być też prościej podobnie jak poprzednio; cegła sama poziomo „wskakuje" na szalkę. Nad cegłą pojawia się cyfra 3. Nad cegłami i ich numerami pojawia się duży napis: W = ?. Cegły przesuwają poza krawędź stropu i spadają po kolei na pryzmę piachu, obok siebie. pojawia się na ekranie rysunek przedstawiający symbolicznie sposoby transportu cegieł: Obok siebie: taśmociąg, bloczek i schody z robotnikiem. Pojawia się widok głowy człowieka w kasku budowlanym i napis: "Na budowie zawsze noś kask".

Obliczając wartość pracy, musisz cały czas mieć na uwadze, czy siła jest stała i czy jest równoległa do przemieszczenia ciała. W przypadku niektórych zjawisk zweryfikowanie tych dwóch kwestii bywa trudne.

W celu lepszego zrozumienia tego problemu posłużmy się przykładem.



Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

Źródło: Tomorrow Sp. z o.o., licencja: CC BY 3.0.

Animacja z placu budowy: pompa do betonu, obok grucha z betonem leje beton do pompy (na samochodzie), pompa ma rozłożony wysięgnik rurowy i pompuje beton na możliwie wysokie piętro. Wysięgnik nie jest zupełnie prosty, ma załamania jego odcinki są pod

różnymi kątami. Synchronicznie z monologiem lektora kamera pokazuje poszczególne elementy instalacji. Plac budowy, po prawej wysoki budynek, pod budynkiem po lewej zagłębienie terenu. W zagłębieniu terenu stoi grucha z betonem, obok samochód z pompą do betonu; rozłożony wysięgnik sięgający najwyższej kondygnacji budynku. Zagłębienie takie, że grucha z betonem i pompa znajdują się na poziomie przyziemia budynku. Grucha się obraca, pompa pracuje z rury na górze wylewa się płynny beton ale nie tryska pod ciśnieniem. Górny koniec rury możliwie blisko poziomu stropu. Wysiegnik rurowy zostaje „spięty" pionową klamrą albo pojawia się strzałka od ziemi do najwyższego punktu stropu z podpisem „h". Grucha wylewa partię betonu do pompy, beton przechodzi przez pompę, potem wznosi się rurą do góry i wylewa na strop gdzie już zostaje.

Załóżmy, że strop naszego wieżowca znajduje się na wysokości 100 metrów nad ziemią, ma grubość $l = 20\ \text{cm}$ i powierzchnię $P = 500\text{m}^2$. W tablicach stałych fizycznych możemy odczytać, że gęstość betonu wynosi $2\ 200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

Gdybyś chciał obliczyć pracę pompy, wykorzystując w tym celu definicję pracy, musiałbyś znać co najmniej siłę parcia, jaką pompa wywiera na beton, i kąt nachylenia rury transportującej beton (zwróć uwagę, że jest on zmienny). Trudności w takim liczeniu jest wiele i znacznie przekraczają one umiejętności oczekiwane od ucznia. Jednak w tym momencie z pomocą przychodzi nam pojęcie energii i związane z nim prawa. Pompa musi wykonać co najmniej tyle pracy, ile wynosi przyrost energii potencjalnej betonu dostarczanego na wysokość 100 metrów, a to potrafisz już obliczyć.

Wystarczy znajomość wysokości i przetransportowanej masy. Nie dysponujesz wprawdzie masą betonu, ale możesz ją obliczyć, wykorzystując w tym celu definicje gęstości substancji, podaną gęstość betonu oraz powierzchnię i grubość wylewanego stropu:

$$m = d \cdot V = d \cdot P \cdot l = 2\ 200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 500\text{m}^2 \cdot 0{,}2\ \text{m} = 220\ 000\ \text{kg}$$

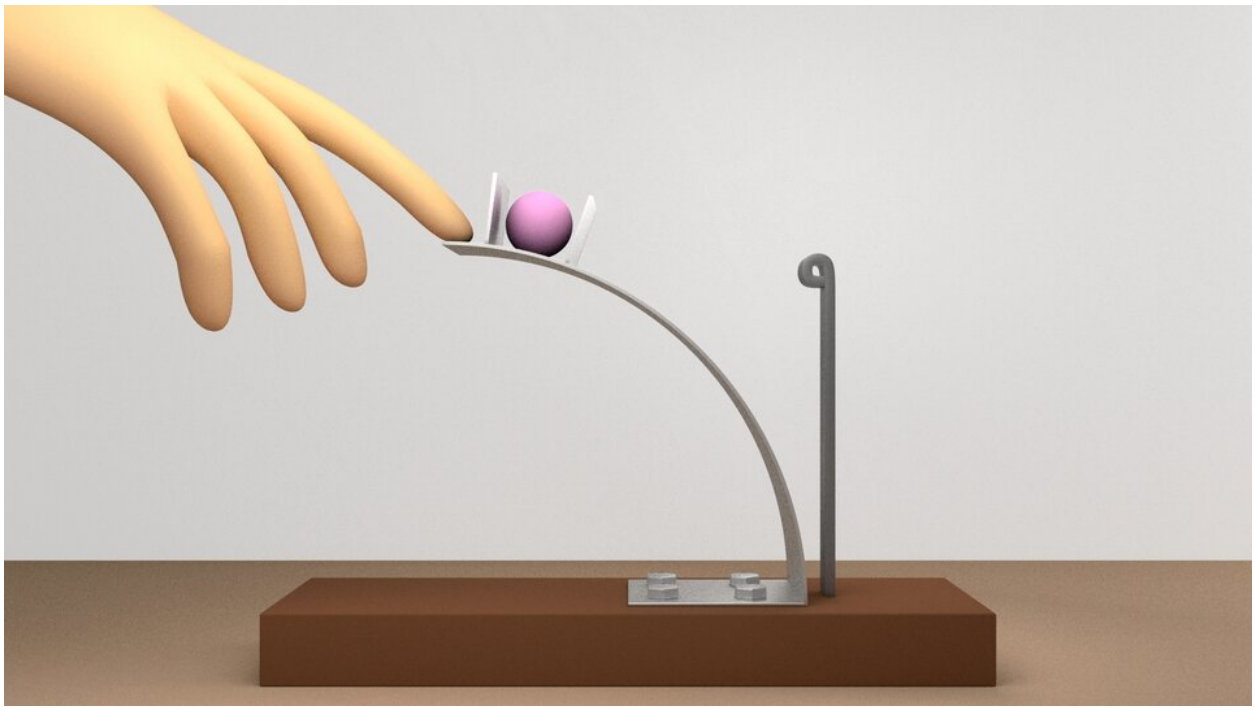
Teraz można już obliczyć energię potencjalną, a właściwie jej przyrost:

$$E_{\text{pot. grawit.}} = m \cdot g \cdot h = 220\ 000\ \text{kg} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 100\ \text{m} = 220\ 000\ 000\ \text{J} = 220\ \text{MJ}$$

Zalewając strop, pompa musiała wykonać pracę co najmniej 220 milionów dżuli.
W rzeczywistości praca ta musi być trochę większa ze względu na opory ruchu płynnej masy betonowej w rurach doprowadzających.

2. Energia potencjalna sprężystości

Zapoznaj się z zamieszczoną poniżej animacją.

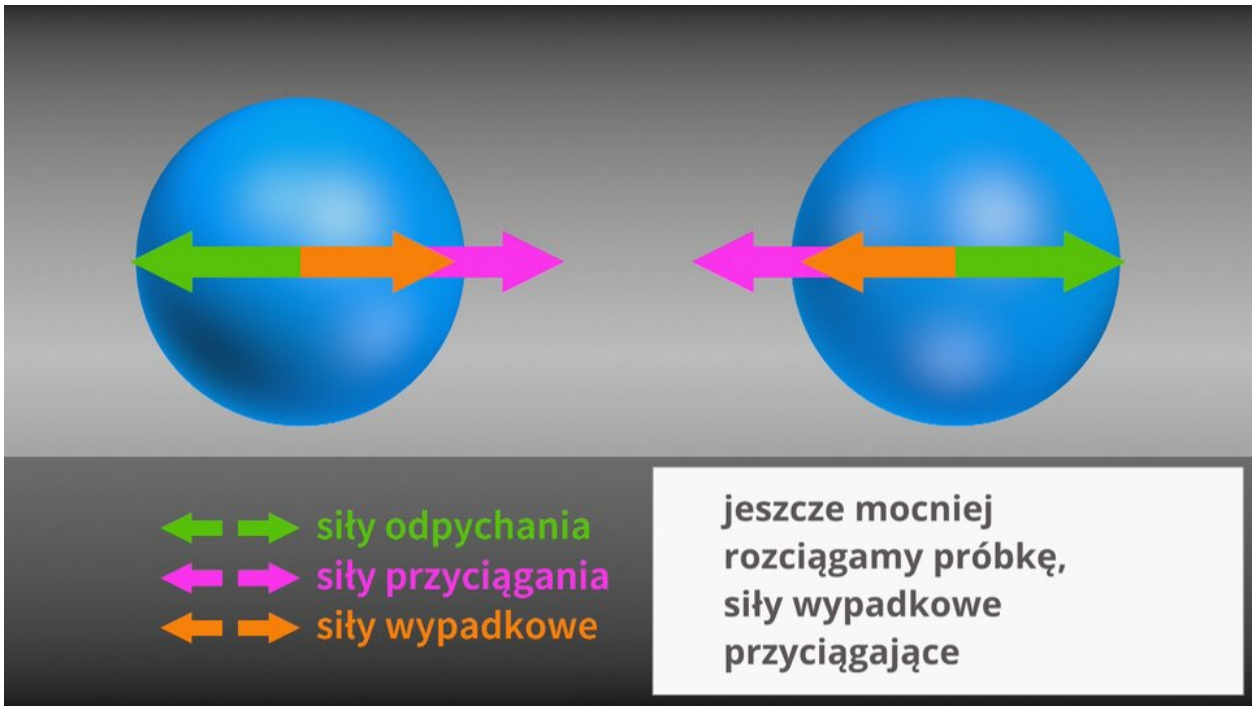


Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

Źródło: Marcin Sadomski, Kevin MacLeod (http://incompetech.com), Krzysztof Jaworski, Tomorrow Sp. z o.o., licencja: CC BY 3.0.

Katapulta

Odkształcony pręt sprężysty też ma energię, ponieważ jest zdolny wykonać pracę. Ten rodzaj energii nazywamy **energią potencjalną sprężystości**. Skoro jest to energia potencjalna, powinna zależeć od wzajemnego położenia ciał, które się przyciągają lub odpychają. W tym przypadku chodzi o oddziaływanie cząsteczek bądź atomów, z których zbudowana jest nasza sprężyna. Gdy zmieniamy kształt sprężyny, zmianie ulegają odległości między cząsteczkami lub atomami tworzącymi sprężynę. Jak to się dzieje, pokazano na animacji zamieszczonej poniżej.



Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

Model oddziaływań cząsteczek w ciałach stałych, cieczach i gazach

Na filmie przedstawiono dwa takie same koła na jasnoszarym tle. Koła niebieskie. Położone obok siebie. Na kołach narysowano strzałki. Dwie strzałki na każdym kole. Ułożone równolegle do podłoża. Jedna zwrócona w lewą stronę, druga w prawą. Końce strzałek na środku kół. Groty strzałek stykają się z krawędzią koła. Strzałki mają dwa kolory: zielony i różowy. Na lewym kole strzałka zielona zwrócona jest w lewą stronę, strzałka różowa w prawą. Na prawym kole strzałka zielona zwrócona jest w prawą stronę, strzałka różowa w lewą. Pod spodem na ciemnoszarym tle znajduje się opis strzałek. Opisy w jednej kolumnie, jeden pod drugim. Strzałki zielone – oznaczają siły odpychania. Strzałki różowe – oznaczają siły przyciągania. Strzałki pomarańczowe – oznaczają siły wypadkowe.
W pierwszej scenie strzałki różowe i zielone na kołach mają te same długości. Na dole pojawia się napis: „próbka swobodna, brak sił zewnętrznych, siły wypadkowe zerowe”.
W drugiej scenie koła sią od siebie odsuwają. Strzałki zielone nie zmieniają długości, strzałki różowe stają się dłuższe, groty sięgają poza koła. Pojawiają się strzałki pomarańczowe. Początek w środku koła. Długość około połowy średnicy koła. Pomarańczowe strzałki zwrócone są ku sobie. Na lewym kole w prawą stronę, na prawym kole w lewą stronę. Na dole pojawia się napis: „rozciągamy próbkę, siły wypadkowe przyciągające”. W kolejnej scenie koła jeszcze bardziej oddalają się od siebie. Zielone strzałki bez zmian. Różowe i pomarańczowe wydłużają się. Groty pomarańczowych prawie stykają się z krawędzią koła. Pojawia się napis: „jeszcze mocniej rozciągamy próbkę, siły wypadkowe przyciągające”. W następnej scenie koła zbliżają się do siebie. Strzałki różowe i pomarańczowe staję się krótsze. Pojawia się napis: „pozwalamy próbce kurczyć się, siły wypadkowe przyciągające”. W następnej scenie położenie kulek wraca do położenia początkowego. Strzałki różowe i zielone mają te same długości. Znikają strzałki pomarańczowe. Pojawia się napis: „brak sił zewnętrznych, siły wypadkowe zerowe”.

W kolejnej scenie koła zbliżają się do siebie. Długość strzałek różowych nie zmienia się. Strzałki zielone wydłużają się, groty sięgają za krawędzie kół. Pojawiają się strzałki pomarańczowe. Początek w środku koła. Długość około połowy średnicy koła. Pomarańczowe strzałki zwrócone są na zewnątrz. Na lewym kole w lewą stronę, na prawym kole w prawą stronę. Pojawia się napis: „ściskamy próbkę, siły wypadkowe odpychające". W kolejnej scenie koła jeszcze bardziej zbliżają się do siebie. Koła prawie stykają się ze sobą. Zielone strzałki bez zmian. Różowe i pomarańczowe wydłużają się. Pojawia się napis: „jeszcze mocniej ściskamy próbkę, siły wypadkowe odpychające". W następnej scenie koła powoli się od siebie odsuwają. Strzałki pomarańczowe i zielone stają się krótsze. Pojawia się napis: „pozwalamy próbce rozprężać się, siły wypadkowe odpychające". Po chwili koła wracają do położenia początkowego.. Strzałki różowe i zielone mają te same długości. Znikają strzałki pomarańczowe. Pojawia się napis: „brak sił zewnętrznych, siły wypadkowe zerowe". W kolejnej scenie znikają wszystkie strzałki. Zamiast nich, pomiędzy koła pojawia się sprężyna. Sprężyna łączy koła. Na dole widnieje napis: „łatwo zapamiętać kierunek się wyobrażając sobie, że cząsteczki/atomy połączone są sprężyną". Po chwili koła się oddalają. Wewnątrz kół pojawiają się pomarańczowe strzałki. Po jednej na każdym z kół. Strzałki zwrócone są ku sobie. Napis na dole mówi: „rozciągamy próbkę, siły wypadkowe przyciągające". Gdy koła bardziej się oddalają, strzałki się wydłużają. Napis na dole: „jeszcze mocniej rozciągamy próbkę, siły wypadkowe przyciągające". W następnej scenie koła się do siebie zbliżają. W punkcie początkowym pomarańczowe strzałki znikają. Napis na dole: „brak sił zewnętrznych, siły wypadkowe zerowe". Gdy koła się do siebie zbliżają, pojawiają się pomarańczowe strzałki, zwrócone do zewnątrz, przeciwnie do siebie. Napis na dole mówi: „ściskamy próbkę, siły wypadkowe odpychające". Gdy koła jeszcze bardziej zbliżają się do siebie, pomarańczowe strzałki się wydłużają. Napis na dole: „jeszcze mocniej ściskamy próbkę, siły wypadkowe odpychające". Na koniec koła odsuwają się od siebie, pomarańczowe strzałki stają się krótsze. Napis na dole: „pozwalamy próbce rozprężać się, siły wypadkowe odpychające". Po chwili koła wracają do punktu wyjścia. Pomarańczowe strzałki znikają. Napis na dole: „brak sił zewnętrznych, siły wypadkowe zerowe".

Spróbuj ustalić, od czego zależy wartość energii sprężystości, wykonując następujące doświadczenie.

Doświadczenie 1

Ustalenie, od czego zależy energia potencjalna sprężystości.

Co będzie potrzebne

- gumka recepturka lub podobna;
- ławka szkolna;
- moneta, najlepiej dwuzłotowa;
- linijka;
- miękki ołówek albo łatwo zmywalny mazak;
- ściereczka lub nawilżona chusteczka do zmywania śladów ołówka lub flamastra.

Instrukcja

1. W odległości około 10 cm od krótszego brzegu ławki nałóż (naciągnij) na nią gumkę recepturkę. Zadbaj, aby gumka nie była skręcona i miała kierunek prostopadły do dłuższej krawędzi ławki.
2. Zaznacz ołówkiem lub flamastrem początkowe położenie gumki.
3. Na środku ławki narysuj linię prostopadłą do krótszej krawędzi i zaznacz na niej punkt 0 (punkt przecięcia linii i położenia początkowego gumki) oraz odcinki o długości 1, 2 i 3 cm, licząc od początkowego położenia gumki w stronę bliższej krótszej krawędzi ławki. Na rysunku pokazano, jak przygotować zestaw doświadczalny.

Źródło: Dariusz Adryan, licencja: CC BY 3.0.

4. Połóż monetę na ławce tak, aby jej krawędź przylegająca do gumki znalazła się w punkcie 0 i przyciskając ją do powierzchni ławki, naciągnij gumkę o 1 cm. Krawędź monety przylegająca do gumki powinna znaleźć się na linii oznaczonej 1 cm.

5. Puść monetę, pozwalając napiętej gumce ją popchnąć. Istotne jest, aby puszczając monetę, nie popchnąć jej po ławce. Palec trzeba zdecydowanym ruchem podnieść w górę, a moneta powinna zostać wprawiona w ruch tylko siłą sprężystości.

6. Zaznacz położenie monety po zatrzymaniu i zmierz odległość, na jaką się przesunęła. Powinieneś mierzyć od punktu 0 do miejsca położenia tej krawędzi monety, która jest bliżej punktu 0.

7. Pomiar powtórz około 5–6 razy. Odrzuć te wyniki, przy których zdarzyło ci się palcem popchnąć monetę po ławce. Pozostałe wpisz do tabeli wyników.

8. Zetrzyj ślady wskazujące położenia końcowe monety.

9. Powtórz czynności od pkt. 4. do 7., zwiększając odkształcenie gumki do 2 cm.

10. Zanotuj wynik w tabeli 1 i zetrzyj ślady na ławce.

11. Jeśli długość ławki na to pozwala, powtórz doświadczenie dla odkształcenia równego 3 cm.

Tabela do doświadczenia

Odkształcenie [cm]	Przesunięcie monety [cm]	Średnie przesunięcie monety [cm]
1		s_1
2		s_2
3		s_3

Podsumowanie

1. Jeśli wyniki w trzeciej kolumnie tabeli rosną, oznacza to, że praca wykonana przez odkształconą sprężyście gumkę była coraz większa. Ponieważ praca ta była wykonywana kosztem energii sprężystości, możemy wnioskować, że wielkość energii sprężystości zależy od wielkości odkształcenia: im większe odkształcenie, tym większa energia.

2. W tabeli powyżej wartości średnich przesunięć monety oznaczono symbolicznie s_1, s_2, s_3. W twojej tabeli będę to konkretne liczby. Iloraz $\frac{s_1}{s_2}$ mówi nam, ile razy energia odpowiadająca odkształceniu o 2 cm jest większa od energii przy odkształceniu o 1 cm. Liczba ta powinna w przybliżeniu wynosić 4. Oznacza to, że **dwa razy większe odkształcenie powoduje zgromadzenie cztery razy większej energii**.

    1. Jeśli udało ci się wykonać trzeci pomiar, to iloraz $\frac{s_3}{s_1}$ mówi nam, ile razy energia odpowiadająca odkształceniu o 3 cm jest większa od energii przy odkształceniu o 1 cm. Jeżeli liczba ta wynosi około 9, oznacza to, że trzy razy większe odkształcenie odpowiada dziewięciokrotnemu wzrostowi energii sprężystości.

3. Z obliczeń w punktach 2. i 3. wynika, że **energia potencjalna sprężystości jest wprost proporcjonalna do kwadratu odkształcenia**.

4. Jeśli twoje wyniki znacząco różnią się od podanych wyżej, zastanów się, co mogło być tego przyczyną. Może warto powtórzyć pomiary, a może odkryłeś nowe prawo?

5. Porównaj swoje pomiary z pomiarami innych osób w klasie. Zastanów się, dlaczego wartości przesunięć monety w pomiarach kolegów i koleżanek są różne mimo takich samych odkształceń.

energia potencjalna sprężystości

– jedna z form energii mechanicznej. Mają ją ciała odkształcone sprężyście. Odkształcone to znaczy rozciągnięte, ściśnięte, wygięte lub skręcone. Wartość tej energii jest wprost proporcjonalna do kwadratu odkształcenia oraz zależy od własności sprężystych odkształcanego ciała. Zawsze jest równa pracy, jaką trzeba włożyć, aby odkształcić ciało.

* Ile wynosi wartość energii potencjalnej?

Ćwiczenie 5

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Podsumowanie

- **Energia potencjalna** jest jedną z form energii mechanicznej. Mają ją ciała, które przyciągają się lub odpychają, a jej wartość zależy od położenia tych ciał względem siebie. Jeśli między ciałami działa siła grawitacji – mówimy o energii potencjalnej grawitacji, jeśli siła sprężystości – to energia nazywa się potencjalną sprężystości.
- **Energia potencjalna grawitacji** to energia układu ciał oddziałujących siłami grawitacyjnymi. Wartość tej energii zależy od masy ciał oraz od odległości między nimi; rośnie, gdy zwiększa się odległość między oddziałującymi ciałami, oraz jest większa dla ciał o większej masie.
- Wartość energii potencjalnej grawitacji dla ciała o masie m znajdującego się w pobliżu powierzchni ziemi obliczamy ze wzoru:
  $E_{\text{pot.grawit.}} = m \cdot g \cdot h,$

  gdzie h oznacza wysokość ponad pewien umownie przyjęty poziom.
- Wartość energii potencjalnej grawitacji zależy od wyboru poziomu, względem którego ją obliczamy. Przyjmuje się, że na tym umownym poziomie energia potencjalna jest równa zero.
- Przyrost energii potencjalnej grawitacji nie zależy od wyboru poziomu odniesienia i jest wprost proporcjonalny do masy ciała i zmiany wysokości.

- **Energia potencjalna sprężystości** to energia zgromadzona w ciałach odkształconych sprężyście, czyli rozciągniętych, ściśniętych, wygiętych lub skręconych. Wartość tej energii jest wprost proporcjonalna do kwadratu odkształcenia oraz zależy oraz od własności sprężystych odkształcanego ciała. Zawsze jest równa pracy, jaką trzeba włożyć, aby odkształcić ciało.

Zadania podsumowujące lekcję

> **Polecenie 1**
>
> Oblicz energię potencjalną grawitacji samolotu lecącego na wysokości 6000 m nad powierzchnią ziemi. Masa samolotu wynosi 200 ton.

> **Polecenie 2**
>
> Oblicz, ile pracy może wykonać 20 litrów wody spadającej z wysokości 10 m. Gęstość wody wynosi 1 kg/litr.

> **Polecenie 3**
>
> Naciągając strunę gitary, muzyk wykonał pracę 2 J. Oblicz, ile energii potencjalnej sprężystości zostało zgromadzone w tej strunie.

> **Polecenie 4**
>
> Energia potencjalna sroki lecącej na wysokości 10 m nad powierzchnią morza ma wartość 200 J względem tej powierzchni. Oblicz, ile wynosi masa tego ptaka.

> **Polecenie 5**
>
> Energia potencjalna grawitacji jednej cegły znajdującej się na dachu budynku względem biegnącego u jego podnóża chodnika wynosi 80 J. Oblicz wartość tej energii dla pięciu takich cegieł leżących obok siebie na tym samym dachu.

Ćwiczenie 6

Uzupełnij tekst.

Trenujący z ekspanderem kulturysta, rozciągnął sprężynę o 20 cm, co spowodowało _____ energii potencjalnej _____ o 200 J. Jeśli w następnym ćwiczeniu zawodnik rozciągnie tę samą sprężynę o 40 cm, to _____ potencjalna sprężystości wzrośnie o _____ dżuli.

zmniejszenie | grawitacji | sprężystości | 400 | energia | zwiększenie | 800

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 7

Uzupełnij luki tak, aby zdania były prawdziwe.

Turysta wypoczywający w Karkonoszach jednego dnia wybrał się na szczyt Śnieżki, wchodząc najkrótszą, ale i najbardziej stromą trasą. Innego dnia wybrał się na ten sam szczyt, wybierając trasę dłuższą, lecz biegnącą łagodnymi zakosami. Pierwszego dnia turysta wykonał pracę _____ podczas drugiego wejścia, ponieważ _____.

pracował z większą siłą | przebył mniejszą drogę | taką samą jak | przyrost jego energii potencjalnej był taki sam przy obu podejściach | mniejszą niż | większą niż

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Zasada zachowania energii mechanicznej i jej zastosowanie

Ciało znajdujące się na wysokości 10 m ma względem poziomu, od którego liczona jest ta wysokość, pewną energię potencjalną. Gdy ciało zacznie spadać, energia ta będzie malała. Ale jednocześnie zauważymy, że ciało to będzie poruszało się coraz szybciej. To znaczy, że jego energia kinetyczna będzie rosła. A czy wiesz, co stanie się z energią mechaniczną, czyli sumą energii potencjalnej i kinetycznej?

Spadające ciało traci na wysokości, a zyskuje na prędkości. Czy więc dochodzi w nim do zamiany energii potencjalnej na kinetyczną? Czy da się proces takiej przemiany obliczyć w prosty sposób dla dowolnego przedmiotu? Odpowiedzi na te pytania doprowadzą cię do jednego z najważniejszych praw przyrody o nieograniczonych wręcz zastosowaniach

Już potrafisz

- podać definicję energii jako wielkości fizycznej opisującej stan ciała lub układu ciał, które są zdolne do wykonania pracy;
- przedstawiać energię mechaniczną jako sumę energii potencjalnej i kinetycznej;
- podać definicję jednostki energii;
- podać definicję energii potencjalnej;
- obliczać energię potencjalną grawitacji względem wybranego poziomu oraz pracę potrzebną do zmiany tej energii;
- obliczać energię potencjalną sprężystości;
- analizować zmiany energii potencjalnej w różnych zjawiskach;
- obliczać energię kinetyczną ciała.

Nauczysz się

- formułować zasadę zachowania energii mechanicznej;

- analizować przemiany energii z jednej formy w drugą w spadku swobodnym i innych zjawiskach związanych ze zmianą wysokości ciała;
- wskazywać w swoim otoczeniu zjawiska, w których następuje przemiana energii potencjalnej w kinetyczną i odwrotnie;
- stosować zasadę zachowania energii w obliczeniach.

Często obserwujesz sytuację, w której z pewnej wysokości spada piłka. Uderza ona w ziemię, odbija się i zaczyna poruszać się w górę. Jak podczas tego zjawiska zmieniają się energia potencjalna i kinetyczna?

- Podczas spadania piłki maleje jej wysokość nad ziemią, zatem maleje energia potencjalna. Piłka porusza się coraz szybciej, ponieważ działa na nią siłą grawitacji – rośnie zatem energia kinetyczna.
- W chwili uderzenia w powierzchnię ziemi energia potencjalna jest równa zero, a kinetyczna osiąga maksymalną wartość.
- Po odbiciu się piłki rośnie jej wysokość nad powierzchnią ziemi, a zatem energia potencjalna. Wiesz już, że dzieje się tak, gdy wykonujesz pracę podczas podnoszenia. Ale na piłkę działa siła zwrócona w dół, a nie w górę. Piłka porusza się w górę, ponieważ ma ona energię kinetyczną i to jej kosztem następuje wzrost energii potencjalnej. Sama energia kinetyczna maleje i w punkcie osiągnięcia maksymalnej wysokości jest równa zero (piłka dalej się nie wznosi).
- Podczas ruchu w dół i w górę następują przemiany energii: potencjalna zamienia się w kinetyczną, a kinetyczna w potencjalną.
- Wysokość osiągnięta po odbiciu jest mniejsza niż wysokość początkowa. Piłka przy każdym kolejnym odbiciu osiąga coraz mniejsze wysokości.

  Oznacza to, że stopniowo energia mechaniczna maleje. Podczas ruchu piłka napotyka na opór powietrza, zarówno podczas ruchu w dół, jak i w górę. Siły oporu wykonują pracę. Część energii tracona jest także w momencie odbicia.

Przeanalizujmy dokładniej zmiany energii pomiędzy dwoma wybranymi fazami ruchu. Dla uproszczenia rozważań pominiemy zmiany kształtu piłki podczas uderzenia o ziemię i odbicia.

- W początkowej fazie ruchu, na wysokości $h_1 = 5\ \mathrm{m}$ energia potencjalna wynosi $E_1 = m \cdot g \cdot h_1$. Energia kinetyczna wynosi zero (piłka się jeszcze nie porusza), a zatem mechaniczna jest równa potencjalnej E_1.
- Podczas spadania na wysokości np. $h_2 = 4\ \mathrm{m}$ energia potencjalna jest równa $E_2 = m \cdot g \cdot h_2$. Nastąpiła zmiana energii potencjalnej o $\Delta \mathrm{E} = m \cdot g \cdot (h_1 - h_2) = m \cdot g \cdot \Delta h$, gdzie Δh jest odległością przebytą przez spadającą piłkę.

- Ile wynosi energia kinetyczna spadającej piłki po przebyciu drogi $\Delta h = 1$ m? Piłka porusza się ruchem jednostajnie przyspieszonym z przyspieszeniem g. Równania opisujące taki ruch to: $S = \Delta \mathrm{h} = \frac{1}{2} g \cdot t^2$ i $v = g \cdot t$. Można pokazać (wykonajcie sami odpowiednie przekształcenia), że $v = \sqrt{2g \cdot \Delta h}$.
- Obliczamy teraz energię kinetyczną $E_{\mathrm{k}} = \frac{1}{2} m \cdot v^2$ i po podstawieniu wartości prędkości otrzymamy, że energia kinetyczna jest równa $E_{\mathrm{k}} = m \cdot g \cdot \Delta h$.
- Wartość energii kinetycznej jest równa zmianie energii potencjalnej. Widzimy zatem, że gdy jedyną siłą jest siła grawitacji, to wzrost energii kinetycznej jest równy zmniejszeniu się energii potencjalnej. A to oznacza, że energia mechaniczna pozostaje stała.

Zasada zachowania energii mechanicznej jest jedną z fundamentalnych zasad przyrody. Została sformułowana na podstawie bardzo wielu eksperymentów. Jej treść można przedstawić następująco:

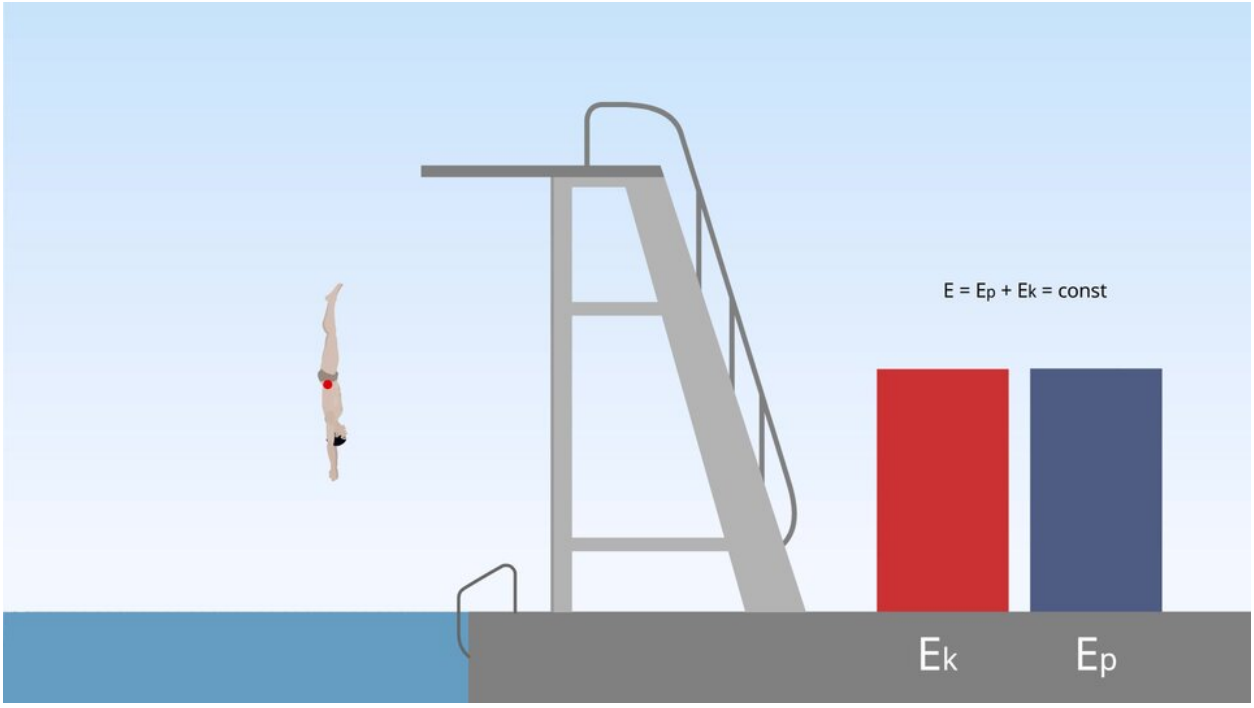
1. **Jeśli siły zewnętrzne nie wykonują pracy nad układem ciał i na składniki układu nie działają siły tarcia lub oporu ośrodka, to energia mechaniczna układu pozostaje stała, co oznacza, że energia kinetyczna i potencjalna składników układu mogą się zmieniać, ale ich suma pozostaje niezmieniona. Można to zapisać równaniem:** $(E_{\mathrm{pot}} + E_{\mathrm{kin}})_{\mathrm{początkowa}} = (E_{\mathrm{pot}} + E_{\mathrm{kin}})_{\mathrm{końcowa}}$.
2. **Tylko działanie sił zewnętrznych może zmienić energię całkowitą ciała lub układu ciał, a zmiana tej energii jest równa pracy wykonanej przez te siły.**
3. **Energia nie powstaje z niczego i nie ginie bez śladu, tylko przekształca się z jednej formy w drugą.**
4. **Jeśli ciało lub układ ciał nie wymieniają energii z otoczeniem, to suma energii kinetycznej i potencjalnej jest taka sama w każdej chwili.**

Siła grawitacji, jaką działają na siebie składniki układu (na przykład Ziemia na piłkę), jest siłą wewnętrzną. Energia potencjalna wynika z istnienia siły grawitacji.

Znajomość tego prawa jest bardzo przydatna w rozwiązywaniu różnych problemów. Jeśli znasz jeden ze stanów jakiegoś układu (np. stan początkowy) i wiesz, że spełniona jest w nim zasada zachowania energii, możesz obliczyć stan tego układu w dowolnej chwili przemian, którym on podlega. W pewnym uproszczeniu można powiedzieć, że wiedząc, ile ktoś ma kapitału – wiesz, na co go stać, lub wiedząc, ile wydał – wiesz, ile miał przedtem.

Przeanalizujmy kilka przykładów:

> **Przykład 1**
>
> **Skoki do wody**



Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

Źródło: Tomorrow Sp. z o.o., licencja: CC BY 3.0.

Basen, woda w basenie prawie równa z krawędzią basenu. Na brzegu wieża do skoków 3 razy wyższa od zawodnika. Drabinka z wieży schodzi do wody. Zawodnik w basenie trzyma się drabinki i jest do połowy wynurzony. Zaznaczony środek masy (punkt kolorowy) zawodnika jest na poziomie wody. Po prawej stronie wieży dwa słupki. Nad słupkami napisy Ep i Ek. Zawodnik wolno zaczyna wchodzić po drabince na wieżę. Wraz ze wzrostem wysokości zawodnika nad wodą rośnie słupek Ep. Zawodnik znalazł się na szczycie wieży skoków. Słupek Ep osiąga największą wysokość (sięga do poziomu środka masy skoczka). Ek dalej zero. Nad słupkiem Ep pojawia się migający napis Ep maksymalne. Nad słupkiem Ek pojawia się napis Ek minimalne. Skoczek przechyla się przez krawędź platformy wieży i zaczyna leciec w dół, najpierw obracając się głową w dół. Słupek Ep maleje (obniża się środek masy – cały czas widoczny). Słupek Ek rośnie. Nad słupkami pojawia się napis: E = Ep + Ek = const. Skoczek jest w połowie drogi. Oba słupki są takiej samej wysokości równej połowie maksymalnej. Stopklatka. Skoczek dalej spada. Słupek Ep maleje, odpowiednio rośnie słupek Ek. Skoczek osiąga punkt, że wyciągniętymi rękami dotyka już wody. Słupek Ek prawie maksymalny, słupek Ep mały. Skoczek do połowy zanurzony, jego środek masy na poziomie wody (wystają tylko nogi). Słupek Ek maksymalny, słupek Ep zerowy. Skoczek nurkuje, zanurza się na znaczną głębokość i wypływa na powierzchnię w pewnej odległości od brzegu.

Przed skokiem z wieży do wody zawodnik wspina się na wieżę, wykonując przy tym pracę. Praca ta nie znika bez śladu – dzięki niej rośnie energia potencjalna grawitacji zawodnika. Jeśli masa zawodnika wynosi $50\ \mathrm{kg}$ i wszedł on na wysokość $4\ m$ (nad

powierzchnię wody w basenie), to jego energia potencjalna wynosi (względem tej powierzchni):

$$E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h = 50\ \text{kg} \cdot 10\frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 4\ \text{m} = 2\,000\ \text{J}$$

Jest to jednocześnie wartość całkowitej energii mechanicznej, ponieważ zawodnik stoi, czyli jego energia kinetyczna jest równa zero. Wartość tej energii pozostanie stała podczas całego lotu skoczka w dół.
Gdy zawodnik przechyli się i zacznie spadać, jego energia potencjalna będzie maleć (maleje wysokość nad wodą). Jednocześnie rośnie prędkość, z jaką porusza się zawodnik, co oznacza, że rośnie jego energia kinetyczna. Przyrost energii kinetycznej jest w każdej chwili jego lotu równy ubytkowi energii potencjalnej.
Obliczmy energię kinetyczną skoczka znajdującego się 1 metr nad powierzchnią wody. Energia potencjalna na wysokości $1\ m$ wynosi:

$$E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h = 50\ \text{kg} \cdot 10\frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 1\ \text{m} = 500\ \text{J}$$

Zatem energia potencjalna zmalała o 1 500 J i o tyle przyrosła energia kinetyczna zawodnika.
Gdyby do ciała zawodnika przypięty był szybkościomierz, to ile wskazywałby on w chwili, gdy zawodnik znajdowałby się nad powierzchnią wody? Wiemy, że energia kinetyczna zawodnika wynosiła wtedy 1 500 J, więc korzystając ze wzoru na energię kinetyczną, możesz obliczyć:

$$E_{\text{kin}\,1} = \frac{1}{2}m \cdot v_1^2$$

$$1\,500\ \text{J} = \frac{1}{2}50\ \text{kg} \cdot v_1^2$$

$$v_1^2 = 60\frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$v_1 = \sqrt{60\frac{m^2}{\text{s}^2}} \approx 7{,}7\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

A teraz oblicz wartość prędkości, jaką osiągnie zawodnik na chwilę przed kontaktem z wodą.
Tuż nad wodą energia potencjalna skoczka zmalała do zera i zgodnie z zasadą zachowania energii energię całkowitą stanowi teraz energia kinetyczna, która w tym momencie osiąga wartość 2 000 J. Powtórz zatem poprzednie obliczenia, zmieniając wartość energii kinetycznej:

$$E_{\text{kin}\,1} = \frac{1}{2}m \cdot v_1^2$$

$$2000\ \text{J} = \frac{1}{2}50\ \text{kg} \cdot v_1^2$$

$$v_1^2 = 80\frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$v_1 = \sqrt{80 \frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2}} \approx 8{,}9 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

A co dzieje się z energią zawodnika, który zanurza się w wodzie? Na tym etapie nie jest już spełniona zasada zachowania energii mechanicznej – opór, jaki stawia woda, jest nie do pominięcia. Tym niemniej energia zawodnika nie znika bez śladu. Jej kosztem ciało zawodnika wykonuje pracę, „rozgarniając" wodę, a część tej energii zamienia się w inne rodzaje energii – energię dźwiękową (wszak słyszymy plusk) oraz energię wewnętrzną, o której będzie mowa dalej.

Zwróć uwagę, że wiedzę o energii i prędkości zawodnika na różnych wysokościach czerpiemy tylko z informacji, ile miał energii na początku, i stosując zasadę zachowania energii mechanicznej. Możemy tak zrobić, jeśli pominiemy opór powietrza.

Przykład 2

Skoki na batucie (trampolinie)

Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

Źródło: Tomorrow Sp. z o.o., licencja: CC BY 3.0.

Animacja przedstawiająca batut. Na batucie skoczek wykonuje charakterystyczne ruchy dla rozbujania batutu, wykonuje kilka coraz wyższych podskoków. Po prawej stronie słupki energii: Eps, Epg i Ek (potencjalna sprężystości, potencjalna grawitacyjna i kinetyczna). Przy wstępnych skokach słupki nic nie pokazują (zerowe) tylko widnieją napisy nad słupkami. Scena zaczyna się w momencie, gdy spadający sportowiec zaczyna uginać batut. Słupek Eps szybko rośnie do maksymalnej wartości. Następuje stopklatka w momencie, gdy sportowiec ugiął maksymalnie batut. Batut prostuje się, sportowiec unosi się nabierając prędkości. Słupek Eps maleje , rośnie słupek Ek, Epg = 0. Stopkalatka w momencie gdy batut jest płaski, wtedy Ek= max, Eps = Epg = 0. Skoczek zaczyna ruch

opóźniony do góry. Wznosi się na maksymalną wysokość, gdzie jego prędkość maleje do zera. Słupki: Eps = 0, Ek maleje, Epg rośnie odpowiednio. W szczytowym punkcie nastepuje stopklatka. Słupki: Eps=0, Ek=0, Epg=max Skoczek zaczyna spadać ruchem przyspieszonym. Słupki: Epg maleje, Ek rośnie, Eps=0. W momencie, gdy jego stopy dotkną płaskiego batutu stopklatka. Wtedy słupki: Eps=0, Epg=0, Ek=max skoczek dalej spada (ale nieznacznie) napinając batut. Słupki: Ek maleje, Eps rośnie, Epg=0. W chwili, gdy batut jest maksymalnie mapięty następuje stopklatka. Wtedy słupki: Ek=0, Epg=0, Eps= max Następnie nastepuje powtórzenie opisanych scena już bez stopklatek i komentarza. Widać jedynie słupki energii.

Taki skok możemy podzielić na 5 etapów:

1. Etap magazynowania energii kosztem pracy: aby podskoczyć na sprężystej siatce batutu, musisz się od niego odbić. Podczas tego odbijania (naciskania na siatkę) twoje mięśnie wykonują pracę, a batut zostaje odkształcony. Dochodzi wówczas do zgromadzenia w odkształconej siatce energii w postaci energii potencjalnej sprężystości. Jest to całkowita energia mechaniczna, jaką zgromadził układ (składający się z ciebie i batutu), z którą rozpoczynasz skok.
2. Etap zamiany energii potencjalnej sprężystości na energię kinetyczną: wracający do stanu równowagi batut pcha cię w górę i kosztem jego energii potencjalnej sprężystości rośnie twoja energia kinetyczna. Z chwilą gdy twoje stopy odrywają się od siatki, energia potencjalna sprężystości maleje do zera, a energia kinetyczna ma największą wartość, równą całkowitej energii mechanicznej.
   W rozważaniach tych dla uproszczenia opisu możesz pominąć niewielkie zmiany energii potencjalnej grawitacji podczas odbijania.
3. Etap zamiany energii kinetycznej w potencjalną grawitacji: dalszy nasz lot w górę odbywa się teraz kosztem energii kinetycznej. Rośnie twoja energia potencjalna grawitacji, a energia kinetyczna maleje. W najwyższym punkcie toru lotu energia kinetyczna maleje do zera, z kolei energia potencjalna grawitacji osiąga swoją maksymalną wartość równą całkowitej energii mechanicznej.
4. Etap zamiany energii grawitacyjnej w energię kinetyczną: od tego momentu rozpoczyna się twój ruch w dół. Energia grawitacji maleje, a jej kosztem rośnie energia kinetyczna.
5. Etap zamiany energii kinetycznej w energię sprężystości: spadając na siatkę batutu, powodujesz jej odkształcenie – twoja energia kinetyczna przekształca się w energię potencjalną sprężystości batutu i cały proces zaczyna się od nowa.

Jeśli pominiesz opory ruchu, to przez cały ten czas suma energii kinetycznej i potencjalnej była taka sama, choć poszczególne składniki tej energii zmieniały się. Jeśli chcesz, żeby twój kolejny skok był wyższy od poprzedniego, musisz zwiększyć bilans energii mechanicznej układu, wykonując dodatkową pracę. Osiągniesz to „dokładając”

energię poprzez odpowiednio zsynchronizowane, dodatkowe ruchy mięśni mające na celu silniejsze odbicie się od siatki.

Przykład 3

Ile energii potencjalnej sprężystości trzeba było zmagazynować w siatce batutu, aby dziecko o masie 30 kg podskoczyło na wysokość 0,5 m? Oblicz wartość prędkości dziecka w momencie, gdy jego stopy odrywały się od siatki.

Analiza zadania i rozwiązanie:

$m = 30\ \mathrm{kg}$

$h = 0{,}5\ \mathrm{m}$

W najwyższym punkcie toru lotu, czyli na wysokości $0{,}5\ \mathrm{m}$, cała energia mechaniczna dziecka skupiona była w postaci energii grawitacyjnej i miała wartość:

$$E_{\text{pot. graw.}} = m \cdot g \cdot h = 30\ \mathrm{kg} \cdot 10\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}} \cdot 0{,}5\ \mathrm{m} = 150\ \mathrm{J} = E_{\text{mech}}$$

Tyle samo wynosiła wartość całkowitej energii mechanicznej w czasie całego skoku. Oznacza to, że w chwili maksymalnego odkształcenia siatki, gdy cała energia była zgromadzona w postaci energii sprężystości, jej wartość też wynosiła 150 dżuli.
W chwili gdy stopy dziecka odrywały się od siatki, cała energia mechaniczna skupiona była w formie energii kinetycznej i też miała wartość $150\ \mathrm{J}$. Korzystając ze wzoru na energię kinetyczną, możesz obliczyć prędkość dziecka:

$$E_{\text{kin}\,1} = \frac{1}{2} m \cdot v_1^2$$

$$150\mathrm{J} = \frac{1}{2} 30\mathrm{kg} \cdot v_1^2$$

$$v_1^2 = 10\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}}$$

$$v_1 = \sqrt{10\frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2}} \approx 3{,}1\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

Odpowiedź:

Aby dziecko podskoczyło na wysokość $0{,}5\ \mathrm{m}$, energia potencjalna sprężystości batutu musiała wynosić co najmniej $150\ \mathrm{J}$. W chwili gdy dziecko odrywało stopy od siatki, jego prędkość miała wartość około $3{,}1\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$. Była to największa wartość prędkości podczas tego skoku.

Zwróćmy uwagę, że wiedzę o energii i prędkości dziecka czerpiemy tylko z informacji, ile miało ono energii na pewnym etapie skoku i stosując zasadę zachowania energii mechanicznej. Oczywiście możemy tak zrobić, jeśli pominiemy opory ruchu.
* W rozważanych przykładach zawsze podkreślamy, że należy pominąć opory ruchu, bo tylko wtedy spełniona jest zasada zachowania energii.

Na początku tego rozdziału, we fragmencie poświęconym wykonywaniu pracy, mogłeś przeczytać, że fizycy stosują pojęcie pracy w innym znaczeniu niż to, z którym spotykasz się

na co dzień.

Praca w rozumieniu fizyki związana jest ze zmianami składników energii mechanicznej układu. Podrzucając pionowo do góry piłkę, wykonujesz pracę przeciwko siłom grawitacji, energia potencjalna piłki rośnie, a kinetyczna maleje. Gdy piłka opada, siły grawitacji wykonują pracę nad piłką. Jej energia potencjalna maleje, a energia kinetyczna rośnie. Czy jednak jest możliwe, aby na ciało działała siła i mimo to energia nie ulegała zmianie?

Przeanalizujmy przykład, w którym dziecko ciągnie pionowo w dół linkę balonika, nie pozwalając mu zmienić wysokości, na której się znajduje, i jednocześnie przesuwa się poziomo.

Czy zmienia się energia potencjalna balonu? Jeśli balonik ciągle pozostaje na tej samej wysokości w stosunku do powierzchni ziemi, to jego energia potencjalna jest cały czas taka sama. Mówimy, że zmiana energii potencjalnej jest równa zero. Siła naciągu linki skierowana jest pionowo, a zatem prostopadle do prostej, po której przesuwa się balonik.

Uważny obserwator znajdzie wiele podobnych przykładów. Niosąc ciężką walizkę, nie podnosisz jej w górę i nie opuszczasz, dzięki temu unikasz dodatkowego nakładu pracy wykonywanego kosztem siły swoich mięśni. I znowu, jak w przykładzie wyżej, siła, jaką działamy na walizkę, jest pionowa, czyli prostopadła do toru, wzdłuż którego walizka jest niesiona.
W obu powyższych przykładach mimo działania siły i przemieszczania się ciała nie następowała zmiana energii potencjalnej. W obu sytuacjach działająca siła była prostopadła do toru, wzdłuż którego przemieszczało się ciało.

Oprócz energii potencjalnej ciała mogą mieć jeszcze energię kinetyczną. W jaki sposób można ją zmienić? Na lekcji poświęconej energii kinetycznej dowiedziałeś się, że ciała zyskują energię kinetyczną kosztem pracy. Energia kinetyczna równa jest wykonanej nad ciałem pracy.

Jak musi być zorientowana siła, która spowoduje zmianę wartości prędkości ciała?
Jeżeli prędkość ma wzrosnąć – powinna to być siła o takim samym kierunku i zwrocie jak prędkość, jeśli zmaleć – oczywiście trzeba przyłożyć siłę hamującą o zwrocie przeciwnym.

A jak zmieni się wartość prędkości (a zatem i energii kinetycznej), jeżeli siła będzie prostopadła do toru, po którym przemieszcza się ciało?
Aby zmienić wartość prędkości, potrzebne jest przyspieszenie. Ono z kolei jest spowodowane siłą o odpowiednim kierunku i zwrocie. Siła prostopadła do przemieszczenia nie może wywołać przyspieszenia powodującego zmianę wartości prędkości. Wynika z tego, że energia kinetyczna będzie wtedy stała.

Jak widać, podobnie jak działo się to w przypadku energii potencjalnej, siła prostopadła do przemieszczenia nie zmienia energii kinetycznej ciała.

> **Zapamiętaj!**
>
> Praca siły prostopadłej do kierunku przemieszczania się ciała jest równa zero, ponieważ nie powoduje zmiany energii mechanicznej układu.

Na koniec zastanówmy się, jaki jest związek pracy wykonywanej przez daną siłę a energią mechaniczną ciała.

- Aby zwiększyć energię kinetyczną, trzeba wykonać pracę. W fizyce zmiany wielkości fizycznej obliczamy, odejmując od wartości końcowej wartość początkową tej wielkości. Zmiana energii kinetycznej będzie równa: $E_{\text{kin}} = E_{\text{kin końcowa}} - E_{\text{kin początkowa}}$. Jeżeli energia kinetyczna będzie rosła, to zmiana będzie dodatnia, jeżeli będzie malała (ciało zmniejsza prędkość) – ujemna. Wynika z tego, że praca siły zwiększającej prędkość (i oczywiście energię kinetyczną) będzie dodatnia, a siły hamującej – ujemna i praca ta będzie zmniejszać wartość energii.
  Przykładem takiej siły jest siła tarcia. Ma ona zawsze zwrot przeciwny do prędkości ciała. Jej działanie prowadzi do zmniejszania się energii kinetycznej ciała, aż do jego zatrzymania się.
  Z tego wynika, że praca siły zewnętrznej przeciwdziałającej ruchowi ciała równa jest energii kinetycznej tego ciała: $W = E_{\text{kin}}$.
- Aby podnieść ciało na pewną wysokość i uzyskać wzrost energii potencjalnej, musimy wykonać pracę. Wiesz już, że praca ta będzie równa zmianie energii potencjalnej, czyli $E_{\text{pot}} = E_{\text{pot końcowa}} - E_{\text{pot początkowa}}$ i $W = E_{\text{pot}}$. Jeżeli energia potencjalna ciała będzie rosła, to praca będzie dodatnia, a gdy ta energia będzie malała – praca będzie ujemna.
- Z punktu widzenia fizyka praca jest różna od zera, gdy następuje zmiana energii kinetycznej bądź potencjalnej ciała. Wynosi ona zero wtedy, gdy zmiana energii nie następuje. Czyli praca dla fizyka jest równa zmianie energii potencjalnej, kinetycznej lub ogólnie zmianie energii mechanicznej.
- To, co zapisaliśmy powyżej, w pełni uzasadnia sformułowane na początku rozdziału zasady zachowania energii mechanicznej. Jeżeli na ciało lub układ ciał nie działa siła zewnętrzna bądź praca jest równa zero, to energia mechaniczna ciała albo układu ciał nie zmienia się.

Ćwiczenie 1

Od skalnej ściany na wysokości 20 m nad drogą oderwał się głaz o masie 500 kg. Jaką wartość osiągnęła energia kinetyczna głazu tuż nad jezdnią? Opory ruchu pomijamy.

- ◯ 10 000 N.
- ◯ Więcej niż 100 000 J.
- ◯ Nie można ustalić, bo nie wiemy po jakim torze spadał głaz.
- ◯ Tyle, ile wynosiła jego energia potencjalna na początku, czyli 10 000 J.
- ◯ Tyle, ile wynosiła jego energia potencjalna na początku, czyli 100 000 N.
- ◯ Tyle, ile wynosiła jego energia potencjalna na początku, czyli 100 000 J.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 2

Które z poniższych twierdzeń jest prawdziwe, a które fałszywe?

	Prawda	Fałsz
Całkowita energia mechaniczna układu jest zawsze stała.	◯	◯
Jeśli suma energii kinetycznej i potencjalnej układu nie zmienia się, to oznacza, że siły zewnętrzne nie wykonują nad nim pracy.	◯	◯
Jeśli znamy wysokość, na jaką doleciała wyrzucona pionowo do góry piłka o masie 0,1 kg, to możemy oszacować jej energię kinetyczną w momencie startu.	◯	◯
Zasada zachowania energii nie ma praktycznego znaczenia, ponieważ zawsze występują jakieś opory ruchu.	◯	◯

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Przykład 4

Kulkę wyrzucono pionowo w górę z prędkością początkową o wartości $2\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$. Obliczamy maksymalną wysokość, na jaką może wznieść się kulka.

Analiza danych:

$v = 2\frac{m}{s}$

$h_{\text{max}} = ?$

W tym zadaniu nie interesuje nas sam proces wyrzucania kulki, tylko jej lot od momentu, kiedy straciła kontakt z ręką rzucającego.

Dla uproszczenia opisu przyjmujemy, że w momencie startu energia potencjalna kulki wynosiła zero. Jest to dopuszczalne, jeżeli punkt, na którym znajdowała się ręka rzucającego, uznamy za wysokość zerową. W takiej sytuacji w momencie startu kulka miała jedynie energię kinetyczną, co oznacza, że całkowita energia początkowa kulki wynosiła:

$$(E_{\text{pot}} + E_{\text{kin}})_{\text{pocz.}} = 0 + \tfrac{1}{2} m \cdot v^2 = \tfrac{1}{2} m \cdot v^2$$

Lecąca w górę kulka traciła energię kinetyczną, ale zyskiwała potencjalną grawitacji. W najwyższym punkcie lotu energia kinetyczna zmalała do zera, a całkowita energia końcowa zgromadziła się w postaci energii potencjalnej, czyli:

$$(E_{\text{pot}} + E_{\text{kin}})_{\text{końc.}} = m \cdot g \cdot h_{\text{max}} + 0 = m \cdot g \cdot h_{\text{max}}$$

Jeśli pominiemy opór powietrza, to spełniona jest zasada zachowania energii, czyli:

$$(E_{\text{pot}} + E_{\text{kin}})_{\text{pocz.}} = (E_{\text{pot}} + E_{\text{kin}})_{\text{końc.}}$$

$$0 + \tfrac{1}{2} m \cdot v^2 = m \cdot g \cdot h_{\text{max}} + 0$$

$$\tfrac{1}{2} m \cdot v^2 = m \cdot g \cdot h_{\text{max}} / m$$

$$\tfrac{1}{2} v^2 = g \cdot h_{\text{max}} / g$$

$$h_{\text{max}} = \frac{v^2}{2g} = \frac{\left(2 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0{,}2 \text{ m}$$

Odpowiedź:
Maksymalna wysokość, na jaką może się wznieść się kulka, wynosi 20 cm.

Zwróćmy uwagę, że do rozwiązania tego zadania niepotrzebna jest znajomość masy kulki. Oznacza to, że dowolne ciało wyrzucone do góry z prędkością $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ wzniesie się na wysokość 20 cm. Słowo „dowolne” zawiera jednak pewne ograniczenia. Dotyczy to ciał, w przypadku których możemy pominąć opór powietrza.

Podsumowanie

- Zasada zachowania energii mechanicznej ma charakter empiryczny, to znaczy, że została sformułowana jako wniosek z bardzo wielu doświadczeń.
- Zasada zachowania energii mechanicznej głosi, że jeśli siły zewnętrzne nie wykonują pracy nad układem ciał i na składniki układu nie działają siły tarcia lub oporu ośrodka, to energia mechaniczna układu pozostaje stała. To znaczy, że energia kinetyczna i potencjalna składników układu mogą się zmieniać, ale ich suma pozostaje niezmieniona. Można to zapisać równaniem:
  $(E_{\text{pot}} + E_{\text{kin}})_{\text{pocz.}} = (E_{\text{pot}} + E_{\text{kin}})_{\text{końc.}}$
- Zasada zachowania energii mechanicznej ma duże znaczenie praktyczne, ponieważ pozwala w łatwy i prosty sposób obliczyć lub przynajmniej oszacować niektóre wielkości opisujące układ ciał w różnych procesach.

Praca domowa

Polecenie 1.1

Żongler rzuca talerz pionowo w górę z prędkością początkową $5\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

1. Oblicz maksymalną wysokość, na jaką się wzniesie talerz.

2. Narysuj pozycję, jaką powinien mieć talerz, aby opór powietrza był jak najmniejszy.

Polecenie 1.2

Piłka do siatkówki spada z wysokości $5\ \text{m}$ nad podłogą. Masa takiej piłki wynosi ok. $250\ \text{g}$.

1. Oblicz wartość prędkości, z jaką piłka ta uderzyłaby w podłogę, gdyby nie było oporu powietrza.

2. Okazało się, że piłka ta uderzyła w podłogę z prędkością o wartości $8\frac{\text{m}}{\text{s}}$. Oblicz pracę sił oporu powietrza podczas spadania piłki.

3. Wartość siły oporu powietrza zależy od wartości prędkości, która podczas spadania się zmienia – w miarę wzrostu prędkości siła oporu też rośnie. Oblicz średnią wartość tej siły, zakładając, że była ona stała.

Polecenie 1.3

Dźwig podnosi płytę betonową o masie 1 tony na wysokość 10 m, a następnie przemieszcza ją poziomo na odcinku 20 m. W innej sytuacji przesunął ją poziomo na odległość 30 m, a potem podniósł na wysokość 10 m. W której z tych sytuacji praca wykonana przez siłę działającą na płytę będzie większa? Uzasadnij odpowiedź.

Słowniczek

empiryczny

– oparty na doświadczeniu, doświadczalny.

Zadania podsumowujące lekcję

Polecenie 2

Doniczka o masie $2\ \mathrm{kg}$ spada z wysokości 6 metrów. Oblicz wartość energii kinetycznej doniczki na wysokości 1 metra.

Polecenie 3

Opisz przemiany energii zachodzące przy wypuszczeniu strzały z łuku pionowo do góry. Podziel całe zjawisko na etapy, zaczynając od naciągnięcia cięciwy łuku, a kończąc na etapie powrotu strzały na poziom, z którego została wystrzelona.

Ćwiczenie 3

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Temperatura i jej związek z energią kinetyczną cząsteczek

Często używasz pojęć: ciepło, zimno. Na przykład po wyjściu z wody mówisz: „Jest mi zimno". A wtedy twój sąsiad na plaży mówi: „Przecież jest bardzo gorąco! Na termometrze jest pewnie z 50 stopni". Patrzysz na niego ze zdziwieniem, ale po chwili, gdy twoja skóra jest już sucha, przyznajesz mu rację. Co znaczą pojęcia ciepło i temperatura? Czy ciepło to wrażenie (odczucie), czy wielkość fizyczna?

Podczas podgrzewania wody w czajniku dostarczasz jej energię. W wyniku tego woda staje się coraz cieplejsza, następnie gorąca, aż w końcu zaczyna wrzeć. Podobnie gdy pocierasz o siebie dwa kawałki drewna, jesteś w stanie doprowadzić do ich zapalenia. Związek temperatury ciała z dostarczaną mu energią zdradza jedną z najciekawszych tajemnic budowy materii: pojedyncze cząsteczki też mają swoją energię

Już potrafisz

- opisywać budowę materii: cząsteczki i atomy znajdujące się w nieustannym ruchu;
- obliczać energię kinetyczną ciał;
- stosować pojęcie temperatury jako jednej z wielkości fizycznych i używać termometrów do jej pomiaru.

Nauczysz się

- odróżniać temperaturę od ciepła;
- opisywać związek temperatury ciała ze średnią energią kinetyczną cząsteczek, z których jest zbudowane;

- podawać definicję bezwzględnej skali temperatury;
- przeliczać wartości temperatury w różnych skalach.

Wspomniana wyżej sytuacja na plaży może cię zachęcić do analizowania sposobu odczuwania ciepła lub zimna. Czy kwestiach percepcji temperatury i jej oceniania możesz ufać swoim zmysłom?
Wykonaj doświadczenie:

Doświadczenie 1

Sprawdzenie zdolności zmysłu dotyku do oceny stopnia nagrzania ciała.

Co będzie potrzebne

- trzy miski na wodę;
- źródło wody zimnej;
- źródło wody bardzo ciepłej (ok. 40°C).

Instrukcja

1. Do jednej z misek nalej wody zimnej; najzimniejszej, jaką dysponujesz.
2. Do drugiej nalej wody bardzo ciepłej, ale nie gorącej, żeby się nie oparzyć.
3. W trzeciej misce sporządź mieszaninę wody ciepłej i zimnej, tak aby otrzymać wodę letnią.
4. Miski ustaw blisko siebie, tak aby trzecia z nich stała pomiędzy pierwszą i drugą.
5. Zanurz jedną rękę w wodzie zimnej, a drugą w ciepłej i potrzymaj około 2-3 minuty.
6. Teraz zanurz obie ręce w misce z wodą letnią.

Podsumowanie

1. Odpowiedz na pytanie: czy woda w środkowej misce była ciepła, czy zimna?

Miałeś okazję przekonać się, że w tej sytuacji nie ma jednoznacznej odpowiedzi. Jedną ręką odczuwasz, że woda w środkowej misce jest ciepła, a druga ręka dostarcza wprost

> przeciwnych wrażeń.

Woda o tej samej temperaturze będzie wydawała ci się cieplejsza albo chłodniejsza w zależności od tego, którą rękę do niej włożyłeś. To znaczy, że nie można polegać na własnych zmysłach, chcąc stwierdzić, czy temperatura wody jest niska czy wysoka.

Wiemy, że aby otrzymać wodę, którą nazwiemy gorącą, musimy ją podgrzać, czyli dostarczyć jej energii. Wiemy też, że cząsteczki ciała znajdują się w nieustannym ruchu i uderzają w ścianki naczynia, wywierając ciśnienie. Jeżeli na przykład podgrzejemy powietrze zawarte w baloniku lub oponie samochodu, to ciśnienie wzrośnie. Oznacza to, że cząsteczki poruszają się szybciej. Pojęcie temperatury jest związane z prędkościami poruszających się cząsteczek, a zatem z ich energią kinetyczną.

Mówimy, że temperatura jest miarą energii kinetycznej cząsteczek, dokładniej – miarą średniej energii kinetycznej cząsteczek ciała.

Nie bez powodu mówimy o średniej energii kinetycznej. Zderzające się ze sobą cząsteczki lub atomy mają różne energie, w dodatku zmieniające się w wyniku zderzeń. Cząsteczka uderzywszy w inną, o mniejszej prędkości, powoduje wzrost jej prędkości, a zatem i energii. Sama zaś energię traci i porusza się wolniej. Nie zmienia to jednak całkowitej sumy oraz wartości średniej energii.

Nie możemy bezpośrednio zmierzyć energii kinetycznej cząsteczek i wyznaczyć wartości średniej. Jednak, jak zapewne wiesz, istnieją przyrządy pozwalające zmierzyć rzeczywistą wartość temperatury. „Sercem" każdego **termometru** jest substancja, której właściwości w czytelny sposób zmieniają się wraz z temperaturą. W termometrach cieczowych wykorzystuje się zależność objętości cieczy od temperatury – właściwość tę nazywamy rozszerzalnością termiczną cieczy. **Używane są też często termometry bimetaliczne, w których od temperatury zależy długość jakiegoś ciała.**

W Polsce stosuje się stopnie Celsjusza oraz obowiązujące w międzynarodowym układzie jednostek SI – kelwiny. W skali Celsjusza punktem zerowym jest temperatura zamarzania wody, a drugim punktem odniesienia jest temperatura wrzenia wody wynosząca 100 °C – w obu przypadkach przy normalnym ciśnieniu atmosferycznym, czyli 1013,25 hPa .

W międzynarodowym układzie jednostek używamy skali zdefiniowanej przez Wiliama Thomsona (lorda Kelvina). Skala ta nazywana jest też **bezwzględną skalą temperatur**.

Zero w skali Kelvina, zwane też **zerem bezwzględnym lub absolutnym**, jest najniższą możliwą temperaturą w przyrodzie i odpowiada sytuacji, gdy ustaje wszelki ruch atomów i cząsteczek, z których zbudowana jest materia. Cząsteczki mają wtedy zerową energię

kinetyczną. W rzeczywistości osiągnięcie temperatury zera kelwinów jest niemożliwe.
W każdej innej sytuacji **temperatura w skali Kelvina jest wielkością wprost proporcjonalną do średniej energii kinetycznej atomów lub cząsteczek**. Oznacza to, że jeśli średnia energia kinetyczna cząsteczek wzrośnie na przykład dwa razy, to temperatura w skali Kelvina też wzrośnie dwa razy.

* Związek między temperaturą a średnią energią kinetyczną można zapisać w postaci wzoru.

W tej skali temperatura zamarzania wody ma wartość $273\ \mathrm{K}$. Wartość temperatury w skali bezwzględnej jest o 273 większa od jej wartości w skali Celsjusza.
Przypomnijmy:

$$T_{\text{Kelvina}} = t_{\text{Celsjusza}} + 273$$

Przykład 1

$$25℃ = (25 + 273)\ \mathrm{K} = 298\ \mathrm{K}$$

$$t_{\text{Celsjusza}} = T_{\text{Kelvina}} - 273$$

Przykład 2

$$400\ \mathrm{K} = (400 - 273)℃ = 127℃$$

Ważne!

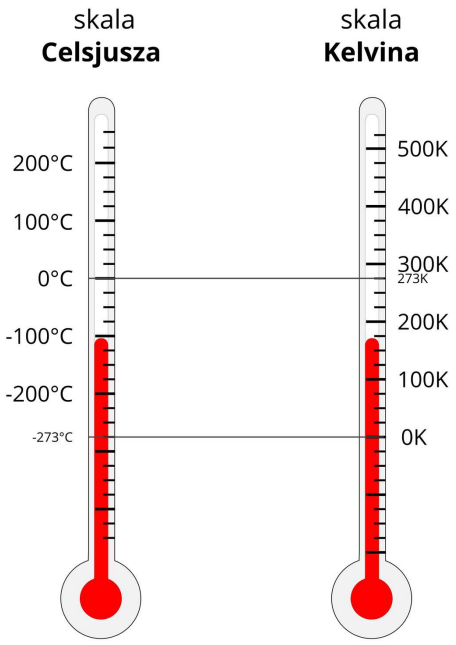
Dokładne przeliczanie stopni Celsjusza na kelwiny (i odwrotnie) jest niezbędne tylko wówczas, gdy chcemy przeliczyć konkretną temperaturę, np. wskazania termometru. Gdy mówimy o różnicy temperatur, np. w mieszkaniu i na zewnątrz domu, to przeliczanie jest zbędne! Jest tak, ponieważ jedyna różnica pomiędzy skalami temperatur Celsjusza i Kelvina polega na odmiennie zdefiniowanej wartości zerowej.

Przykład 3

Temperatura na zewnątrz budynku wynosi −5°C, a w pokoju 22°C.
Różnica temperatur to $22^\circ\mathrm{C} - (-5^\circ\mathrm{C}) = 27^\circ\mathrm{C}$.
Ile to kelwinów? Przeprowadźmy obliczenia:

$$(22 + 273)\ \mathrm{K} - (-5 + 273)\ \mathrm{K} = (22 + 273 + 5 - 273)\ \mathrm{K} = 27\ \mathrm{K}$$

Widzimy, że jeden stopień na skali temperatur Celsjusza jest zawsze równy jednemu kelwinowi. Skala Kelvina jest oparta na skali Celsjusza i jedyna różnica między nimi polega na przesunięciu wartości liczbowych w obydwu skalach względem siebie o stałą wartość.



Źródło: Krzysztof Jaworski, licencja: CC BY 3.0.

Wskazanie temperatury 0 K i poniżej jest niemożliwe. Należy jeszcze podkreślić, że każdy **termometr mierzy zawsze własną temperaturę**. Jeśli chcemy nim zmierzyć temperaturę na przykład wody w wannie, należy zanurzyć termometr w wodzie i poczekać, aż **średnie** energie kinetyczne cząsteczek wody i cząsteczek cieczy termometrycznej wyrównają się. Wtedy temperatura wody będzie taka sama jak temperatura termometru – mówimy wówczas, że woda i termometr są w **równowadze termicznej** i wskazanie termometru jest jednocześnie temperaturą termometru i temperaturą wody.
Przy wykonywaniu takiego pomiaru należy zadbać, aby objętość cieczy termometrycznej nie była zbyt duża. Gdybyśmy włożyli typowy laboratoryjny termometr rtęciowy do wody w probówce, to wskazanie termometru miałoby znacząco inną wartość niż pierwotna temperatura wody w probówce.

Przykład 4

Powietrze w atmosferze ziemskiej jest mieszaniną różnych gazów. Głównymi jego składnikami są azot i tlen. Oba te gazy mają jednakowe temperatury (wszak tworzą jedno powietrze). Czy to oznacza, że cząsteczki tych gazów poruszają się tak samo szybko?
Odpowiedź:
Jednakowe temperatury oznaczają taką samą średnią energię kinetyczną. Cząsteczki gazów tworzących powietrze różnią się jednak masą: azot jest lżejszy niż tlen, dlatego aby osiągnąć tę samą wartość energii kinetycznej, cząsteczki azotu muszą poruszać się szybciej.

Ćwiczenie 1

Temperatura powietrza wzrosła od 200 do 400 K. Jak i ile razy zmieniła się średnia energia kinetyczna cząsteczek tego powietrza?

- ◯ Nie można policzyć zmiany energii cząsteczek.
- ◯ Wzrosła od 200 do 400 J.
- ◯ Zmalała dwa razy.
- ◯ Nie zmieniła się.
- ◯ Wzrosła dwa razy.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Podsumowanie

- Wielkość fizyczna zwana temperaturą związana jest ze średnią energią kinetyczną atomów i cząsteczek – dwa ciała mają taką samą temperaturę, jeśli średnia energia kinetyczna ich atomów lub cząsteczek jest taka sama. Ciała o wyższej temperaturze mają większą wartość średniej energii kinetycznej atomów i cząsteczek.
- W skali Kelvina (zwanej też bezwzględną skalą temperatur) temperatura jest wprost proporcjonalna do średniej energii kinetycznej atomów lub cząsteczek.
- W skali Celsjusza punktem zerowym jest temperatura, w której woda zamarza, a 100 stopni oznacza temperaturę, w której woda wrze przy normalnym ciśnieniu atmosferycznym.
- Zero kelwinów (inaczej zero bezwzględne) jest najniższą możliwą temperaturą w przyrodzie, w tej temperaturze średnia energia kinetyczna atomów i cząsteczek jest równa zero (atomy i cząsteczki są w bezruchu).
- Temperaturę odczytaną w stopniach Celsjusza przeliczamy na kelwiny poprzez dodanie liczby 273. $T_{\text{Kelvina}} = t_{\text{Celsjusza}} + 273$.
- **Różnica** temperatur ma taką samą wartość zarówno skali Celsjusza, jak i w skali bezwzględnej.

Słowniczek

termometr

– przyrząd do pomiaru temperatury. Wykorzystuje zależność np. objętości cieczy lub długości ciał od temperatury.

zero bezwzględne (absolutne)

– zero w skali Kelvina, zwane też zerem bezwzględnym lub absolutnym; jest najniższą możliwą temperaturą w przyrodzie i odpowiada sytuacji, gdy ustaje wszelki ruch atomów i cząsteczek, z których zbudowana jest materia.

Zadania podsumowujące lekcję

Polecenie 1

Na pustyni temperatura w ciągu doby zmienia się od minus 10 do plus 50 stopni Celsjusza. Oblicz, jaką wartość ma dobowa różnica temperatur na pustyni, wyrażona w kelwinach?

Polecenie 2

Temperatura materii w jądrze gwiazdy sięga 15 mln K, natomiast powierzchnia gwiazdy ma temperaturę 10 000 kelwinów. Oblicz, ile razy mniejszą średnią energię kinetyczną mają atomy na powierzchni gwiazdy niż w jej jądrze?

Polecenie 3

Podaj temperaturę zamarzania i wrzenia wody w skali Kelvina.

Polecenie 4

Balonik wypełniono mieszaniną helu i powietrza. Gazy zamknięte w baloniku mają temperaturę 20 °C. Czy to oznacza, że wszystkie atomy i cząsteczki poruszają się z prędkościami o takiej samej wartości średniej? Odpowiedź uzasadnij. Wskazówka: atomy helu mają masę około siedem razy mniejszą od cząsteczek gazów tworzących powietrze.

Energia wewnętrzna. Ciepło. Zmiany energii wewnętrznej spowodowane wykonywaniem pracy i przepływem ciepła

Cząsteczki i atomy każdego ciała są w bezustannym ruchu. Każda taka cząstka posiada energię kinetyczną. Miarą średniej energii kinetycznej jest temperatura. Czym jest zaś suma energii wszystkich cząsteczek lub atomów? W jaki sposób możemy ją zmieniać?

Wartość energii wewnętrznej danego ciała lub układu jest trudna do ustalenia ze względu na jej złożony charakter. Łatwiejsze natomiast do określenia, a przy tym istotniejsze są zmiany owej energii na skutek rozmaitych zjawisk, takich jak na przykład rozprężenie gazu pod ciśnieniem

Już potrafisz

- opisywać budowę materii z uwzględnieniem nieustannego ruchu cząsteczek i atomów;
- obliczać energię kinetyczną ciał;
- stosować pojęcie temperatury jako jednej z wielkości fizycznych i używać termometrów do jej pomiaru;
- opisywać związek temperatury ciała ze średnią energią kinetyczną cząsteczek, z których jest zbudowane.

Nauczysz się

- podawać definicję energii wewnętrznej;

- analizować zmiany energii wewnętrznej przy wymianie ciepła z otoczeniem i wykonywaniu pracy.

Jak wiesz, temperatura jest związana ze średnią energią kinetyczną cząsteczek ciała. Czym jednak różnią się dwa ciała o jednakowej temperaturze, ale mające różne masy, a tym samym różne liczby cząsteczek? Jest oczywiste, że suma energii cząsteczek będzie większa w przypadku ciała o większej masie. Energię związaną z ruchem i wzajemnym położeniem cząsteczek nazywać będziemy energią wewnętrzną.

energia wewnętrzna

– suma energii kinetycznych i potencjalnych wszystkich atomów oraz cząsteczek tworzących dane ciało.

Wynika z tego, że wartość energii wewnętrznej zależy od trzech czynników:

- liczby atomów i cząsteczek tworzących to ciało – więcej cząsteczek to więcej składników sumy;
- temperatury ciała – wyższa temperatura to większa wartość średniej energii kinetycznej cząsteczek, zatem całkowita energia układu będzie większa;
- rodzaju substancji i stanu jej skupienia – wielkość energii potencjalnej pochodzącej od oddziaływań międzycząsteczkowych zmienia się wraz ze stanem skupienia i jest różna w przypadku różnych substancji. Wyjaśnimy to dokładniej w podrozdziale poświęconym procesom zmiany stanów skupienia ciał.

Przykład 1

W takiej samej ustalonej temperaturze wiadro wody ma większą energię wewnętrzną niż szklanka wody, gdyż w wiadrze jest znacznie więcej cząsteczek.

Przykład 2

Szklanka gorącej herbaty ma większą energię wewnętrzną niż ta sama ilość zimnej herbaty, ponieważ cząsteczki gorącego płynu mają większą średnią energię kinetyczną, a w obu szklankach jest ich tyle samo.

Przykład 3

Szklanka wody o temperaturze 0 °C ma większą energię wewnętrzną niż powstała z niej bryła lodu o tej samej temperaturze.

Zastanówmy się, **jak można zmienić energię wewnętrzną ciała**.

Warto wspomnieć o kilku zjawiskach:

- Jeśli potrzemy dłonie jedną o drugą, to poczujemy, że robią się one cieplejsze. Wzrost temperatury świadczy o wzroście energii wewnętrznej.
- Innym dość często występującym zjawiskiem jest ogrzewanie się ciał szlifowanych pilnikiem lub papierem ściernym. Taką pracę bez trudu można wykonać i zobaczyć efekt w domu lub podczas lekcji. Uwaga: nieostrożne wykonanie tej czynności może się nawet skończyć poparzeniem.
- Powszechnym zjawiskiem jest ogrzewanie się powietrza zawartego w oponach samochodów. Opona odkształca się w miejscu styku z podłożem, obrót koła powoduje odkształcanie się kolejnych jej fragmentów, a także ściskanie znajdującego się w niej powietrza. Praca wykonywana przez układ droga–samochód w momencie odkształcania opony i ściskania powietrza powoduje wzrost energii wewnętrznej cząsteczek gazu wewnątrz opony.
- Możesz spróbować (jeżeli masz dostęp do odpowiednich narzędzi) wykonać doświadczenie, w którym będziesz uderzać młotkiem w metalowy pręt położony na twardym podłożu. Okazuje się, że uderzany pręt ogrzewa się. Kowal potrafi w ten sposób rozgrzać metalowy pręt do temperatury, w jakiej zaczyna on świecić.

Powyższe przykłady udowadniają, że temperatura ciała może wzrosnąć dzięki wykonaniu nad nim pracy. Wzrost temperatury jest dowodem na zwiększenie się energii wewnętrznej ciał.

Wzrost temperatury można osiągnąć nie tylko przez wykonanie pracy. Możesz zanurzyć dłonie w ciepłej wodzie i też osiągniesz efekt wzrostu energii wewnętrznej.

Mechanizm procesu przekazywania energii wewnętrznej z ciepłej wody do skóry rąk można opisać następująco:

1. Temperatura wody jest wyższa od temperatury skóry naszych rąk, a to oznacza, że cząsteczki wody mają większą średnią energię kinetyczną.
2. Przylegające do skóry cząsteczki wody zderzają się z cząsteczkami skóry. Podczas tych zderzeń cząsteczki wody tracą energię, a cząsteczki skóry ją zyskują.
3. Energia jest przekazywana z wody do skóry rąk.

Ten sposób przekazywania energii nazywa się **cieplnym przepływem energii** lub **przekazywaniem energii w formie ciepła** lub w skrócie **przepływem ciepła**, a tę część energii wewnętrznej, która została przekazana w opisanym wyżej mechanizmie, nazywamy **ciepłem**.
Cieplny przepływ energii jest możliwy tylko pomiędzy ciałami o różnej temperaturze, odbywa się zawsze od ciała o temperaturze wyższej do ciała o temperaturze niższej i ustaje po wyrównaniu się temperatur.

Jeśli więc włożysz ręce do zimnej wody, to proces przekazywania energii odbywa się w przeciwną stronę. Cząsteczki skóry, które mają większą energię kinetyczną, w zderzeniach z cząsteczkami wody tracą ją, a cząsteczki wody – zyskują, czyli energia jest przekazywana od skóry do wody. Niepoprawne jest stwierdzenie, że to zimno przepływa z wody do rąk. Tym, co przepływa, jest część energii wewnętrznej, zwana ciepłem. To, czy w opisanej powyżej sytuacji odczuwa się wzrost, czy spadek temperatury, zależy od tego, w którą stronę odbywa się ten przepływ.

* Co się dzieje, gdy temperatury, a zatem i średnie energie kinetyczne cząsteczek dwóch stykających się ciał, wyrównają się?

> **Zapamiętaj!**
>
> Ciepło to ta część energii wewnętrznej, którą przekazuje ciało o wyższej temperaturze ciału zimniejszemu. Mechanizm przekazywania energii wewnętrznej na skutek różnicy temperatur to cieplny przepływ energii. Jednostką ciepła, tak jak każdego rodzaju energii, jest dżul.

Ćwiczenie 1

Które stwierdzenia są prawdziwe, a które nie?

	Prawda	Fałsz
W mroźny dzień zimno wpływa do mieszkania z zewnątrz.	◯	◯
W mroźny dzień ciepło przepływa z mieszkania na zewnątrz.	◯	◯
Między ciałami o tej samej temperaturze nie ma przepływu ciepła.	◯	◯
Ciało o wyższej temperaturze ma więcej ciepła.	◯	◯
Cieplny przepływ energii prowadzi do wyrównania temperatur.	◯	◯
Ciało cieplejsze przekazuje temperaturę ciału zimniejszemu.	◯	◯
Ciało cieplejsze przekazuje energię wewnętrzną ciału zimniejszemu.	◯	◯

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Z dotychczasowych rozważań na temat sposobów zmiany energii wewnętrznej ciała wynika, że zmienia ją:

1. praca mechaniczna sił zewnętrznych,

2. cieplny przepływ energii.

Oba te sposoby są niezależne i mogą zachodzić zarówno oddzielnie, jak i jednocześnie. Całkowita zmiana energii wewnętrznej jest sumą zmian wywołanych pracą sił zewnętrznych i ciepła wymienionego z innymi ciałami.

Przykład 4

Podczas wiercenia otworów w stalowej płycie miejsce wiercenia polewane jest cieczą chłodzącą. Dzięki temu płyta i wiertło nie nagrzewają się nadmiernie.

Proces ten, analizowany z perspektywy zmian energii wewnętrznej przedstawia się następująco: kosztem pracy rośnie energia wewnętrzna wiertła i płyty, ale część tej energii jest przekazywana cieczy chłodzącej w formie ciepła. W rezultacie energia wewnętrzna może pozostać niezmieniona – stanie się tak wtedy, gdy jej wzrost spowodowany pracą będzie równy ciepłu przekazanemu cieczy. Jeśli ciepło oddawane cieczy będzie mniejsze od pracy sił tarcia – energia wewnętrzna wzrośnie, ale o mniejszą wartość niż przy braku chłodzenia. Jeśli ciepło przekazane cieczy będzie większe od wykonanej pracy – energia wewnętrzna wiertła i płyty zmniejszy się.

Przykład 5

Aby plastelina stała się bardziej plastyczna, należy ją ogrzać. Możesz to zrobić, trzymając ją w dłoniach, ale skutek osiągniesz znacznie szybciej, gdy dodatkowo będziesz tę plastelinę ugniatać.

Plastelina pobiera ciepło z naszych dłoni i w efekcie jej energia wewnętrzna rośnie. Ugniatając plastelinę, wykonujemy pracę, która też zwiększa jej energię wewnętrzną. Oba te działania sumują się i dlatego plastelina nagrzewa się szybciej.

Przykład 6

Temperatura gazu wylatującego z pojemnika ciśnieniowego (na przykład z dezodorantu) jest wyraźnie niższa niż temperatura otoczenia.

Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

Źródło: Tomorrow Sp.z o.o., licencja: CC BY 3.0.

film przedstawia rozpylanie aerozolu z pojemnika ciśnieniowego. Strumień gazu wylatującego z dyszy skierowany jest na termometr – pokazanie obniżania się temperatury gazu na skutek rozprężania. Rozpylany z bliskiej odległości strumień z dezodorantu na końcówkę termometru cyfrowego. Widać efekt na wyświetlaczu termometru.

Gaz wylatujący z pojemnika wykonuje pracę (rozsuwa cząsteczki powietrza, aby zrobić sobie miejsce). Ponieważ nie dostarczamy mu energii z zewnątrz, praca ta jest wykonywana kosztem energii wewnętrznej. W efekcie energia wewnętrzna maleje o wartość pracy wykonanej przez gaz. Zmniejszenie się energii wewnętrznej przejawia się spadkiem temperatury gazu.

Zapamiętaj!

Zmiany energii wewnętrznej ciała wywoływane są pracą oraz cieplnym przepływem energii. Oba te czynniki mogą prowadzić zarówno do wzrostu, jak i spadku energii wewnętrznej ciała.

Całkowita zmiana energii wewnętrznej jest sumą zmian wywołanych pracą i wymianą ciepła z otoczeniem.

Jeśli pracę wykonują siły zewnętrzne, to energia wewnętrzna ciała rośnie. Jeśli zaś to gaz wykonuje pracę – jego energia wewnętrzna maleje.

Jeśli ciepło przepływa do ciała – to jego energia wewnętrzna rośnie; jeśli ciepło jest oddawane – maleje.

Powyższe twierdzenie nazywamy **pierwszą zasadą termodynamiki**.

* Pierwszą zasadę termodynamiki możemy zapisać w postaci równania.

Podsumowanie

- Energia wewnętrzna ciała to suma energii kinetycznych i potencjalnych wszystkich atomów lub cząsteczek tworzących to ciało.
- Wartość energii wewnętrznej zależy od:
    - liczby atomów lub cząsteczek tworzących to ciało – więcej cząsteczek to więcej składników sumy;
    - temperatury ciała – wyższa temperatura to większa wartość średniej energii kinetycznej cząsteczek;

    - rodzaju substancji i stanu jej skupienia – wielkość energii potencjalnej pochodzącej od oddziaływań międzycząsteczkowych zmienia się wraz ze stanem skupienia i jest różna w przypadku różnych substancji.
- Pierwsza zasada termodynamiki głosi, że zmiany energii wewnętrznej ciała wywoływane są pracą oraz cieplnym przepływem energii. Całkowita zmiana energii wewnętrznej jest sumą zmian wywołanych pracą i wymianą ciepła z otoczeniem.
- Praca wykonana przez ciało przeciwko sile tarcia może spowodować wzrost jego energii wewnętrznej. Przykładem takiej sytuacji może być pocieranie rąk lub rozniecanie ognia metodą pocierania o siebie dwóch odpowiednio przygotowanych suchych drewienek.

Praca domowa

Polecenie 1.1

Kierowca samochodu o masie $1500\ \mathrm{kg}$, jadącego z prędkością $90\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$, zatrzymał go przy użyciu hamulców. Co stało się z energią kinetyczną tego samochodu? Odpowiedź uzasadnij.

Polecenie 1.2

Duża piłka znajdująca się wysoko nad powierzchnią Ziemi ma energię potencjalną $1000\ \mathrm{J}$. Spadając, tuż nad powierzchnią Ziemi ma energię kinetyczną o wartości $700\ \mathrm{J}$. W jaką formę energii zamieniło się brakujące $300\ \mathrm{J}$ energii? Jak można to sprawdzić?

Polecenie 1.3

Marynarz szorujący pokład polał go zimną wodą, a następnie trąc szczotką, wykonał pracę o wartości $10\ 000\ \mathrm{J}$. Podłoga oddała zimnej wodzie $12\ 000\ \mathrm{J}$ ciepła. Czy energia wewnętrzna podłogi wzrosła, czy zmalała, a może się nie zmieniła? Po czym można to poznać?

Polecenie 1.4

Często pijemy wodę mineralną. Może ona być gazowana lub niegazowana. Załóżmy, że dwie butelki z wodą (jedna z gazowaną, a druga z pozbawioną gazu) stoją przez dłuższy czas w jednym pomieszczeniu obok siebie. Przypuszczamy, że temperatura wody w obu butelkach powinna być równa. Kiedy jednak nalejemy wodę z tych butelek do szklanek, to zorientujemy się, że gazowana jest chłodniejsza. Dlaczego tak jest?

> **Wskazówka**
>
> Woda gazowana to taka, w której rozpuszczony jest gaz – dwutlenek węgla. Są to bardzo małe pęcherzyki, niewidoczne gołym okiem. Jak zachowuje się gazowana woda wlewana do szklanki?

Słowniczek

termodynamika

– nauka o zjawiskach cieplnych.

Zadanie podsumowujące lekcję

Ćwiczenie 2

Dlaczego sztuczny satelita, który obniżył swój lot i wszedł w atmosferę ziemską, ulega zniszczeniu?

- ◯ Spowodowane jest to nagrzewaniem się satelity od Słońca.
- ◯ W wyniku działania oporu powietrza jego energia mechaniczna zamienia się na energię wewnętrzną, a temperatura znacznie wzrasta.
- ◯ Ściśle mówiąc, satelita tylko rozpada się na mniejsze kawałki, ponieważ napotyka na duży opór powietrza stawiany przez atmosferę ziemską.
- ◯ Celowo został tak skonstruowany, gdyż w przeciwnym razie mógłby spaść na ludzi.
- ◯ W kosmosie jest zimno, a bliżej Ziemi jest cieplej – zbliżając się do Ziemi, satelita nagrzewa się.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Przekazywanie ciepła w zjawisku przewodnictwa. Rola izolacji cieplnej

Dlaczego gdy chcesz zdjąć z kuchenki garnek z gotującą się potrawą, musisz użyć w tym celu specjalnych rękawic? Przecież uchwyty garnka nie znajdują się bezpośrednio nad palnikiem. Gdyby rączka patelni nie była pokryta materiałem termoizolującym, to czy wymagałaby przy ściąganiu z palnika użycia takich rękawic? Dlaczego domy budowane są z materiałów porowatych i w dodatku oklejane styropianem?

Niektóre substancje rozgrzewają się szybko, podczas gdy inne robią to bardzo powoli. Ze styropianu wykonuje się m.in. kubki do serwowania kawy w barach szybkiej obsługi. Tak dobrze izolują one dłoń od ciepła, że w niektórych krajach stosuje się ostrzeżenia przypominające o tym, że zawartość takiego kubka może być bardzo gorąca

Już potrafisz

- podać związek temperatury ze średnią energią kinetyczną atomów i cząsteczek: wyższej temperaturze odpowiada większa wartość tej energii;
- wyjaśniać, dlaczego ciepło jest przekazywane od ciała o wyższej temperaturze do ciała o niższej temperaturze;
- podać definicję energii wewnętrznej.

Nauczysz się

- wyjaśniać mechanizm transportu ciepła, zwany przewodzeniem ciepła;
- klasyfikować substancje ze względu na zdolność przewodzenia ciepła;
- wyjaśniać rolę izolacji cieplnej;

- wskazywać zastosowanie materiałów przewodzących ciepło i izolacyjnych w życiu codziennym.

Doświadczenie 1

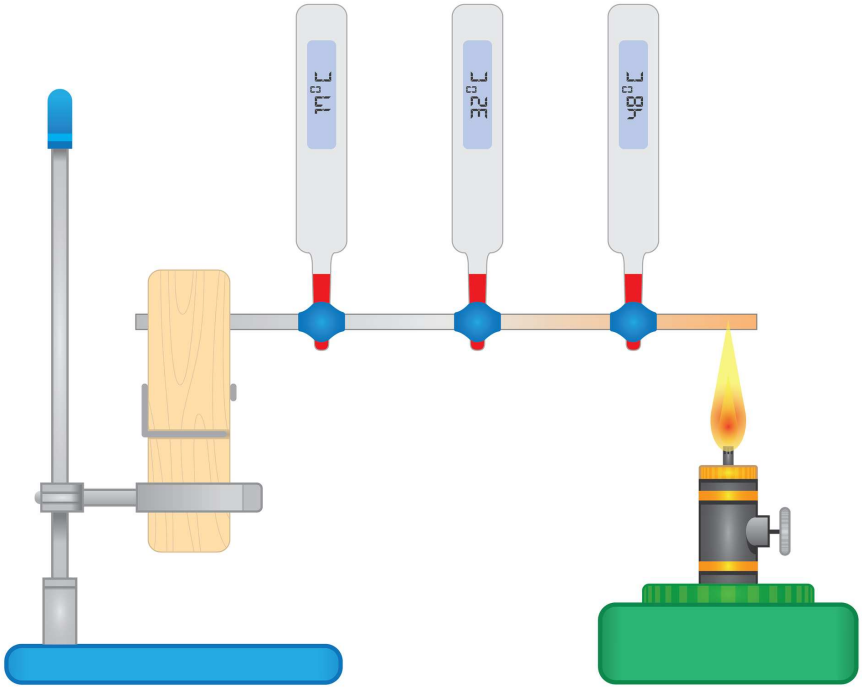
Obserwacja zjawiska przewodnictwa cieplnego.

Co będzie potrzebne

- pręt metalowy (może być na przykład aluminiowy) o długości około 40 cm;
- palnik gazowy lub spirytusowy;
- statyw wraz z uchwytami i drewnianymi szczypcami;
- koraliki przymocowane do pręta za pomocą parafiny (trzy termometry elektroniczne w postaci giętkiej taśmy).

Instrukcja

1. Przymocuj termometry do pręta w równych odstępach: jeden na końcu, a dwa pozostałe 15 i 30 cm od tego końca. Drugi koniec pręta pozostaw wolny.
2. Zamocuj pręt na statywie tak, jak pokazano na rysunku.



Źródło: Dariusz Adryan, licencja: CC BY 3.0.

3. Zapal palnik i ten koniec pręta, na którym nie ma termometru, umieść w płomieniu.

4. Obserwuj wskazania termometrów przymocowanych do pręta.

Podsumowanie

1. Z przeprowadzonych obserwacji widać, że stopniowo rośnie temperatura całego pręta, mimo że w płomieniu umieszczono tylko jeden z jego końców.

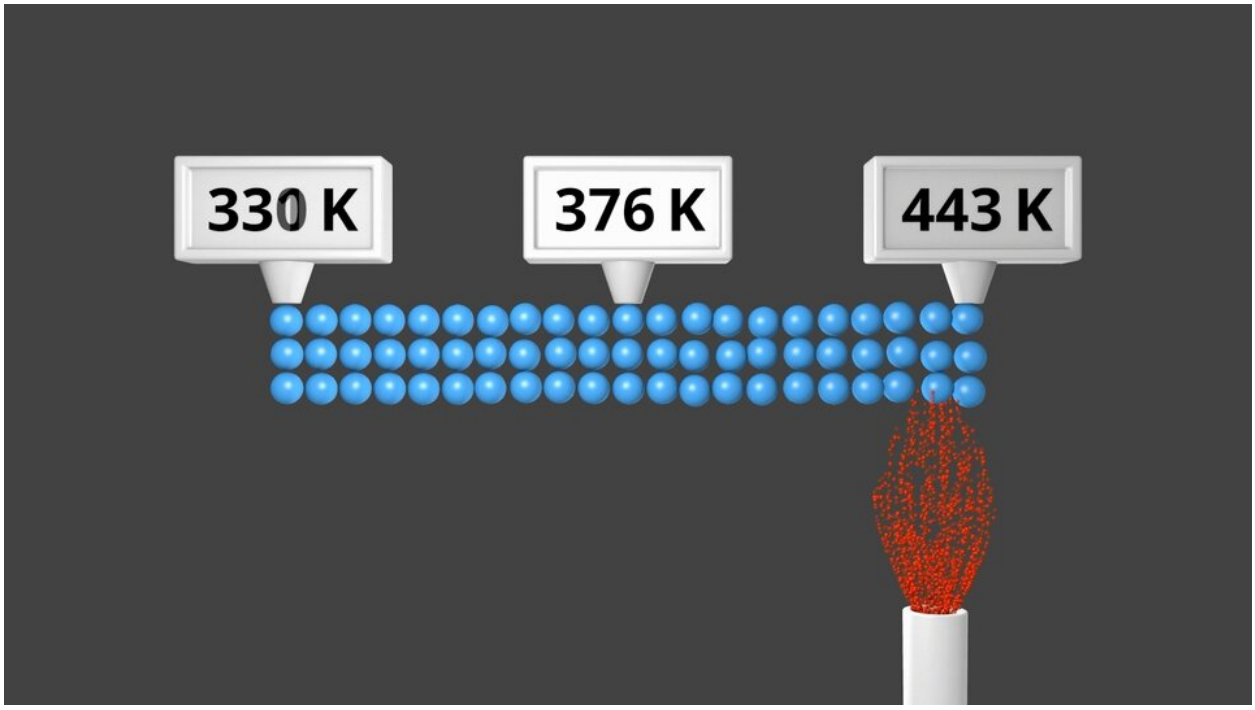
2. Nie obserwujemy żadnych ruchów całego pręta, a mimo to przez pręt transportowana jest energia. Ten sposób transportu energii nazywamy **przewodnictwem cieplnym**.

przewodnictwo cieplne

– pojawia się wtedy, gdy między obszarami tego samego ciała występuje różnica temperatur (podgrzewamy jeden koniec pręta lub jedną ścianę płyty). Cząsteczki substancji mają w różnych jej miejscach objętości różne średnie energie kinetyczne (i różne temperatury). Cząsteczki bądź atomy z miejsc o wyższej temperaturze przekazują energię cząsteczkom z obszarów chłodniejszych; w ten sposób energia następnych obszarów rośnie i proces trwa tak długo, jak długo dostarczamy ciepło i jak długo istnieje

> różnica temperatur. Przenoszenie energii odbywa się w tę stronę, w której jest niższa temperatura; warto podkreślić, że nie następuje przenoszenie się materii.

Jak wygląda ten proces z punktu widzenia mikroskopowej budowy materii?



Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

Źródło: Marcin Sadomski, Kevin MacLeod (http://incompetech.com), Krzysztof Jaworski, Tomorrow Sp. z o.o., licencja: CC BY 3.0.

Mechanizm przewodnictwa cieplnego

Czy proces przewodzenia ciepła odbywa się tak samo we wszystkich substancjach? Odpowiedzi na to pytanie poszukajmy w kolejnym doświadczeniu.

Doświadczenie 2

Porównanie przewodnictwa cieplnego różnych ciał stałych.

Co będzie potrzebne

- cztery pręty o jednakowej długości (około 30 cm) i średnicy (około 0,5 cm): aluminiowy, mosiężny, drewniany, szklany;
- naczynie z pokrywą wykonaną ze styropianu lub z gąbki z otworami, w których można umieścić badane pręty;
- parafina;
- cztery koraliki do przyklejenia parafiną do prętów;
- źródło gorącej wody.

Instrukcja

1. Do jednego końca każdego z prętów przyklej parafiną koralik.
2. Pręty umieść w pokrywie naczynia, tak aby koniec z koralikiem był nad pokrywą, a długości prętów pod pokrywą były jednakowe i mniejsze niż głębokość naczynia.
3. Do naczynia nalej gorącej wody.
4. Pokrywę z prętami umieść na naczyniu. Staraj się zrobić to dość szybko i tak, aby wszystkie pręty zanurzyły się w gorącej wodzie jednocześnie i na tę samą głębokość.
5. Obserwuj i zanotuj kolejność, w jakiej koraliki oderwą się od prętów. Możesz też zanotować czasy, po których koraliki odpadną od poszczególnych prętów.

Podsumowanie

1. Czas, po którym koraliki oderwały się od prętów, był różny dla każdego z nich. Oznacza to, że szybkość, z jaką transportowana jest energia cieplna, jest różna dla różnych materiałów. Mówimy, że różne materiały mają różne współczynniki przewodnictwa cieplnego.

2. Najszybciej odkleiły się koraliki przyklejone do pręta aluminiowego, potem mosiężnego, dłużej trwało to w przypadku pręta szklanego, a najdłużej – drewnianego. Oznacza to, że energia cieplna najszybciej transportowana jest w aluminium, najwolniej zaś w drewnie.

Materiały, które łatwo i szybko transportują ciepło, nazywamy **przewodnikami cieplnymi**. W naszym doświadczeniu są nimi mosiądz i aluminium. Materiały, które wolno transportują energię cieplną, nazywamy **izolatorami cieplnymi**. W naszym doświadczeniu są nimi szkło i drewno.

Przewodzenie ciepła odbywa się zarówno w ciałach stałych, jak i cieczach oraz gazach. Jednak w cieczach i gazach proces przewodzenia ciepła zachodzi wolniej niż w ciałach stałych. Wyjątkiem są tu ciekłe metale. Woda odznacza się małym przewodnictwem cieplnym, co zaprezentowane zostało dokładniej w obserwacji pt. Przewodnictwo cieplne w cieczach.

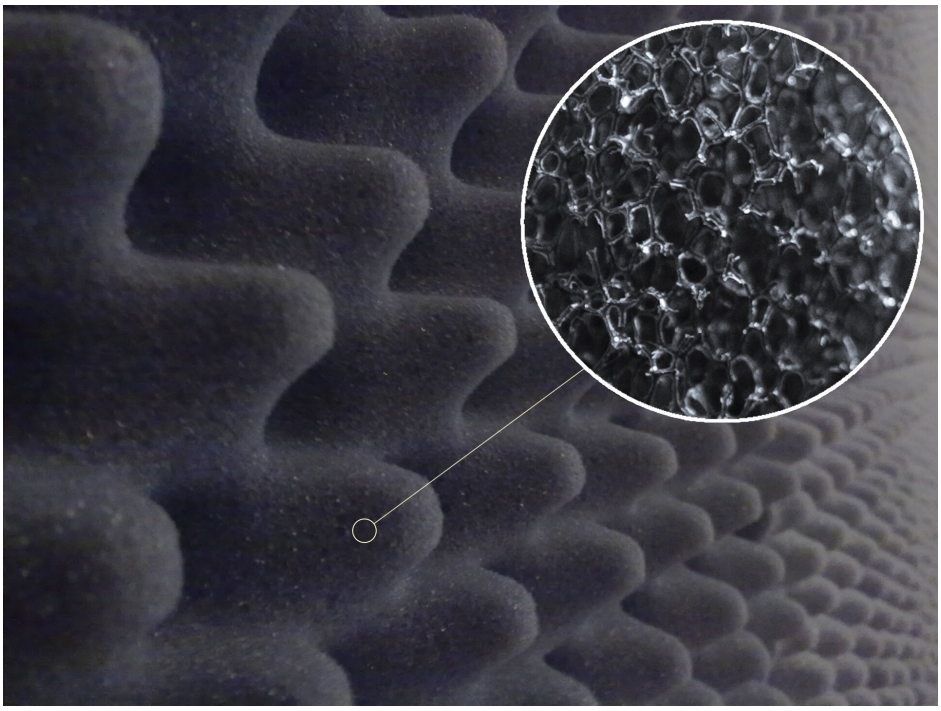
Najlepszymi przewodnikami ciepła są metale. Przyczyna tkwi w tym, że w procesie przenoszenia energii wewnętrznej biorą udział nie tylko atomy, ale także występujące w nich swobodne elektrony.

Najlepszym izolatorem cieplnym jest próżnia – nie ma w niej cząsteczek i atomów, brak więc możliwości bezpośredniego przekazywania energii cieplnej od cząsteczki do cząsteczki. Drugie miejsce w tej kategorii zajmują gazy – duże odległości między ich cząsteczkami utrudniają przekazywanie energii od cząsteczki do cząsteczki.

Dobrymi izolatorami są też materiały porowate, czyli takie, w których strukturze znajdują się pęcherzyki powietrza – należą do nich: pierze, futro, wełna oraz sztucznie wytworzone pianki poliuretanowe, styropian itp.

Przykład 1

Popatrz na zdjęcie pokazujące przekrój pianki poliuretanowej, aby zrozumieć jej izolujące właściwości.



Źródło: Matthias Buehler (https://www.flickr.com), Stella Dauer (https://www.flickr.com), Krzysztof Jaworski, licencja: CC BY NC 2.0.

Ćwiczenie 1

Z lodówki wyjęto i pozostawiono w ciepłym pokoju trzy metalowe pojemniki z taką samą ilością zimnej wody.
Pojemnik A owinięto szczelnie folią aluminiową, B papierem, a C futrzaną tkaniną.
W którym pojemniku woda ogrzeje się najszybciej i dlaczego?

- ◯ W pojemniku C, ponieważ futro grzeje.
- ◯ W pojemniku B, ponieważ papier pochłania wilgoć.
- ◯ We wszystkich pojemnikach ogrzeje się tak samo szybko, ponieważ temperatura wokół wszystkich pojemników jest taka sama.
- ◯ W pojemniku A, ponieważ aluminium jest najlepszym przewodnikiem ciepła.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Podsumowanie

- **Przewodnictwo cieplne** polega na przekazywaniu energii pomiędzy częściami ciała, których temperatury są różne. Ze zjawiskiem tym mamy do czynienia, gdy wydzieloną

część ciała podgrzejemy. Po pewnym czasie, dzięki przekazywaniu energii, temperatura ciała wyrówna się.

- Mechanizm przewodnictwa cieplnego oparty jest na bezpośrednim przekazywaniu energii kinetycznej między cząsteczkami lub atomami materii.
- Ze względu na zdolność transportowania energii cieplnej substancje dzielimy na:
    - **przewodniki ciepła** – energia cieplna jest w nich transportowana szybko i łatwo.
    - **izolatory cieplne** – transport energii cieplnej zachodzi w nich wolno.
- Najlepszymi przewodnikami ciepła są: metale (również ciekłe), grafit i diament.
- Dobrymi izolatorami ciepła są gazy, pierze, wata szklana, korek, styropian, futro.

Praca domowa

Polecenie 1.1

Przyjrzyj się dokładnie, jak zbudowane są okna. Jaki jest powód wykorzystania dwóch tafli szkła oddzielonych pustą przestrzenią? Czy ta przestrzeń jest naprawdę pusta?

Polecenie 1.2

W bardzo mroźne dni wskazane jest ubieranie się na tzw. cebulkę, czyli nakładanie kilku warstw odzieży. Daje to lepszą izolację niż jednowarstwowe grube ubranie. Dlaczego?

Polecenie 1.3

Nad drzwiami domu znajduje się gruba stalowa belka. W bardzo zimne dni w tym miejscu (wewnątrz budynku) pojawia się szron. Dlaczego tak się dzieje?

Polecenie 1.4

Zrób przegląd naczyń i urządzeń w kuchni. W których miejscach wykorzystujemy dobre przewodniki ciepła, a w których dobre izolatory? Dlaczego?

Polecenie 1.5

Używanie metalowych naczyń do picia napojów bywa przyczyną oparzeń. Dlaczego tak się dzieje?

Polecenie 1.6

Przypomnij sobie, w jakich warunkach ciała toną, a kiedy wypływają na powierzchnię po zanurzeniu. Czym musi być wypełniony balonik, aby poruszał się do góry w powietrzu? Dlaczego?

Zadania podsumowujące lekcję

Ćwiczenie 2

Wśród wymienionych zjawisk fizycznych wskaż te, **w których energia jest przekazywana dzięki przewodnictwu cieplnemu**.

- [ ] Podgrzewanie wody w kolektorze słonecznym.
- [ ] Gotowanie zupy na kuchence elektrycznej.
- [ ] Pieczenie mięsa w piekarniku.
- [ ] Chłodzenie napoju w lodówce.
- [ ] Pocieranie dłoni jedną o drugą.
- [ ] Dotykanie dłonią wirującej tarczy.
- [ ] Dotykanie termoforu zmarzniętymi stopami.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 3

Przyporządkuj każdej kategorii odpowiadające jej elementy.

Przewodniki ciepła

Izolatory

kołdra puchowa | wolfram | wata | słoma | grafit | powietrze | stal | srebro | tłuszcz | rtęć | neon

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 4

Jakie właściwości powinna mieć substancja, z której wykonamy następujące przedmioty?

Dobre przewodnictwo cieplne

Małe przewodnictwo cieplne

Elementy niepasujące do żadnej kategorii

zimowa czapka | piłka do koszykówki | chłodnica samochodowa | obudowa bojlera (zbiornika na ciepłą wodę) | kaloryfer | strój płetwonurka | forma do pieczenia ciasta | rączka patelni | stopa żelazka | końcówka termometru | dno garnka | kubek termiczny

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Przekazywanie energii w zjawisku konwekcji

Ciecze są złymi przewodnikami ciepła, dlaczego więc kaloryfery wypełnia się wodą lub innym płynem? Również gazy, a więc i powietrze, są izolatorami, w jaki zatem sposób ogrzewa się całe mieszkanie? Co wspólnego ma gotująca się zupa z plamami na Słońcu?

Kaloryfery grzeją nasze mieszkania, ale same w sobie nie produkują ciepła – ono powstaje w kotłowni budynku lub jest dostarczane z sieci ciepłowniczej. Jak to się jednak dzieje, że do grzejnika w pokoju zawsze dociera ciepła woda, a opuszcza go zimna, a nie na odwrót? Odpowiedzią na to jest odpowiednie wykorzystanie przez konstruktorów zjawiska konwekcji

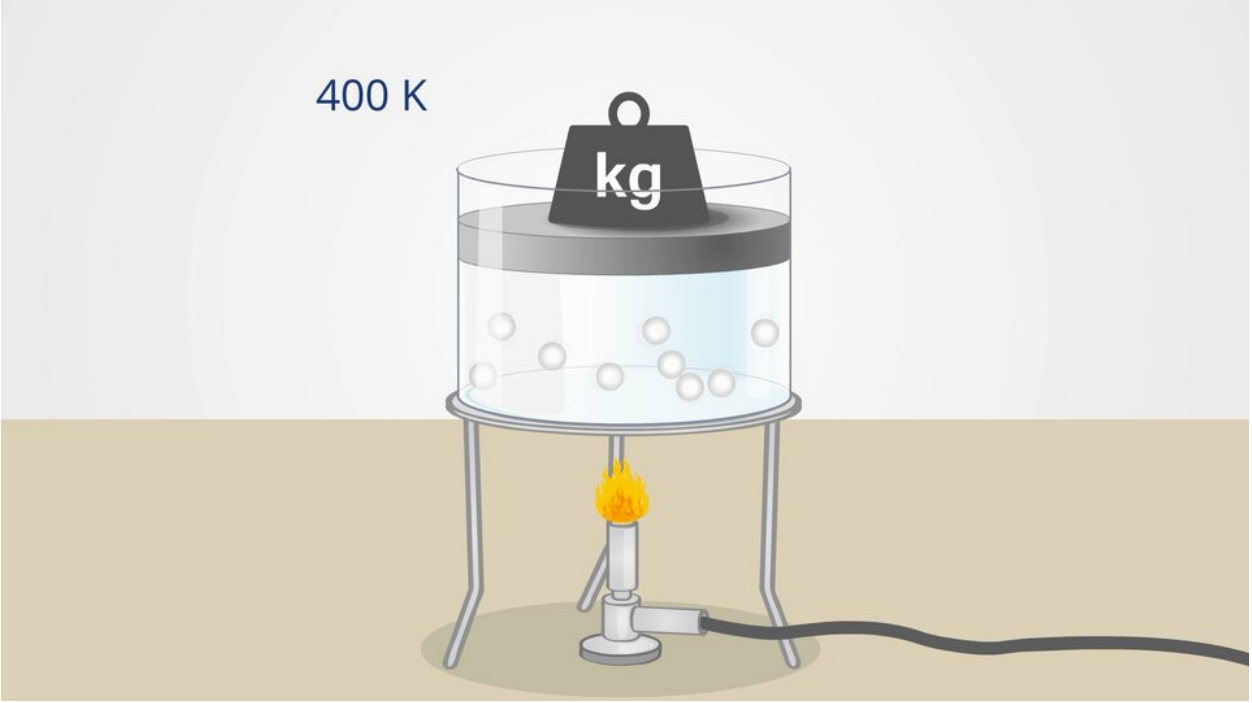
Już potrafisz

- opisać związek między energią wewnętrzną ciała a jego temperaturą;
- obliczyć gęstość ciała, gdy znane są jego masa i objętość;
- znając gęstość ciała i płynu, w którym go zanurzono, przewidzieć, czy ciało utonie, czy wypłynie;
- opisać zmiany objętości płynu, gdy zmienia się jego temperatura.

Nauczysz się

- opisywać zjawisko konwekcji;
- analizować przebieg zjawiska konwekcji w różnych przykładach ze swojego otoczenia.

Podczas ogrzewania ciała zwiększają swoją objętość. W miarę wzrostu temperatury cząsteczki cieczy i gazów poruszają się coraz szybciej i w następstwie tego oddalają się od siebie – rośnie objętość cieczy i gazów.



Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

Źródło: Tomorrow Sp. z o.o., licencja: CC BY 3.0.

Animacja prezentuje zjawisko rozszerzalności termicznej gazu. Na początku pojawia się tytuł „Rozszerzalność termiczna gazu". Następnie pokazano zbiornik z gazem. Tło bardzo jasne, prawie białe. Na środku widoczny zbiornik stojący na beżowym podłożu. Zbiornik (naczynie) ma kształt walca umieszczonego na podwyższeniu na trzech nóżkach. Walec ma nieco większą średnicę niż wysokość. Wykonany jest z przezroczystego szkła. Brakuje górnej podstawy. Mniej więcej w połowie wysokości znajduje się szara pokrywa (tłok), dzięki której gaz znajdujący się w dolnej części zbiornika nie wydostaje się poza zbiornik. Gaz również jest bezbarwny. Widać osiem białych kulek, które poruszają się chaotycznie wewnątrz zbiornika. Na pokrywie umieszczono ciemnoszary, prawie czarny, odważnik. Na odważniku znajduje się biały napis „kg". Po chwili, z prawej strony zbiornika, nico powyżej, pojawia się niebieski napis „300 K". Następnie pod zbiornikiem umieszczony zostaje jasnoszary, prawie biały palnik. Z palnika wydostaje się jasnożółty i pomarańczowy ogień. Do palnika dołączono szary przewód, którym doprowadzany jest gaz. Po chwili niebieski napis zmienia się na „400 K" (temperatura rośnie), a pokrywa (tłok) powoli unosi się. Potem niebieski napis znów się zmienia – na „500 K", a pokrywa ciągle unosi się do góry. W dalszej części niebieski zapis zmienia się na „600 K" i przyjmuje czerwony kolor, a pokrywa (tłok) znajduje się już w górnej części naczynia. Po prawej stronie animacji pojawia się napis: „V/T = const." Pokrywa przestaje się poruszać (wznosić).

Polecenie 1

Przypomnij sobie definicję gęstości ciała i oceń, jak zmieni się (wzrośnie czy zmaleje) gęstość 1 kg powietrza, jeśli na skutek wzrostu temperatury jego objętość wzrośnie. Odpowiedź uzasadnij.

Jeśli poprawnie wykonałeś polecenie, to jego wynik można sformułować w postaci wniosku: **powietrze mające wyższą temperaturę ma mniejszą gęstość**.

> **Polecenie 2**
>
> Przypomnij sobie warunek pływania ciał i odpowiedz na pytanie, jak zachowa się porcja powietrza o **mniejszej** gęstości zanurzona w powietrzu o **większej** gęstości?

Wnioski wynikające z wykonanych wyżej poleceń pozwalają stwierdzić, że powietrze o niższej temperaturze (a więc większej gęstości) opada na dno – „tonie" w powietrzu o wyższej temperaturze (mniejszej gęstości). Natomiast cieplejsze powietrze wypływa, czyli unosi się do góry, jeśli jest zanurzone w powietrzu chłodniejszym.

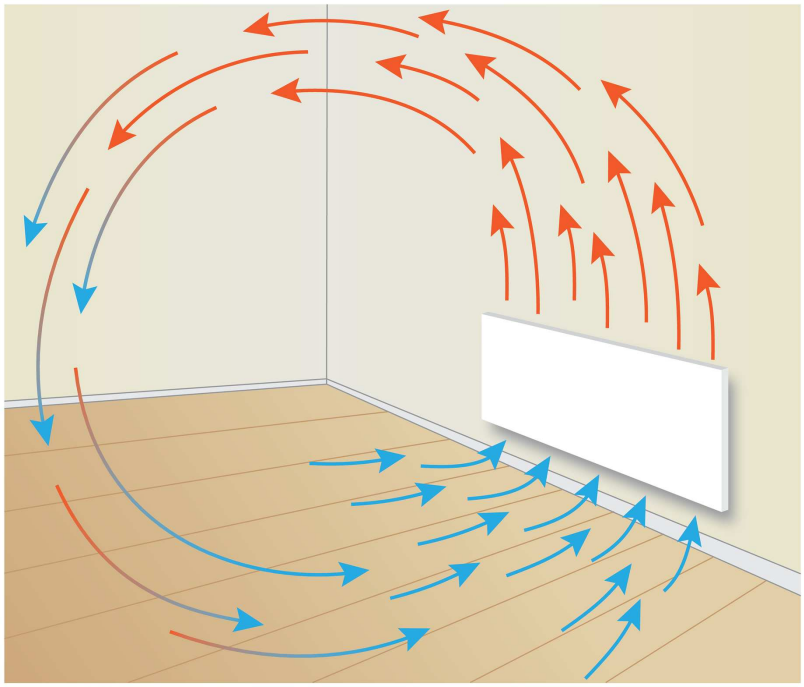
Zjawisko konwekcji obserwujemy wszędzie tam, gdy pomiędzy różnymi miejscami objętości substancji występuje różnica temperatur. W wyższej temperaturze cząsteczki poruszają się szybciej, dlatego rosną odległości między nimi, z czego wynika wzrost objętości i spadek gęstości. Obszar gazu lub cieczy o wyższej temperaturze i mniejszej gęstości zgodnie z prawem Archimedesa zaczyna unosić się w górę. Po drodze stykając się z obszarami chłodniejszymi, oddaje im energię.

> **konwekcja**
>
> – proces przenoszenia ciepła w wyniku makroskopowych ruchów materii w gazach i cieczach.

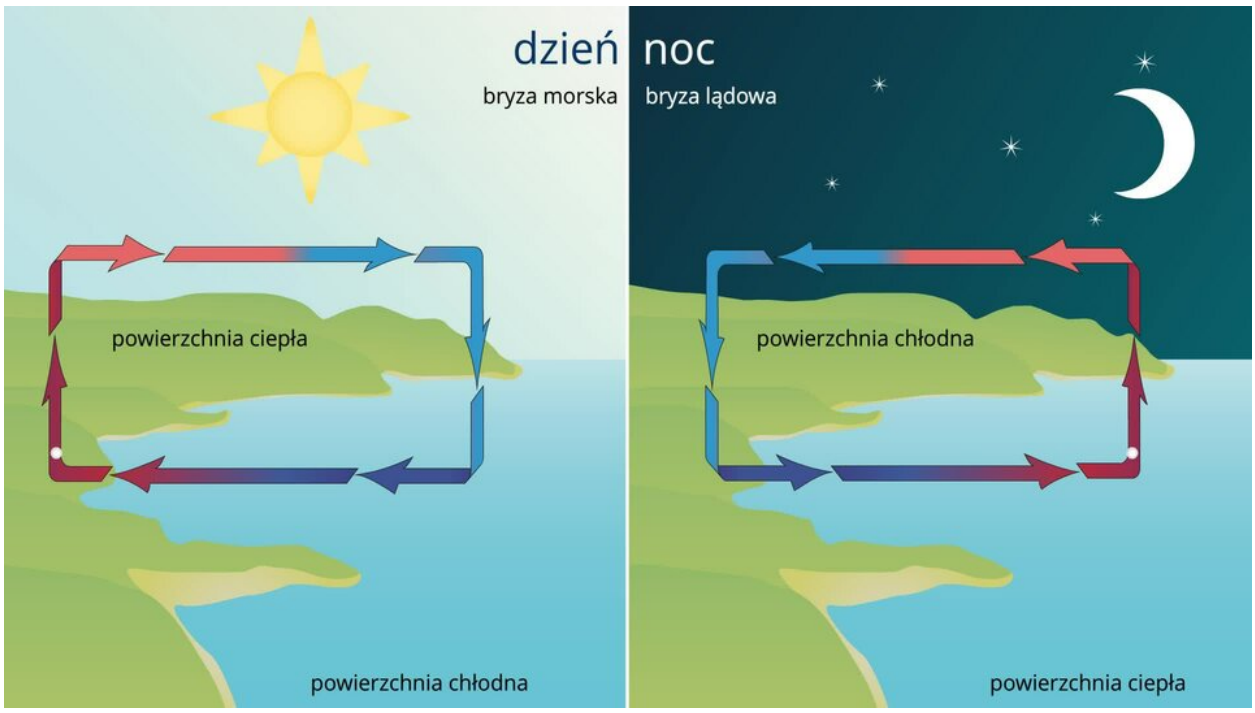
Jeśli ten ruch fragmentów gazu lub cieczy wywołany jest różnicą gęstości, to konwekcję nazywamy **swobodną**.

Spotyka się czasem określenie **konwekcja wymuszona**, kiedy ruch powietrza lub cieczy jest spowodowany dzianiem sił zewnętrznych, np. wentylatora. Tego zjawiska nie będziemy jednak omawiać w tym podręczniku.

Oto kilka przykładów konwekcji swobodnej:



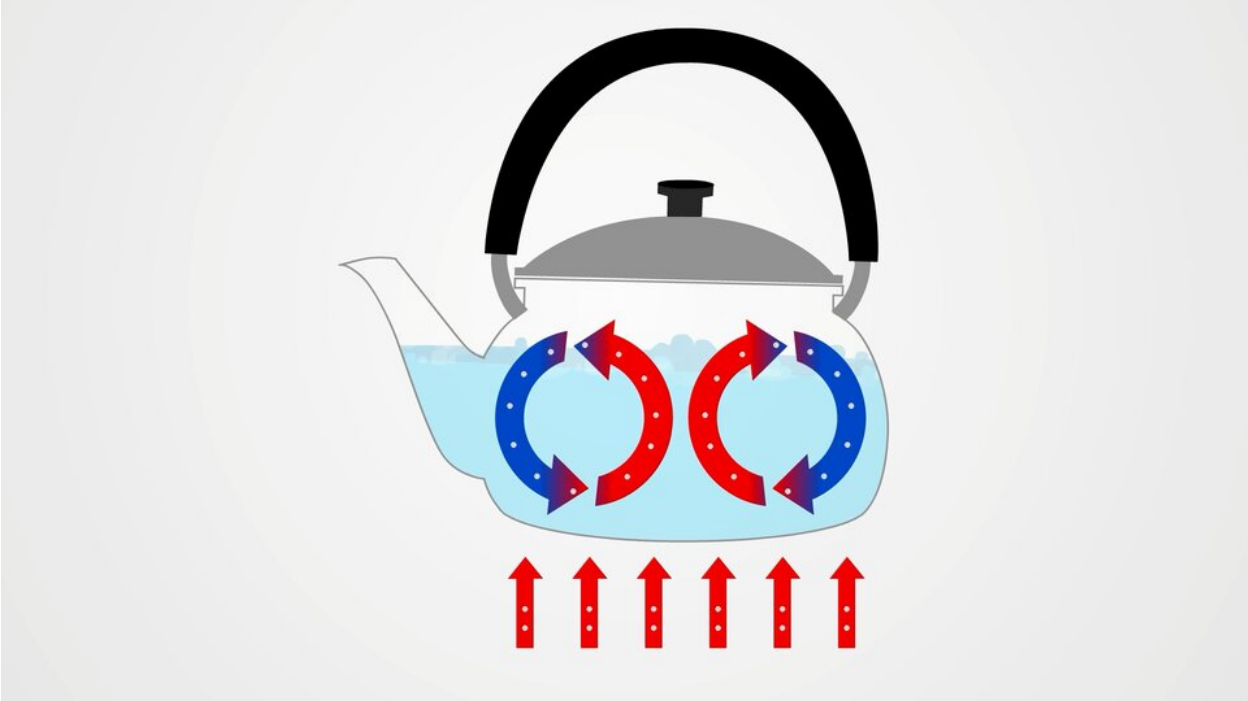
Źródło: Dariusz Adryan, licencja: CC BY 3.0.



Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

Źródło: Tomorrow Sp. z o.o., licencja: CC BY 3.0.

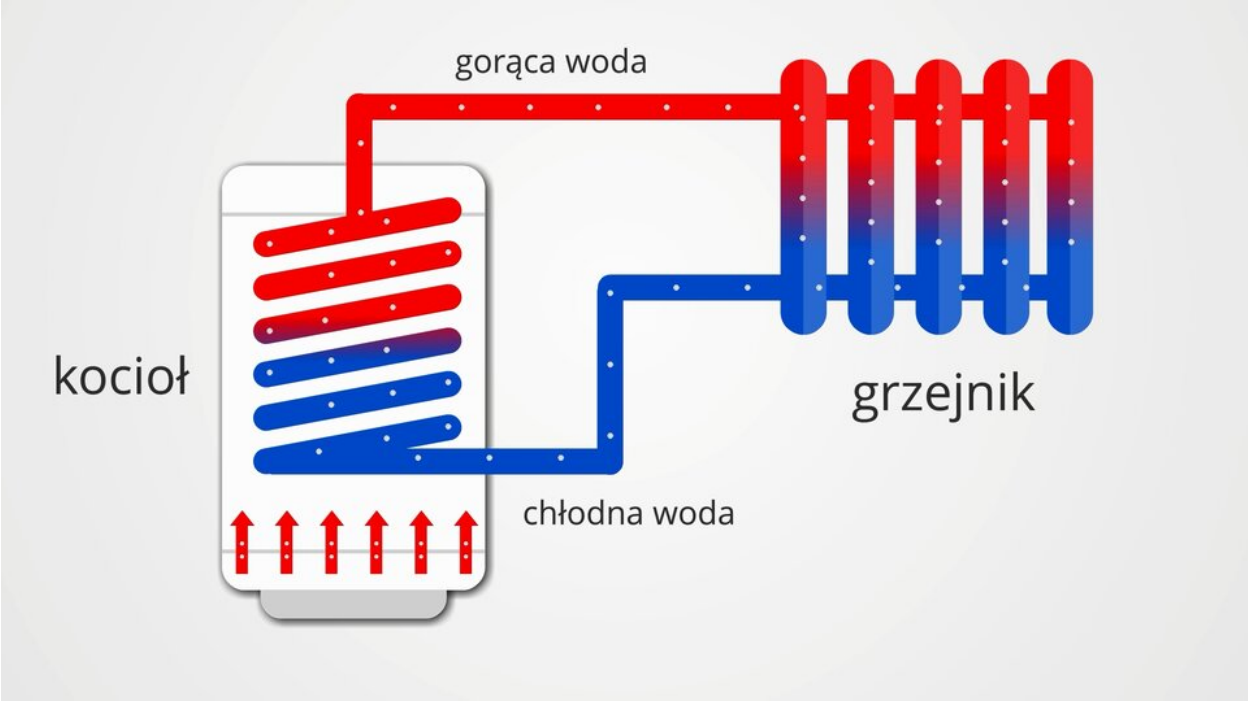
Prezentowana animacja ilustruje mechanizm powstawania bryzy morskiej w dzień i w nocy.



Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

Źródło: Tomorrow Sp. z o.o., licencja: CC BY 3.0.

Animacja prezentuje ruch konwekcyjny wody w czajniku. Tło białe. Na środku znajduje się czajnik z wodą. Czajnik ma klasyczny kształt (przypominający imbryk). Rurka zakończona „dziobkiem” zwrócona jest w lewą stronę. Dla ułatwienia widoczne są tylko jego kontury (szare), by można zobaczyć, co się dzieje z gotującą się w środku wodą. Na powierzchni wody widoczne niebieskie „bąbelki”, woda bulgocze. Czajnik posiada szarą pokrywkę oraz czarny uchwyt w kształcie odwróconej litery U. Woda znajdująca się w czajniku wypełnia ok. trzy czwarte jego objętości. Ma kolor jasnoniebieski. Bezpośrednio pod czajnikiem narysowano 6 czerwonych strzałek, zwróconych ku górze (prostopadle do czajnika). Strzałki nie dotykają czajnika. Na strzałkach poruszają się do góry małe białe kuleczki, w prostej linii. W czajniku, na wodzie, narysowano cztery strzałki symbolizujące ruch konwekcyjny. Mają one kształt półkolisty. Strzałki połączono w pary. Para strzałek przypomina okrąg, stąd strzałki wyglądają jak dwa okręgi ułożone obok siebie. Strzałki zewnętrzne (lewa z lewej pary oraz prawa z prawej pary) mają kolor niebieski, jedynie początek i koniec są delikatnie zabarwione na czerwono. Strzałki wewnętrzne (prawa z lewej pary oraz lewa z prawej pary) mają kolor czerwony, a ich koniec i początek zabarwiony jest na niebiesko. Strzałki zewnętrzne skierowane są do dołu, do wewnątrz. Strzałki wewnętrzne do góry, na zewnątrz. We wszystkich strzałkach poruszają się białe kuleczki. Zgodnie z kierunkiem i zwrotem określonym przez poszczególne strzałki.



Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

Źródło: Tomorrow Sp. z o.o., Kevin MacLeod (http://incompetech.com), licencja: CC BY 3.0.

Ruch konwekcyjny wody w instalacji c.o.Animacja przedstawia ruch konwekcyjny wody w instalacji centralnego ogrzewania. Tło białe. Schemat instalacji c.o. (centralnego ogrzewania) składa się z dwóch głównych części: kotła i grzejnika. Kocioł znajduje się po lewej stronie, w dolnej części animacji, natomiast grzejnik – po prawej, w górnej części animacji. Kocioł i grzejnik zostały podpisane szarymi literami: „kocioł" i „grzejnik". Grzejnik składa się z pięciu żeberek, w kształcie długich prostokątów z wyraźnie zaokrąglonymi rogami, ułożonymi prostopadle do dolnej krawędzi animacji. Żeberka połączone są ze sobą poziomymi rurkami: na górze i na dole. Kocioł ma kształt prostokąta z zaokrąglonymi rogami. Krawędzie szare, wypełnienie białe. Wysokość dwukrotnie dłuższa niż podstawa. W kotle znajduje się 6 rurek. Rurki mają kształt prostokątów z zaokrąglonymi rogami. Ułożone są równolegle względem siebie, prawie poziomo (prawe końce rurek leżą nieco wyżej niż lewe). Pod rurkami w kotle narysowano 6 krótkich, czerwonych strzałek. Strzałki leżą równolegle względem siebie, prostopadle do dolnej krawędzi kotła. Kocioł oraz grzejnik połączone są ze sobą w taki sposób, że od rurki znajdującej się w kotle najwyżej odchodzi rurka wychodząca z kotła w górnej jego części i biegnie ku górze, następnie zmienia swój kierunek o 90 stopni w prawo i biegnie do grzejnika łącząc wszystkie 5 żeberek (w górnej części grzejnika). Od rurki znajdującej się na samym dole również biegnie rurka – najpierw w prawo, następnie pionowo do góry i później znów w prawo łącząc wszystkie 5 żeberek w dolnej części grzejnika. W rurkach oraz grzejniku znajduje się woda. Nad górną rurką łączącą kocioł z grzejnikiem napisano „gorąca woda". Nad dolną rurą łączącą kocioł z grzejnikiem napisano „chłodna woda". Woda ma dwa kolory: czerwony i niebieski. W górnej części kotła, w górnej rurce oraz w górnej części grzejnika woda ma kolor czerwony. W dolnej części kotła, w dolnej rurce oraz w dolnej części grzejnika rurka ma kolor niebieski. W rurkach z znajdują się białe kuleczki, które pokazują kierunek ruchu

wody. Najpierw od górnej części kotła, następnie rurką doprowadzającą wodę do grzejnika, a później, w grzejniku, we wszystkich żeberkach, woda opada w dół. W dalszej kolejności woda płynie dolną rurką i wracam z powrotem do kotła, od dołu.

Polecenie 3

Po obejrzeniu powyższej animacji odpowiedz na pytania postawione we wstępie do lekcji: dlaczego kaloryfery wypełnia się płynami oraz w jaki sposób grzejniki ogrzewają mieszkanie, jeśli zarówno ciecze, jak i gazy są złymi przewodnikami ciepła?

Ciekawostka

Efekt konwekcji możemy bardzo łatwo obserwować na powierzchni gotującej się zupy w garnku. Wystarczy kilka minut, aby zauważyć, że w jednych miejscach gotująca się zupa wypływa na powierzchnię, a w innych opada. Zjawisko konwekcji powoduje przeniesienie energii z dna naczynia wyżej. Podobne zjawisko możemy zaobserwować na powierzchni Słońca. Energia wytwarzana w jego jądrze przenoszona jest na powierzchnię. Na głębokości ok. 100 000 km występuje zjawisko konwekcji: gorące obszary gazu wędrują na powierzchnię – wydostając się pod postacią tzw. granul, mają temperaturę wyższą o kilkaset stopni od otaczających obszarów. Efektem jest wysyłanie większych ilości energii z obszaru granuli. W obszarze, w którym zachodzi konwekcja, pojawiają się silne pola magnetyczne, które zakłócają ruch gorącego gazu. Powstaje wtedy obszar chłodniejszy, widoczny jako plama słoneczna.

Poszukaj w Internecie informacji na temat fotosfery słonecznej, granulacji i plam słonecznych.

* Podczas konwekcji w cieczy lub gazie tworzą się prądy konwekcyjne; jedne strugi płynu poruszają się w górę, a drugie w dół. Strugi te tworzą tak zwane komórki konwekcyjne.

Ćwiczenie 1

Które z poniższych twierdzeń jest prawdziwe, a które fałszywe?

	Prawda	Fałsz
Konwekcja zachodzi tylko w gazach.	◯	◯
Ciecze są złymi przewodnikami ciepła, ale dzięki konwekcji przyczyniają się do szybkiego transportu ciepła.	◯	◯
Mała objętość pęcherzyków powietrza między włóknami wełny uniemożliwia transport energii cieplnej przez konwekcję.	◯	◯

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Podsumowanie

- Konwekcją nazywamy zjawisko polegające na przenoszeniu ciepła przez poruszające się ogrzane warstwy lub obszary gazów bądź cieczy.
- Konwekcja swobodna – to ruch gazu lub cieczy spowodowany przez różnice gęstości obszarów o różnej temperaturze.
- Ze zjawiskiem konwekcji często spotykamy się na co dzień. Powietrze o wyższej temperaturze w pobliżu nagrzanego kaloryfera unosi się do góry, tam oziębia się i następnie opada.
- Zjawisko konwekcji obserwujemy wszędzie tam, gdzie pomiędzy różnymi miejscami objętości substancji występuje różnica temperatur. W wyższej temperaturze cząsteczki poruszają się szybciej, dlatego rosną odległości między nimi, stąd wzrost objętości i spadek gęstości. Obszar gazu lub cieczy o wyższej temperaturze i mniejszej gęstości zgodnie z prawem Archimedesa zaczyna unosić się w górę. Po drodze, stykając się z obszarami chłodniejszymi, oddaje im energię.

Praca domowa

Polecenie 4.1

Wyjaśnij znaczenie potocznego określenia „ciepło idzie do góry". W swojej wypowiedzi użyj pojęcia: rozszerzalność termiczna, gęstość, konwekcja, ruch konwekcyjny.

Polecenie 4.2

W wielu biurowcach instalowane są systemy chłodzenia wykorzystujące tzw. wodę lodową, zawierającą glikol. Woda jest chłodzona w instalacji przypominającej układ chłodniczy spotykany w lodówkach AGD i jako zimna płynie rurami umieszczonymi pod sufitem. Napisz, w jaki sposób system taki ochładza powietrze w pomieszczeniu.

Polecenie 4.3

Często słyszymy polecenie: „zamknij drzwi, bo zimno leci". Dlaczego nie jest ono poprawne? Jak powinno brzmieć? Jak przebiega proces wymiany energii po otwarciu drzwi?

Zadanie podsumowujące lekcję

Ćwiczenie 2

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Jak obliczamy ciepło potrzebne do zmiany temperatury, stopienia lub wyparowania ciała?

Jest wiosenny słoneczny dzień, temperatura wynosi +5°C, a na jeziorze ciągle leży gruba warstwa lodu. Dlaczego cały lód nie topi się od razu, gdy tylko temperatura wzrośnie powyżej zera?

Wraz z nadejściem wiosny rośliny reagują na ocieplenie i zaczynają kwitnąć. Większość pierwszych kwiatów, jak na przykład krokusy, musi się jednak w tym celu przebić przez warstwę śniegu. Ten bowiem, pomimo wysokiej temperatury, nie jest w stanie stopić się od razu

Już potrafisz

- podać definicję energii wewnętrznej;
- zauważyć, że wzrost temperatury ciała oznacza wzrost jego energii wewnętrznej;
- wymienić podstawowe stany skupienia materii oraz nazwy procesów prowadzących do zmiany stanu skupienia.

Nauczysz się

- ustalać, czy ciało pobiera, czy oddaje energię w procesie ogrzewania, stygnięcia, topnienia, krzepnięcia, parowania i skraplania;
- podawać definicje ciepła właściwego, ciepła topnienia (krzepnięcia) i parowania (skraplania);
- obliczać ilość energii potrzebnej do ogrzania ciała o zadany przyrost temperatury;
- obliczać ilość energii potrzebnej do stopienia lub odparowania zadanej ilości substancji.

Ile energii (ciepła) potrzeba do ogrzania szklanki wody? Od czego to zależy? Czy tyle samo wystarczy do ogrzania szklanki oleju?

Doświadczenie 1

Zbadanie, od czego zależy ilość energii potrzebnej do ogrzania substancji.

Co będzie potrzebne

- kuchenka elektryczna lub inne źródło ciepła o stałej stabilnej mocy – istotne jest, aby w jednakowych odstępach czasu źródło to dostarczało podobną ilość energii (ciepła);
- termometr o zakresie od 0 do 50°C;
- waga;
- stoper;
- dwa jednakowe, metalowe naczynia o pojemności około 750 ml (najlepiej zewnętrzne naczynia od kalorymetru szkolnego z pokrywą wyposażoną w otwór na termometr i mieszadełko);
- mieszadełko do mieszania cieczy;
- statyw z uchwytem do termometru – jeśli używasz naczynia bez pokrywy,
- woda;
- olej jadalny;
- rękawice ochronne – mogą być kuchenne;
- papierowe ręczniki lub ściereczki.

Instrukcja

1. Jedno z naczyń ustaw na wadze i ją wytaruj.

2. Wlej do tego naczynia 250 g zimnej wody.

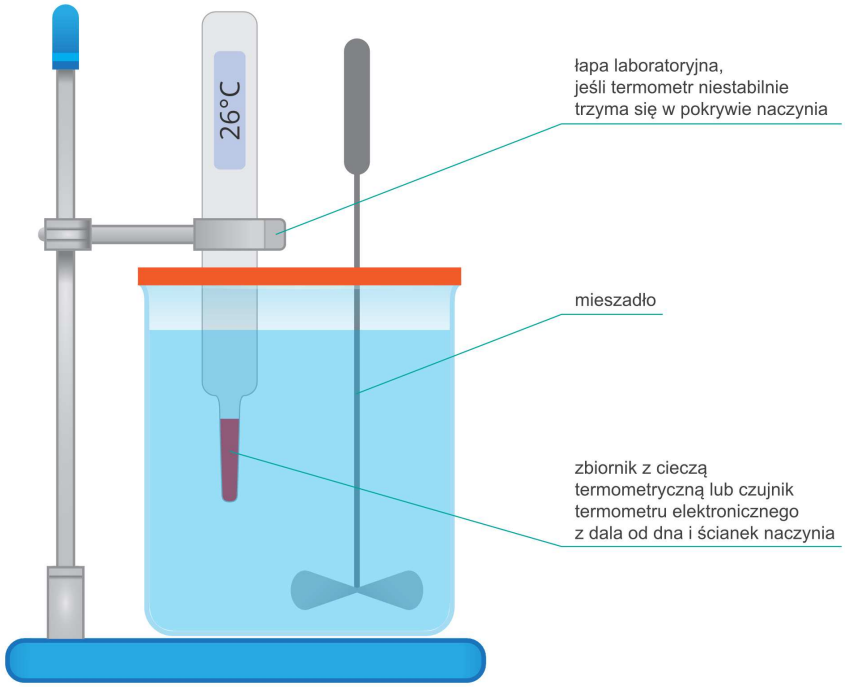
3. Przykryj naczynie, a w pokrywie umieść termometr i mieszadełko.

Źródło: Tomorrow Sp.z o.o., licencja: CC BY 3.0.

4. Zmierz temperaturę początkową wody, czyli zanurz termometr w wodzie, odczekaj 2–3 minuty, zamieszaj wodę i odczytaj wskazanie termometru.

5. Ustaw naczynie na rozgrzanej płycie kuchenki i włącz stoper.

6. Jeśli używasz naczynia bez pokrywy, to w wodzie zanurz termometr zamocowany na statywie. Sposób ustawienia termometru przedstawiono na rysunku.



Źródło: Dariusz Adryan, licencja: CC BY 3.0.

7. Obserwuj termometr i zanotuj czas, po którym temperatura wody wzrośnie o 10°C (w stosunku do temperatury początkowej) – nie wyłączaj stopera!

8. Nadal obserwuj wskazania termometru i zanotuj czas, po którym temperatura wrośnie o kolejne 10°C (w sumie o 20°C od temperatury początkowej). Wyłącz stoper.

9. Załóż rękawice i ostrożnie zdejmij naczynie z kuchenki, wylej gorącą wodę z naczynia, osusz je i pozostaw do ostygnięcia.

10. Drugie naczynie postaw na wadze i wytaruj ją.

11. Do tego naczynia wlej 500 g wody i powtórz czynności od 4 do 8.

12. Do ostudzonego pierwszego naczynia wlej 500 g oleju.

13. Zmierz temperaturę początkową oleju, a naczynie ustaw na kuchence.

14. W przypadku oleju powtórz czynności opisane w punktach od 5 do 7.

15. Wyłącz kuchenkę i gorące przedmioty (naczynie z olejem, kuchenkę) pozostaw do ostygnięcia w bezpiecznym miejscu.

16. Wyniki pomiarów na bieżąco notuj w tabeli.

Wyniki pomiarów

Woda	250 g	t_{10} =.....min	t_{20} =.....min
	500 g	t_{10} =.....min	t_{20} =.....min
Olej	500 g	t_{10} =.....min	t_{20} =.....min

Podsumowanie

Z przeprowadzonych obserwacji wynika, że czas ogrzewania cieczy (tym samym ilość dostarczonej energii) zależy od tego, jaki przyrost temperatury chcemy uzyskać, a także od od masy i od rodzaju ogrzewanej cieczy:

1. aby zwiększyć temperaturę dwa razy większej masy wody o tyle samo stopni Celsjusza, należy dostarczyć dwukrotnie większą ilość energii cieplnej (ciepła);
2. dwa razy większy przyrost temperatury tej samej masy wody wymaga dwukrotnie większej ilości ciepła;
3. podniesienie temperatury o tyle samo stopni takiej samej masy oleju co wody wymaga dostarczenia mniejszej ilości ciepła w przypadku oleju.

Aby móc porównywać własności cieplne różnych substancji, wprowadzono pojęcie ciepła właściwego.

ciepło właściwe

– ilość energii cieplnej potrzebna do ogrzania 1 kilograma substancji o jeden stopień Celsjusza (jeden kelwin). Jest to wielkość charakteryzująca daną substancję. Jednostką

ciepła właściwego w układzie SI jest $\left(\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg \cdot K}}\right)$.
Definicję tę możemy zapisać za pomocą wzoru:

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T},$$

gdzie:
c – ciepło właściwe;
m – masa ciała;
ΔT – przyrost temperatury;
Q – energia (ciepło) dostarczona do ciała.

Wartości ciepła właściwego kilku wybranych substancji przedstawia poniższa tabela.

Wartości ciepła właściwego wybranych substancji

Ciała stałe	**Ciepło właściwe** $\left[\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg \cdot K}}\right]$	**Ciecze**	**Ciepło właściwe** $\left[\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg \cdot K}}\right]$	**Gazy**	**Ciepło właściwe** $\left[\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg \cdot K}}\right]$
ołów	130	rtęć	140	metan	1 854
szkło	700	nafta	2 210	dwutlenek węgla	654
miedź	380	benzyna	2 090	powietrze	729
złoto	130	gliceryna	2 430	hel	3 140
lód	2 090	woda	4 180	para wodna	1 380
beton	920	eter	2 340	tlen	649

Ważne!

Podane w tabeli wartości ciepła właściwego gazów odnoszą się do sytuacji, w której ogrzewany gaz zachowuje stałą objętość. O tym, dlaczego wartości tego ciepła są inne przy odmiennych sposobach ogrzewania gazów, dowiesz się, gdy wybierzesz w liceum rozszerzony program fizyki.

Ćwiczenie 1

Ciepło właściwe danej substancji zależy od

- ilości energii wewnętrznej zawartej w ciele wykonanym z tej substancji.
- tylko od rodzaju substancji z jakiej wykonane jest ciało.
- rodzaju substancji i stanu jej skupienia.
- masy i przyrostu temperatury tej substancji.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Jeśli znamy wartość ciepła właściwego dla danej substancji, możemy obliczyć przyrost temperatury ciała o znanej masie po dostarczeniu mu jakiejś porcji ciepła.

Przykład 1

O ile wzrośnie temperatura betonowej kostki o masie $3{,}7\ \mathrm{kg}$, jeśli dostarczymy jej $6808\ \mathrm{J}$ energii (ciepła)?

Analiza zadania:

Korzystamy ze wzoru na ciepło właściwe:

$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$,

który po przekształceniu ma postać:

$c \cdot m \cdot \Delta T = Q / c \cdot m$,

$\Delta T = \frac{Q}{c \cdot m}$.

Dane:

$m = 3{,}7\ \mathrm{kg}$,

$Q = 6808\ \mathrm{J}$,

$\mathrm{c}\ = 920 \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg} \cdot \mathrm{K}}$.

Szukane:

$\Delta \mathrm{T} = ?$

Obliczenia:

Po podstawieniu danych otrzymujemy:

$\Delta T = \frac{Q}{c \cdot m} = \frac{6808 \mathrm{J}}{920 \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg} \cdot \mathrm{K}} \cdot 3{,}7 \mathrm{kg}} = 2\ \mathrm{K} = 2 ℃$.

Odpowiedź:

Temperatura kostki wzrośnie o 2 kelwiny, czyli o 2 stopnie Celsjusza (przyrost temperatury jest taki sam w skalach Kelvina i Celsjusza).

Jeśli znamy wartość ciepła właściwego, możemy też obliczyć ilość energii potrzebnej do uzyskania wyższej temperatury ciała.

Przykład 2

Ile ciepła trzeba dostarczyć, aby ogrzać powietrze w pokoju o 10°C? Objętość pokoju wynosi $50\ \mathrm{m}^3$, gęstość powietrza – $d = 1{,}3\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$, a ciepło właściwe powietrza ma wartość $729\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}\cdot\mathrm{K}}$.

Analiza zadania:

Ilość potrzebnego ciepła możemy obliczyć, korzystając z definicji ciepła właściwego, tak jak w poprzednim przykładzie:

$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$.

Do dalszych obliczeń potrzebna jest znajomość masy ogrzewanego ciała. Masę powietrza zawartego w pokoju obliczamy, korzystając z definicji gęstości materii:

$d = \frac{m}{V}$, czyli $m = d \cdot V$.

Jak widać, do obliczenia masy potrzebna jest znajomość gęstości ciała i jego objętości, wartości ciepła właściwego powietrza i zmiany temperatury.

Dane:

$V = 50\ m^3$,

$d = 1{,}3\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$,

$\Delta\mathrm{T} = 10\ ^\circ\mathrm{C} = 10\ \mathrm{K}$,

$c = 729\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}\cdot\mathrm{K}}$.

Szukane:

Q = ?

Obliczenia:

$m = d \cdot V = 1{,}3\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3} \bullet 50\mathrm{m}^3 = 65\,\mathrm{kg}$

po podstawieniu masy do wzoru na ciepło właściwe:

$Q = 729\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}\cdot\mathrm{K}} \cdot 65\ \mathrm{kg} \cdot 10\ \mathrm{K} = 473\ 850\ \mathrm{J}$.

Odpowiedź:

Aby ogrzać powietrze w tym pokoju o 10 stopni, trzeba dostarczyć 475,85 kilodżuli energii.

Dostarczanie ciepła powoduje wzrost temperatury ciała, co jest równoznaczne ze wzrostem jego energii wewnętrznej. Ale czy zawsze dostarczanie ciepła powoduje wzrost temperatury?

Wykonaj kolejne doświadczenie.

Doświadczenie 2

Sprawdzenie, czy dostarczanie ciepła zawsze powoduje wzrost temperatury.

Co będzie potrzebne

- termometr zawierający zakres od $-10^{\circ}\mathrm{C}$ do $10^{\circ}\mathrm{C}$;
- zlewka o pojemności 1000 ml;
- mieszadełko do mieszania cieczy;
- statyw z uchwytem do termometru;
- pokruszony lód – około 1000 gramów (tak zwana kasza lodowa).

Instrukcja

1. Pokruszony lód wsyp do naczynia. Jeśli nie masz takiego lodu, możesz młotkiem pokruszyć większe kawałki lodu lub poprosić o „kaszę lodową” w sklepie rybnym.
2. Umieść termometr w mieszaninie wody z lodem – zadbaj, aby koniec termometru nie dotykał dna ani ścianek bocznych, lecz był umieszczony w środku mieszaniny.
3. Przez 15 minut co dwie minuty obserwuj wskazania termometru – przed odczytaniem temperatury zamieszaj mieszaninę wody z lodem.
4. Jeśli w sali jest drugi termometr, to odczytaj temperaturę powietrza panującą w pomieszczeniu.

Podsumowanie

1. Jeśli wszystko wykonałeś poprawnie, to zauważyłeś, że lód stopniowo się topił i powstawała mieszanina wody z lodem z rosnącą zawartością wody.

2. Temperatura mieszaniny pozostawała niezmieniona i wynosiła 0˚C.

3. Temperatura otoczenia wynosiła co najmniej 20˚C, co oznacza, że następował przepływ ciepła z otoczenia do lodu (mieszaniny wody i lodu).

Wnioski

1. Dostarczanie ciepła (energii) do mieszaniny wody z lodem nie powodowało wzrostu jej temperatury.

2. **Do stopienia ciała stałego niezbędna jest energia cieplna**.

Należy się spodziewać, że ilość energii potrzebnej do stopienia jakiegoś ciała zależy od jego masy i od rodzaju substancji, z której wykonano to ciało.

Polecenie 1

Odpowiedz na pytanie postawione we wstępie do tej lekcji: dlaczego lód na powierzchni jeziora nie topi się od razu, gdy temperatura wzrasta powyżej zera?

Aby zaszedł proces odwrotny do topnienia – czyli zamiana cieczy w ciało stałe (krzepnięcie), również niezbędna jest wymiana energii. Jednak w tym procesie ciało musi oddać ciepło (energię) do otoczenia, zmniejszając swoją energię wewnętrzną.

W celu porównywania właściwości różnych materiałów wprowadza się pojęcie ciepła topnienia lub ciepło krzepnięcia. Dla danej substancji jest to ta sama wartość.

ciepło topnienia (krzepnięcia)

– ilość ciepła (energii), jaką należy dostarczyć (odebrać), aby stopić (zestalić) 1 kilogram danej substancji. Jest to wielkość charakterystyczna dla danego rodzaju substancji. Jednostką ciepła topnienia w układzie SI jest $\left(\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}}\right)$. Definicję tę możemy zapisać za pomocą wzoru:

$$L = \frac{Q}{m},$$

gdzie:
L – ciepło topnienia;
m – masa ciała;
$\Delta E = Q$ – energia (ciepło) dostarczone do ciała.
Powyższe zależności są prawdziwe, jeżeli temperatura w czasie procesu topnienia lub krzepnięcia jest stała – czyli tak, jak w przypadku ciał o budowie krystalicznej.

Wartości ciepła topnienia kilku wybranych substancji przedstawia poniższa tabela.

Wartość ciepła topnienia dla wybranych substancji

Ciała stałe	**Ciepło topnienia** $\left[\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}}\right]$
ołów	25 000
cynk	118 000
złoto	63 000
żelazo	270 000
lód	335 000

Przykład 3

Ile energii trzeba zużyć, aby stopić bryłkę ołowiu o masie 100 g (w stałej temperaturze topnienia)?
Analiza zadania:
Korzystamy ze wzoru definiującego ciepło topnienia: $L = \frac{Q}{m} / \cdot m$.
Po jego przekształceniu otrzymujemy: $Q = L \cdot m$.
Jak widać, do obliczenia potrzebnej ilości ciepła potrzebne są wartości ciepła topnienia i masy ciała.
Dane:
$L = 25\ 000 \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}}$ (z tabeli nr 3),
$\mathrm{m} = 100\mathrm{g} = 0{,}1\mathrm{kg}$.

Szukane:
$Q = \ ?$

Obliczenia:
$Q = 25000 \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}} \cdot 0{,}1\ \mathrm{kg} = 2500\ \mathrm{J} = 2{,}5\ \mathrm{kJ}$.

Odpowiedź:
Do stopienia 100 gramów ołowiu (w stałej temperaturze topnienia) potrzeba 2,5 kilodżula

> energii.

Wykonajmy kolejne doświadczenie.

Doświadczenie 3

Zbadanie, czy każde dostarczanie energii powoduje wzrost temperatury ciała.

Co będzie potrzebne

- kuchenka elektryczna lub inne źródło ciepła o stałej stabilnej mocy – istotne jest, aby w jednakowych odstępach czasu źródło to dostarczało jednakowych ilości energii (ciepła);
- termometr o zakresie od 10 do $110\,^{\circ}\mathrm{C}$;
- metalowe naczynie o pojemności około $750\ \mathrm{ml}$ (najlepiej zewnętrzne naczynia od kalorymetru szkolnego z pokrywą wyposażoną w otwór na termometr i mieszadełko);
- statyw z uchwytem do termometru – jeśli używasz naczynia bez pokrywy;
- woda;
- rękawice ochronne – mogą być kuchenne;
- papierowe ręczniki lub ściereczki.

Instrukcja

1. Do naczynia wlej około $500\ \mathrm{ml}$ wody i postaw je na kuchence.
2. W wodzie zanurz termometr (sposób mocowania termometru jest taki sam jak w pierwszym doświadczeniu).
3. Odczekaj kilka minut, aż woda zacznie wrzeć.
4. Odczytuj wskazania termometru przez kilka minut od rozpoczęcia wrzenia.
5. Wyłącz kuchenkę i poczekaj, aż wszystko ostygnie.

Podsumowanie

1. Podczas gdy woda wrze, jej temperatura pozostaje stała (ok. 100˚C).

2. Kuchenka była cały czas włączona, co oznacza, że energia (ciepło) była cały czas dostarczana do wody.

Wnioski:

1. Dostarczanie ciepła (energii) do wrzącej wody nie powodowało wzrostu jej temperatury, tylko wrzenie – czyli parowanie cieczy w całej objętości.

2. **Wrzenie (parowanie w całej objętości cieczy) wymaga dostarczania energii**.

Należy się spodziewać, że ilość energii potrzebnej do odparowania jakiejś cieczy zależy od ilości tej cieczy i rodzaju cieczy (substancji).

Aby zaszedł proces odwrotny, czyli zamiana gazu w ciecz (skraplanie), również niezbędna jest wymiana energii. Jednak w tym procesie gaz musi oddać ciepło (energię) do otoczenia, zmniejszając swoją energię wewnętrzną.

W celu porównywania właściwości różnych materiałów wprowadza się pojęcia ciepło parowania i ciepło skraplania. Dla danej substancji jest to taka sama wielkość.

ciepło parowania (skraplania)

– ilość energii cieplnej (ciepła), jaką należy dostarczyć (odebrać), aby odparować (skroplić) 1 kilogram danej substancji w danej temperaturze. Jest to wielkość charakterystyczna dla danego rodzaju substancji. Jednostką ciepła parowania w układzie SI jest $\left[\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}}\right]$.
Definicję tę możemy zapisać za pomocą wzoru:

$$R = \frac{Q}{m},$$

gdzie:
R – ciepło parowania;

m – masa ciała;
Q – ilość ciepła dostarczona ciału.

Ciepło parowania dla danej substancji zależy od ciśnienia i temperatury. Im wyższa temperatura, tym ciepło parowania jest mniejsze.

Wartości ciepła parowania kilku wybranych substancji przedstawia poniższa tabela.

Wartości ciepła parowania dla wybranych substancji

Ciecz	**Ciepło parowania** $\left[\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}}\right]$
rtęć	290 000
eter	355 000
kwas octowy	395 000
etanol	963 000
woda	2 260 000

Przykład 4

Jaką ilość eteru można odparować kosztem ciepła wydzielonego podczas skraplania $1\ \mathrm{kg}$ pary wodnej?
Analiza zadania:
Korzystając z definicji ciepła parowania, obliczamy ilość energii wydzielonej podczas skraplania pary wodnej:
$R_{\mathrm{wody}} = \frac{Q}{m_{\mathrm{wody}}} / m_{\mathrm{wody}}.$

Czyli:
$Q = R_{\mathrm{wody}} \cdot m_{\mathrm{wody}}.$

Dane:
$R_{\mathrm{wody}} = 2\ 260\ 000 \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}},$
$m_{\mathrm{wody}} = 1\mathrm{kg}\ .$

Obliczenia:
$Q = 2\ 260\ 000 \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}} \cdot 1\mathrm{kg} = 2\ 260\ 000\ \mathrm{J}.$

Przeprowadźmy obliczenia ilości eteru odparowanego ciepłem Q:
$R_{\mathrm{eteru}} = \frac{Q}{m_{\mathrm{eteru}}} / m_{\mathrm{eteru}},$

$Q = R_{\text{eteru}} \cdot m_{\text{eteru}} / : R_{\text{eteru}}$,
$m_{\text{eteru}} = \frac{Q}{R_{\text{eteru}}}$.

Dane:
$R_{\text{eteru}} = 355000 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$,
$Q = 2\ 260\ 000\ \text{J}$ (zgodnie z wynikiem poprzednich obliczeń).

Obliczenia:
$m_{\text{eteru}} = \frac{Q}{R_{\text{eteru}}} = \frac{2\ 260\ 000\ \text{J}}{355\ 000 \frac{\text{J}}{\text{kg}}} = 6{,}37\ \text{kg}.$

Odpowiedź:
Kosztem energii powstałej ze skroplenia $1\ \text{kg}$ pary wodnej można odparować około 6,37 kg eteru.

Polecenie 2

Czy więcej energii potrzeba do stopienia $5\ \text{kg}$ lodu, czy do odparowania takiej samej ilości wody? Odpowiedź uzasadnij, powołując się na wartości odpowiednich wielkości fizycznych.

Ćwiczenie 2

Które z poniższych twierdzeń jest prawdziwe, a które fałszywe?

	Prawda	Fałsz
Podczas powstawania rosy (skraplanie) woda oddaje ciepło do otoczenia.	○	○
Kostki lodu topniejące w szklance z napojem oddają energię do napoju.	○	○
Woda zamarzająca na powierzchni jeziora pobiera energię z otoczenia.	○	○
Woda parująca na powierzchni skóry człowieka pobiera ciepło ze skóry.	○	○
Aby stopił się śnieg wniesiony do mieszkania, musi pobrać ciepło z otoczenia.	○	○
Aby stopił się śnieg wniesiony do mieszkania, musi oddać zimno do otoczenia.	○	○

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Podsumowanie

- Ilość energii Q potrzebnej do ogrzania ciała zależy od tego, jaki przyrost temperatury chcemy uzyskać, a także od masy ogrzewanego ciała oraz od rodzaju substancji.
- Do porównywania cieplnych właściwości ciał służy ciepło właściwe.
- **Ciepło właściwe** to ilość energii cieplnej (ciepła) potrzebna do ogrzania 1 kilograma substancji o jeden stopień Celsjusza (jeden kelwin). Jest to wielkość charakteryzująca daną substancję.
- Jednostką ciepła właściwego w układzie SI jest $\left(\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg \cdot K}}\right)$.
- Definicję ciepła właściwego możemy zapisać za pomocą wzoru: $c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$,
  gdzie: c – ciepło właściwe, m – masa ciała, $\Delta \mathrm{T}$ – przyrost temperatury, Q – energia (ciepło) dostarczone do ciała.
- Aby stopić ciało stałe, należy dostarczyć energię, aby zaś zestalić ciecz, trzeba pobrać od niej energię.
- **Ciepło topnienia** to ilość energii, jaką należy dostarczyć, aby stopić 1 kilogram danej substancji. Jest to wielkość charakterystyczna dla danego rodzaju substancji. Jednostką ciepła topnienia w układzie SI jest $\left(\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}}\right)$.
- **Ciepło krzepnięcia** to ilość energii, jaką należy odebrać, aby zestalić 1 kilogram danej substancji. Jest to wielkość charakterystyczna dla danego rodzaju substancji. Jednostką ciepła krzepnięcia w układzie SI jest $\left(\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}}\right)$.
- Definicję ciepła topnienia możemy zapisać za pomocą wzoru: $L = \frac{Q}{m}$,
  gdzie: L – ciepło topnienia, m – masa ciała, $\Delta \mathrm{E} = Q$ – energia (ciepło) dostarczone do ciała.
- Parowanie cieczy oraz wrzenie (parowanie w całej objętości cieczy) wymagają dostarczania energii cieplnej do cieczy, natomiast skraplanie wymaga odprowadzania tej energii od substancji w fazie gazowej.
- **Ciepło parowania** to ilość energii (ciepła), jaką należy dostarczyć, aby odparować 1 kilogram danej substancji. Jest to wielkość charakterystyczna dla danego rodzaju substancji. Jednostką ciepła parowania w układzie SI jest $\left(\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}}\right)$.
- **Ciepło skraplania** to ilość energii (ciepła), jaką należy odebrać, aby skroplić 1 kilogram danej substancji. Jest to wielkość charakterystyczna dla danego rodzaju substancji. Jednostką ciepła parowania w układzie SI jest $\left(\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}}\right)$.
- Definicję ciepła parowania możemy zapisać za pomocą wzoru: $R = \frac{Q}{m}$,
  gdzie: R – ciepło topnienia, m – masa ciała, $\Delta E = Q$ – energia (ciepło) dostarczone do ciała.

Praca domowa

Polecenie 3.1

Ile energii trzeba zużyć, aby $100\ \mathrm{g}$ parafiny ogrzać do temperatury topnienia, a następnie stopić? Temperatura początkowa parafiny wynosi $20^\circ\mathrm{C}$. Brakujące dane znajdź w tablicach lub w Internecie.

Polecenie 3.2

O ile zmieni się energia wewnętrzna $200\ \mathrm{g}$ gorącej herbaty podczas stygnięcia od 100 do $40^\circ\mathrm{C}$?

Polecenie 3.3

Oblicz ciepło potrzebne do stopienia lodu pokrywającego staw o powierzchni $200\mathrm{m}^2$, jeśli grubość pokrywy lodowej wynosi $10\ \mathrm{cm}$. Gęstość lodu ma wartość $d = 900\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$. Ciepło topnienia lodu znajdź w tabeli. Przyjmij, że temperatura lodu wynosi 0°C.

Polecenie 3.4

*Oblicz moc, jaką musiałoby mieć źródło ciepła, żeby ten lód stopił się w ciągu 1 dnia (24 godzin).

Słowniczek

tarowanie wagi

– kilka czynności (obciążanie szalek, regulacja) dokonywanych przed ważeniem, których zadaniem jest doprowadzenie wagi do stanu równowagi lub też wyznaczenie rzeczywistej masy towaru bez opakowania (tary).

Wyznaczanie ciepła właściwego wody przy użyciu grzałki o znanej mocy

Czy wyznaczenie ciepła właściwego jest trudne i wymaga specjalistycznej, trudno dostępnej aparatury? Oto nasza propozycja przeprowadzenia takiego doświadczenia.

Eksperymentalne wyznaczenie ciepła właściwego wody wymaga od nas jedynie zmierzenia, jak szybko źródło ciepła o znanej mocy jest w stanie podgrzać określoną ilość wody i o jaką temperaturę. Jest to jeden z tych eksperymentów, które można przeprowadzić w kuchni przy użyciu przyrządów dostępnych w każdym domu

Już potrafisz

- podać definicję ciepła właściwego substancji;
- prawidłowo zmierzyć temperaturę wody termometrem;
- podać wartość temperatury wody podczas wrzenia;
- obliczać pracę, gdy znasz moc urządzenia i czas jego działania.

Nauczysz się

- analizować proces ogrzewania wody grzałką elektryczną: obliczać wartości pobranego przez wodę ciepła i energii dostarczonej przez grzałkę;
- układać bilans energii dla procesu ogrzewania wody grzałką elektryczną;
- wyznaczać ciepło właściwe wody;
- analizować przyczyny niepewności pomiarowej w procesie wyznaczania ciepła właściwego wody;
- dobierać właściwe przyrządy i materiały do przeprowadzenia doświadczenia.

Ciepło właściwe substancji możemy wyznaczyć z zależności:

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T},$$

gdzie: c – ciepło właściwe; m – masa ciała; ΔT – przyrost temperatury; Q – energia (ciepło) dostarczone do ciała.

Jak wynika z powyższej zależności, aby wyznaczyć ciepło właściwe substancji, musimy rozwiązać trzy problemy:

1. zmierzyć masę badanej substancji;
2. zmierzyć zmianę temperatury będącej skutkiem dostarczania (lub odbierania) energii do substancji;
3. obliczyć ilość ciepła dostarczonego tej substancji.

Ilość dostarczonej energii możemy zmierzyć za pomocą źródła ciepła o znanej mocy P i poprzez pomiar czasu jego pracy τ. Takimi źródłami ciepła są czajnik lub grzałka elektryczna. W urządzeniach tych cała energia elektryczna zamieniana jest na ciepło. Ponieważ są one przystosowane głównie do ogrzewania wody, dlatego właśnie tę ciecz wybieramy jako badaną substancję.

Masę wody możemy wyznaczyć, używając wagi lub mierząc jej objętość – w tym przypadku korzystamy ze znajomości gęstości wody.

Termometrem możemy zmierzyć temperaturę początkową wody, a poprzez ogrzewanie wody do momentu rozpoczęcia wrzenia uznajemy, że jej temperatura końcowa osiągnęła wartość $100^\circ\mathrm{C}$. Nie mierzymy tej temperatury termometrem, głównie ze względów bezpieczeństwa.

Ilość ciepła wytworzonego przez grzałkę obliczamy ze wzoru:

$$Q_1 = W = P \cdot \tau$$

Do oznaczenia czasu używamy tu greckiej litery τ (tau), aby nie myliła się z symbolem temperatury t.

Ciepło wytworzone przez grzałkę pobierane jest przez wodę i powoduje wzrost jej energii wewnętrznej, przejawiający się wzrostem temperatury. Opisuje to wzór:

$$Q_2 = m \cdot c_\mathrm{w} \cdot \Delta t = m \cdot c_\mathrm{w} \cdot (100^\circ\mathrm{C} - t_\mathrm{pocz.})$$

Jeśli założymy, że w wymianie ciepła nie uczestniczą inne ciała, możemy zapisać równanie:

$$Q_1 = Q_2$$

$$P \cdot \tau = m \cdot c_w \cdot (100^\circ\mathrm{C} - t_{\mathrm{pocz.}})$$

To równanie jest zapisem zasady zachowania energii z uwzględnieniem jej formy elektrycznej i cieplnej, zwanej bilansem ciepła (ilość ciepła dostarczonego = ilość ciepła pobranego).
Z tego równania można obliczyć dowolną nieznaną nam wielkość, gdy pozostałe są znane. W naszym doświadczeniu wielkością obliczaną będzie ciepło właściwe wody c_w, ponieważ wszystkie pozostałe zostaną zmierzone.

$$c_w = \frac{P \cdot \tau}{m \cdot (100^\circ\mathrm{C} - t_{\mathrm{pocz.}})}$$

Doświadczenie 1

Wyznaczenie ciepła właściwego wody przy użyciu grzałki o znanej mocy przy założeniu braku strat energii.

Jeśli w klasie pomiary wykonuje kilka zespołów uczniów, należy tak skoordynować przebieg pomiarów, aby nie wszystkie czajniki działały w tym samym czasie. Grozi to przeciążeniem instalacji elektrycznej.

Przeczytaj jeszcze raz instrukcję wykonania doświadczenia. Zwróć uwagę na czynności **zapisane pogrubioną czcionką**.

Co będzie potrzebne

- czajnik elektryczny lub grzałka elektryczna o znanej mocy;
- stoper;
- termometr o zakresie do 50°C;
- cylinder miarowy lub waga;
- zlewka o pojemności 750 ml (jeśli używasz grzałki).

Instrukcja

1. Odczytaj na tabliczce znamionowej moc czajnika lub grzałki.
   $P = \ldots\ldots\ldots\ldots \ \mathrm{kW} = \ldots\ldots\ldots\ldots \ \mathrm{W}$
2. Za pomocą cylindra miarowego odmierz $0{,}5 \ \mathrm{l}$ wody i wlej do czajnika. Gdy używasz grzałki, odmierzoną porcję wody wlej do zlewki $750 \ \mathrm{ml}$. Jeśli pojemność używanego czajnika jest większa niż 1 litr, wlej 1 litr wody. Ilość wody nie powinna być mniejsza niż połowa pojemności czajnika. Jeśli używasz wagi, zważ ilość wody wlewanej do czajnika. Możesz to zrobić, korzystając ze zlewki. Pamiętaj o wcześniejszym zważeniu pustej zlewki.

$$m_{\text{wody}} = m - m_{\text{zlewki}}$$

3. Zmierz temperaturę początkową wody. W tym celu zanurz końcówkę termometru w wodzie, odczekaj kilka minut (2–3) i odczytaj wskazanie termometru. Pamiętaj o konieczności unikania błędu paralaksy (czyli różnicy w postrzeganiu względnego położenia dwóch lub więcej obiektów w wyniku obserwacji ich pod różnymi kątami).

4. Włącz jednocześnie czajnik (grzałkę) i stoper. **Bardzo ważne jest jednoczesne wykonanie tych czynności.** Zaczekaj do chwili, kiedy woda **zacznie** wrzeć i **wyłącz** stoper. Ważne jest uchwycenie momentu **rozpoczęcia** wrzenia, dlatego uważnie obserwuj wodę. Najłatwiej jest to dostrzec, jeśli wodę gotujemy w przezroczystym naczyniu, dlatego w zadaniu tym najlepiej sprawdzają się czajniki wyposażone w przezroczyste „okienko” i podświetlenie zawartości.

5. Zapisz wszystkie wyniki pomiarów w tabeli. Pamiętaj o wyrażeniu ich w odpowiednich (wskazanych nagłówkach tabeli) jednostkach.

Tabela pomiarów

P $[\mathrm{W}]$	τ $[\mathrm{s}]$	V $\left[\mathrm{m}^3\right]$	$m_{\text{wody}} = 1000\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3} \cdot V$ $[\mathrm{kg}]$	$t_{\text{pocz.}}$ $[^\circ\mathrm{C}]$	c_w $\left[\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}\cdot{}^\circ\mathrm{C}}\right]$

Oblicz ciepło właściwe wody, korzystając z wcześniej wyprowadzonego wzoru:

$$c_w = \frac{P \cdot \tau}{m_{\text{wody}} \cdot (100\,^\circ\mathrm{C} - t_{\text{pocz.}})}$$

Wynik obliczeń zaokrąglij do pełnych setek.

Podsumowanie

1. Odczytaj z tablic stałych fizycznych ciepło właściwe wody i porównaj swój wynik z tym odczytanym z tablic. Przypuszczalnie różnica będzie spora.

2. Zbierz informacje o wynikach pomiarów uzyskanych przez inne osoby z klasy. Czy są takie same? Prawdopodobnie nie.

3. Wymień przynajmniej trzy przyczyny, które wpływają na niepewność pomiaru w tym doświadczeniu. Która z przyczyn miała największy wpływ na różnicę między wynikiem doświadczenia a wartością odczytaną z tablic? Wskaż te, które powodują, że twój wynik może być większy niż ten w tablicach, oraz te, które zaniżają wyznaczoną wartość.

* W naszym doświadczeniu przyjęliśmy założenie, że nie ma tu strat energii.

Polecenie 1

Przeczytaj uważnie fragment o stratach energii. Jaki wpływ na obliczoną wartość ciepła właściwego wody miałoby uwzględnienie strat energii? Uzasadnij swój wniosek.

Słowniczek

kalorymetr szkolny

– przyrząd składający się z dwóch naczyń włożonych jedno w drugie i oddzielonych materiałem izolującym, dodatkowo z pokrywką z otworami na termometr i mieszadełko.

tabelaryczna wartość

– wartość odczytana z tablic na przykład fizycznych, chemicznych lub historycznych itp.

Zadania podsumowujące rozdział

Ćwiczenie 1

Uzupełnij luki.

W opisanym wyżej doświadczeniu można zmniejszyć [ ] pomiaru, używając dokładniejszych przyrządów: wagi lub menzurki oraz termometru. Zbyt późne wyłączenie stopera powoduje [ ] wartości wyniku pomiaru, gdyż ciepło dostarczone przez grzałkę po rozpoczęciu [ ] nie powoduje wzrostu temperatury wody, tylko jej parowanie i nie powinno być brane pod uwagę w obliczeniach ciepła [ ]. Założenie braku strat energii jest uzasadnione, jeśli czas ogrzewania wody jest [ ].

zwiększenie | krótki | właściwego | niepewność | dokładność | długi | zmniejszenie | wrzenia

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Polecenie 2

Oblicz, jak długo trwa doprowadzenie do wrzenia szklanki wody (***m*** = 250 g) w czajniku o mocy 2 kW. Temperatura początkowa wody wynosiła ***t*** = 15°C, ciepło właściwe wody ma wartość $c_{\mathrm{w}} = 4\,200 \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg} \cdot {}^{\circ}\mathrm{C}}$. W rozwiązaniu zadania pomiń straty energii cieplnej.

Polecenie 3

Grzałka o mocy 1,5 kW ogrzewa w czajniku 1,5 litra wody. Temperatura początkowa wody wynosi 20°C. Oblicz temperaturę, do jakiej podgrzana byłaby woda w ciągu 3 minut, gdyby nie było strat energii.

Polecenie 4

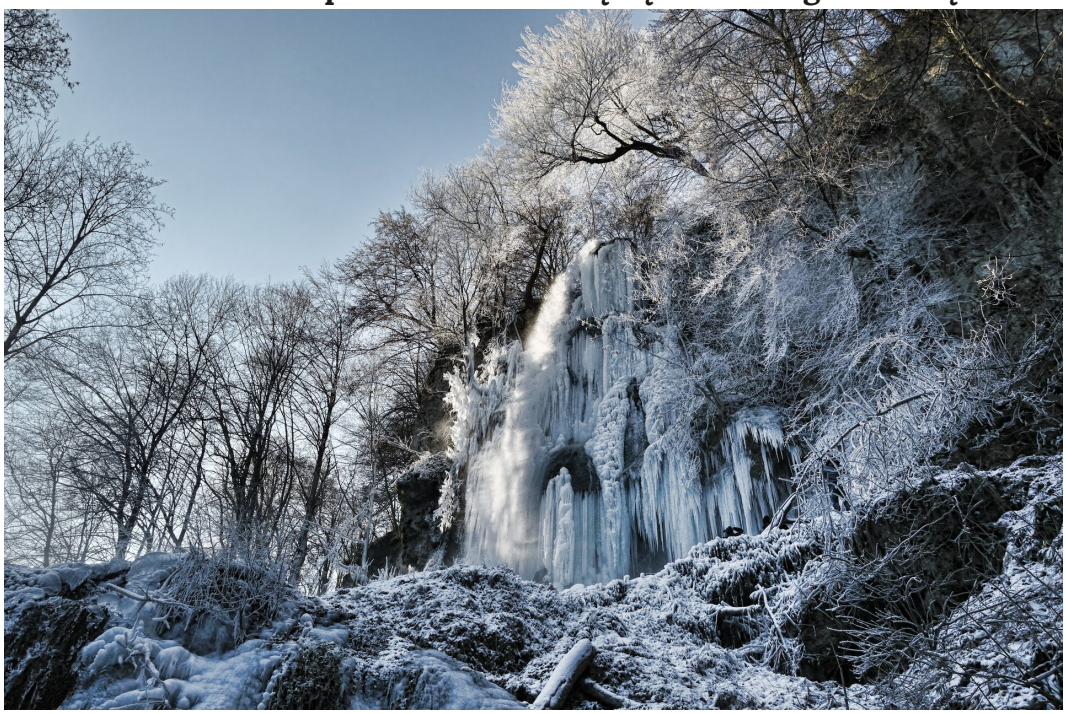
W naczyniu znajduje się 1 litr wody w temperaturze 80°C. Oblicz, ile wody o temperaturze 10°C trzeba wlać do tego naczynia, aby temperatura końcowa wynosiła 50°C. Pomiń straty energii. Co oprócz strat energii należałoby uwzględnić, aby dokładnie obliczyć masę potrzebnej wody?

Polecenie 5

Do 1 litra wody o temperaturze 20°C wrzucono bryłkę o masie 0,19 kg, wykonaną ze szkła o nieznanej wartości ciepła właściwego. Bryłka ta była przedtem w naczyniu z wrzącą wodą. Po chwili zmierzono temperaturę wody, która wyniosła 23,1°C. Przyjmij, że ciepło właściwe wody wynosi $4\ 200 \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg} \cdot \mathrm{K}}$. Oblicz ciepło właściwe szkła, z którego jest wykonana bryłka.

Energia wewnętrzna i zmiany stanów skupienia

Znasz już pojęcie energii wewnętrznej ciała i wiesz, w jaki sposób można ją zmieniać. Czy w procesach zmian stanów skupienia zmieniać się będzie energia wewnętrzna?



Proces zamarzania wody zachodzi, gdy w skutek jej ochładzania energia wewnętrzna cząsteczek spada tak bardzo, że dochodzi do przejścia stanu skupienia z ciekłego w stały. Przy odpowiednio niskiej temperaturze występującej przez wystarczająco długi czas zamarznąć może nawet powierzchnia bardzo szybko płynącej wody, np. wodospadu

Już potrafisz

- analizować procesy ogrzewania, ochładzania, topnienia, krzepnięcia, parowania i skraplania oraz wskazywać, w których procesach ciepło jest pobierane, a w których oddawane;
- podawać definicje ciepła właściwego, ciepła parowania (skraplania) oraz ciepła topnienia (krzepnięcia) i stosować je do obliczeń.

Nauczysz się

- opisywać przemiany energii wewnętrznej w procesach: ogrzewania, ochładzania, topnienia i krzepnięcia, parowania i skraplania, sublimacji i resublimacji;
- sporządzać i analizować wykresy ilustrujące zmiany temperatury ciała w procesie ogrzewania, topnienia i parowania substancji.

W doświadczeniach nr 2 i 3 wykonanych w rozdziale 2.12 mogłeś zauważyć, że:

- dostarczanie ciepła (energii) do mieszaniny wody z lodem nie powodowało wzrostu jej temperatury, tylko topnienie lodu.

- dostarczanie ciepła (energii) do wrzącej wody nie powodowało wzrostu jej temperatury, lecz wrzenie – czyli parowanie cieczy w całej objętości.

Z tych obserwacji wynika, że zarówno **do stopienia ciała stałego, jak i wrzenia (parowania w całej objętości cieczy) niezbędna jest energia**.

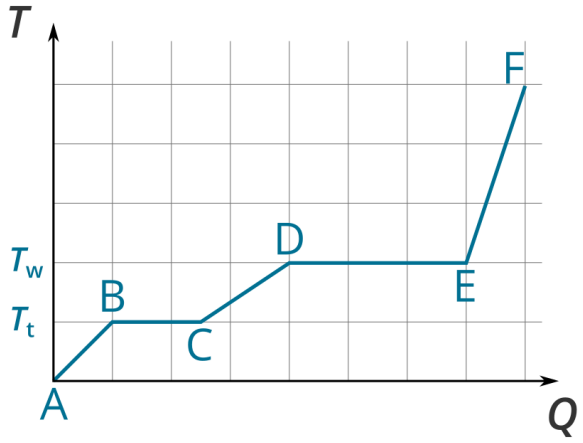
Co dzieje się z dostarczoną energią? Czy brak zmiany temperatury oznacza, że energia wewnętrzna topniejącego lodu lub wrzącej wody nie uległa zmianie?

Otóż nie oznacza to, że energia wewnętrzna lodu się nie zmieniała. Dostarczone ciepło zostało „zużyte" do stopienia lodu (zmiany struktury wewnętrznej H_2O z ciała stałego w ciecz). Jest to związane ze zmianą energii wewnętrznej, a konkretnie z zerwaniem wiązań między cząsteczkami tworzącymi ciało stałe.

Podobnie działo się podczas wrzenia. Dostarczone ciepło zostało „zużyte" na parowanie wody (zmianę struktury wewnętrznej H_2O z cieczy w gaz, zwany parą wodną). Jest to związane ze zmianą energii wewnętrznej, a konkretnie z zerwaniem wiązań między cząsteczkami tworzącymi ciecz.

> **Polecenie 1**
>
> Korzystając z definicji energii wewnętrznej, odpowiedz, który ze składników tej energii zmienia się, gdy zmianie ulega temperatura ciała, a który – podczas zmiany stanu skupienia, któremu towarzyszy brak zmiany temperatury.

Poniższy wykres przedstawia zmiany temperatury ciała ogrzewanego przez równomierne dostarczanie ciepła.



Źródło: Krzysztof Jaworski, licencja: CC BY 3.0.

Etap AB – odpowiada ogrzewaniu ciała w fazie stałej; dostarczanie ciepła powoduje wzrost temperatury ciała. Nachylenie wykresu zależy od masy ciała i wartości ciepła właściwego substancji w tym stanie skupienia: przy takiej samej masie ciała większe nachylenie (bardziej stromy wykres) oznacza mniejsze ciepło właściwe.

Polecenie 2

Uzasadnij za pomocą odpowiednich zależności, że w przypadku dwóch różnych ciał o takiej samej masie dostarczenie jednakowych ilości ciepła spowoduje większy przyrost temperatury dla ciała o mniejszej wartości ciepła właściwego.

Etap BC – odpowiada topnieniu ciała; punkt T_t na osi temperatury oznacza temperaturę topnienia. Długość odcinka BC zależy od masy ciała i ciepła topnienia substancji: przy takiej samej masie ciała dłuższy odcinek BC oznacza większe ciepło topnienia.

Polecenie 3

Uzasadnij, że długość odcinka BC na wykresie jest tym większa, im większe jest ciepło topnienia tej substancji.

Etap CD – odpowiada ogrzewaniu ciała w fazie ciekłej; dostarczanie ciepła powoduje wzrost temperatury cieczy powstałej ze stopionego ciała. Nachylenie wykresu zależy od masy cieczy i wartości ciepła właściwego substancji w tym stanie skupienia: przy takiej samej masie ciała większe nachylenie (bardziej stromy wykres) oznacza mniejsze ciepło właściwe.
Etap DE – odpowiada procesowi wrzenia cieczy; punkt T_w na osi temperatury oznacza temperaturę wrzenia. Długość odcinka DE zależy od masy ciała i ciepła parowania substancji: przy takiej samej masie ciała dłuższy odcinek DE oznacza większe ciepło parowania.

Etap EF – odpowiada ogrzewaniu ciała w fazie gazowej; dostarczanie ciepła powoduje wzrost temperatury gazu powstałego z odparowanej cieczy. Nachylenie wykresu zależy od masy gazu i wartości ciepła właściwego substancji w tym stanie skupienia: przy takiej samej masie większe nachylenie (bardziej stromy wykres) oznacza mniejsze ciepło właściwe.

Ćwiczenie 1

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Gdy ciało oddaje ciepło, to jego temperatura maleje. Tak jest wtedy, gdy zmniejszenie energii wewnętrznej nie powoduje zmiany stanu skupienia.
Ubytek energii wewnętrznej ciała związany jest też z takimi procesami, jak skraplanie i krzepnięcie.

Przykład 1

Oparzenie parą wodną o temperaturze 100°C jest bardziej dotkliwe od oparzenia wodą o tej samej temperaturze. Dlaczego?
Odpowiedź:
W zetknięciu ze skórą człowieka o temperaturze około 37°C zarówno para wodna, jak

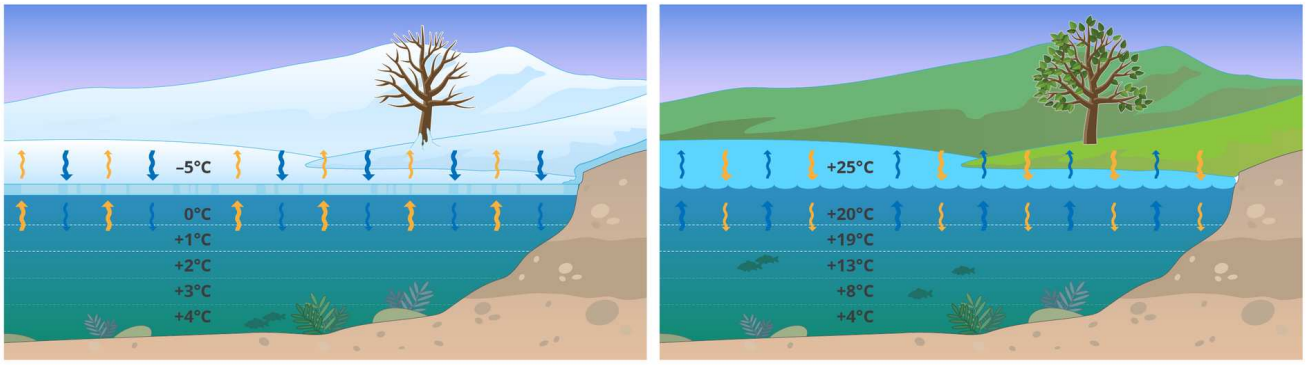
i gorąca woda oddaje ciepło, ale ciepło oddane przez parę wodną związane jest z ciepłem skraplania, którego wartość to ponad **2 miliony dżuli** na kilogram. Natomiast ciepło oddane przez stygnącą wodę związane jest z ciepłem właściwym ciekłej wody, którego wartość to „tylko” nieco ponad **4 tysiące dżuli** na kilogram przy zmianie temperatury o jeden stopień. Nawet jeśli pomnożymy to przez różnicę temperatur (63 ˚C), i tak otrzymamy liczbę znacznie mniejszą niż 2 miliony dżuli, bo ok. **250 tysięcy dżuli** na kilogram. W naszych rozważaniach zakładamy jednakową masę pary wodnej i wrzątku stykających się ze skórą człowieka.

Przykład 2

Woda zamarzająca na powierzchni jeziora zmniejsza swoją energię wewnętrzną. Co dzieje się z energią oddaną przez tę zamarzającą warstwę wody?

Odpowiedź:

Energia ta oddawana jest do otoczenia, czyli do powietrza, ale też (co ważne) do głębszych warstw wody. Powoduje to ogrzewanie wody pod powierzchnią tworzącego się lodu. W połączeniu ze zjawiskiem konwekcji (gęstość wody o temperaturze 4°C jest największa) umożliwia to przetrwanie roślinom i zwierzętom w głębi jeziora nawet podczas mroźnej zimy.



Źródło: Andrzej Bogusz, licencja: CC BY 3.0.

* Zmiany energii wewnętrznej zachodzą też w procesie sublimacji...

Podsumowanie

- Topnienie, parowanie i sublimacja to zmiany stanu skupienia, które wymagają dostarczania energii cieplnej (ciepła) do substancji.
- Dostarczona energia cieplna powoduje wzrost energii wewnętrznej ciała, związany ze zmianą struktury wewnętrznej tej substancji – rośnie energia potencjalna wynikająca z wzajemnych oddziaływań atomów i cząsteczek.
- Krzepnięcie, skraplanie i resublimacja to zmiany stanu skupienia, które wymagają oddawania energii cieplnej (ciepła) przez substancję.

- Oddane ciepło powoduje zmniejszenie energii wewnętrznej ciała i wiąże się ze zmianą struktury wewnętrznej substancji – maleje energia potencjalna wynikająca z wzajemnych oddziaływań atomów i cząsteczek.

Praca domowa

Polecenie 4.1

1. Kiedy wchodzimy do wody o temperaturze 25°C, to na początku czujemy chłód, ale potem wrażenie to znika. Kiedy jednak wychodzimy z wody, to – zwłaszcza gdy wieje wiatr – czujemy, że jest nam zimno, mimo że temperatura powietrza wynosi np. 30°C. Wyjaśnij przyczyny takiego odczuwania temperatury.

2. Do jednego kilograma wody (lodu) o temperaturze -10°C dostarczane jest ciepło w ilości $210\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{min}}$.

    1. Oblicz czasy potrzebne na ogrzanie lodu do temperatury 0°C, stopienie lodu, ogrzanie powstałej wody do temperatury 100°C. Załóż, że podczas ogrzewania wody nie zachodzi parowanie.

    2. Wykonaj wykres przedstawiający przebieg zmian temperatury (oś pionowa) tej wody od czasu (oś pozioma).

Zadanie podsumowujące rozdział

Polecenie 5

Do naczynia zawierającego stopiony wosk o stałej temperaturze $61^\circ\mathrm{C}$ wstawiono drugie mniejsze naczynie z takim samym woskiem, ale w stanie stałym. Czy wosk w mniejszym naczyniu się stopi? Temperatura topnienia wosku wynosi $61^\circ\mathrm{C}$. Odpowiedź uzasadnij, odwołując się do zmiany energii w procesie topnienia.

Podsumowanie wiadomości o pracy, mocy i energii

W tym dziale poznaliście pojęcia i definicje takich wielkości fizycznych, jak: praca, moc, energia mechaniczna, ciepło, energia wewnętrzna, ciepło właściwe, ciepło topnienia, ciepło parowania. Znacie już też jedną z fundamentalnych zasad przyrody – zasadę zachowania energii i jej zastosowanie zarówno w odniesieniu do energii mechanicznej, jak i energii wewnętrznej ciał. Na lekcjach analizowaliście przemiany energii w różnych procesach i urządzeniach. Zaznajomiliście się też z zasadami działania maszyn prostych i przykładami ich praktycznego wykorzystania.

Bez wnikliwej wiedzy na temat takich pojęć fizycznych, jak praca, moc czy energia niemożliwy byłby rozwój mechaniki. Bez niej z kolei nie istniałby świat taki, jaki znamy dzisiaj. Zdjęcie powyżej ukazuje silnik spalinowy historycznego samolotu dwupłatowego Waco 10 z 1928 roku z promieniowo rozmieszczonymi cylindrami, czyli tzw. silnik gwiazdowy

1. Praca

Źródło: ContentPlus, licencja: CC BY 3.0.

1. Znaczenie słowa praca w języku potocznym nie pokrywa się z jego znaczeniem w języku fizyki.
2. W języku fizyki **praca** W to zdefiniowana wielkość, będąca iloczynem siły F i przemieszczenia s, jeśli kierunki siły i przemieszczenia są takie same; w takiej sytuacji możemy ją wyrazić wzorem:
   $W = F \cdot s$
3. Jednostką pracy jest **dżul**, oznaczamy ją literą J.
   1 dżul $= 1$ niuton $\cdot$ 1 metr, co oznacza, że 1 J jest równy pracy wykonanej przez siłę 1 N na drodze 1 m.
   $1\ \mathrm{J} = 1\ \mathrm{N} \cdot 1\ \mathrm{m}$
4. Praca siły prostopadłej do przemieszczenia ma wartość zero.

2. Moc

Źródło: JAW (http://commons.wikimedia.org), edycja: Krzysztof Jaworski, licencja: CC BY-SA 3.0.

1. Moc informuje nas, jaka jest szybkość wykonywanej pracy lub inaczej – ile pracy wykonywano w jednostce czasu.
2. Moc P jest równa ilorazowi pracy W i czasu t, w którym ta praca została wykonana: $P = \frac{W}{t}$. Jeżeli praca była wykonywana ze zmienną szybkością, to otrzymamy wartość średniej mocy.
3. Jednostką mocy w układzie SI jest wat. Urządzenie ma moc 1 wata, jeśli w ciągu 1 sekundy wykonuje pracę 1 dżula: $1 = \frac{1\,\mathrm{J}}{1\,\mathrm{s}}$.

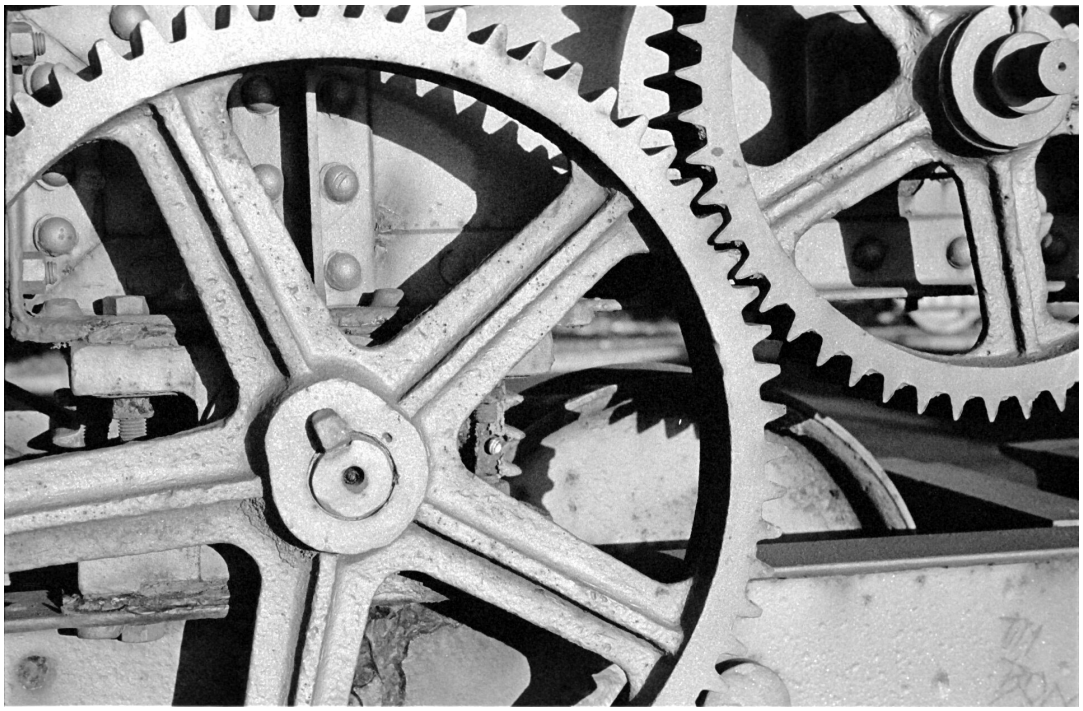
3. Maszyny proste

Źródło: Krzysztof Jaworski, licencja: CC BY 3.0.

1. **Maszyny proste** to urządzenia ułatwiające wykonanie pracy. Należy podkreślić, że nie zmniejszają one wykonanej pracy, ale pozwalają wykonać pracę z użyciem mniejszej siły.
2. Przykładami maszyn prostych są:
    - dźwignia jednostronna – sztywny pręt podparty w jednym punkcie, do którego siły są przyłożone po jednej stronie punktu podparcia;

- dźwignia dwustronna – sztywny pręt podparty w jednym punkcie, do którego siły są przyłożone po obu stronach punktu podparcia;
- blok nieruchomy (rodzaj dźwigni dwustronnej) – to koło zamocowane na osi, przez które przerzucono linę. Ponieważ ramiona obu sił są takie same (ich wartość jest równa promieniowi koła), to również siły po obu stronach osi obrotu mają taką samą wartość. Użycie bloku nieruchomego pozwala zmienić kierunek siły działania;
- kołowrót – maszyna prosta będąca walcem o promieniu r z umocowaną na jego końcu korbą o ramieniu $\mathrm{R} > \mathrm{r}$. Osią obrotu kołowrotu jest jego oś symetrii. Na kołowrót jest nawinięta lina, której jeden koniec jest przymocowany do kołowrotu, a na drugi działa siła obciążająca Q. Wprawiająca w ruch siła F działa prostopadle do ramienia korby i jest równa: $F = \frac{r}{R} \cdot Q$.

4. Energia mechaniczna

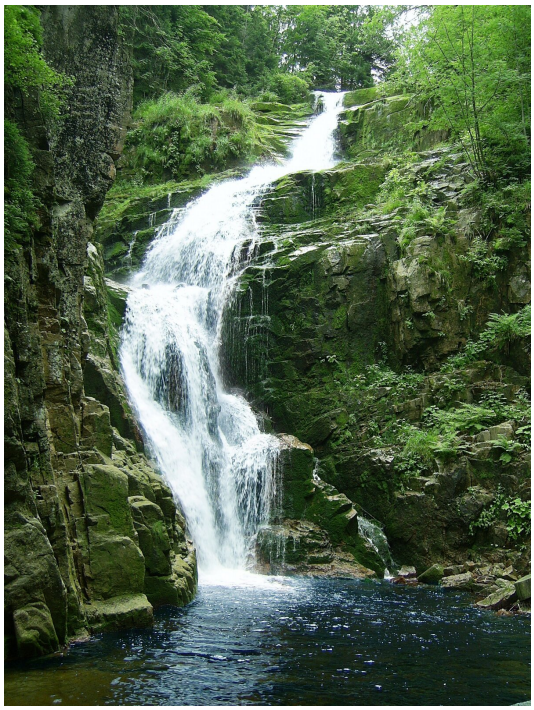


Źródło: tallkev (https://www.flickr.com), licencja: CC BY 2.0.

1. Energię posiada ciało lub układ ciał, które mają zdolność do wykonania pracy. Może ona występować w różnych formach, np. energia elektryczna, energia cieplna, energia chemiczna, energia mechaniczna.
2. Jednostką energii jest dżul.
3. Energia ciała może się zmieniać. Gdy ciało wykonuje pracę, jego energia maleje, a podczas gdy siły zewnętrzne wykonują pracę nad ciałem – jego energia wzrasta o wartość wykonanej pracy.

4. Energia mechaniczna jest sumą energii kinetycznej i potencjalnej.
5. Do oznaczenia energii najczęściej używa się symbolu E: $E_{\mathrm{mech}} = E_{\mathrm{kin}} + E_{\mathrm{pot}}$

5. Energia potencjalna



Źródło: Mietax007 (http://pl.wikipedia.org), public domain.

1. **Energia potencjalna** jest jedną z form energii mechanicznej. Posiadają ją ciała, które oddziałują ze sobą (przyciągają się lub odpychają), a jej wartość zależy od położenia tych ciał względem siebie. Jeśli między ciałami działa siła grawitacji – mówimy o energii potencjalnej grawitacji.
2. **Energia potencjalna grawitacji** to energia układu ciał oddziałujących siłami grawitacyjnymi. Wartość tej energii zależy od masy ciał oraz od odległości między nimi; rośnie, gdy zwiększa się odległość między oddziałującymi ciałami oraz jest większa w przypadku ciał o większej masie.
3. Wartość grawitacyjnej energii potencjalnej dla ciała o masie m znajdującego się w pobliżu powierzchni Ziemi obliczamy ze wzoru:
   $E_{\mathrm{pot}} = m \cdot g \cdot h$,
   gdzie h oznacza wysokość ponad pewien umownie przyjęty poziom (gdy energia potencjalna ciała jest równa zero).
   Oznacza to, że wartość energii potencjalnej grawitacji zależy od wyboru poziomu, względem którego ją obliczamy. Ponieważ oddziaływanie Ziemi słabnie ze wzrostem odległości od niej, zależność ta jest prawdziwa blisko powierzchni Ziemi.
4. Przyrost energii potencjalnej grawitacji nie zależy od wyboru poziomu odniesienia i jest wprost proporcjonalny do masy ciała i zmiany wysokości.

5. **Energia potencjalna sprężystości** to energia zgromadzona w ciałach odkształconych sprężyście. Odkształconych to znaczy rozciągniętych, ściśniętych, wygiętych lub skręconych. Wartość tej energii jest wprost proporcjonalna do kwadratu odkształcenia oraz zależy od właściwości sprężystych odkształcanego ciała. Zawsze jest równa pracy, jaką trzeba włożyć, aby odkształcić ciało.

6. Energia kinetyczna

Źródło: Autor, licencja: CC BY 3.0.

1. Energia kinetyczna to jedna z form energii mechanicznej. Posiadają ją ciała będące w ruchu i zależy ona od masy ciała oraz wartości jego prędkości.
2. Energia kinetyczna ciała równa jest pracy, jaką trzeba wykonać, aby ciało o masie m rozpędzić do prędkości v (lub zatrzymać ciało będące w ruchu).
3. Wartość energii kinetycznej ciała równa jest iloczynowi połowy masy ciała i kwadratu wartości prędkości ciała:
   $\text{energia kinetyczna} = \frac{1}{2} \cdot \text{masa} \cdot (\text{prędkość})^2$
   $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$
4. Energia kinetyczna ciała jest wprost proporcjonalna do masy ciała; to znaczy, że na przykład trzykrotne zwiększenie masy ciała powoduje trzykrotny wzrost jego energii kinetycznej (przy niezmienionej prędkości).
5. Energia kinetyczna ciała jest proporcjonalna do kwadratu prędkości, co oznacza, że na przykład trzykrotny wzrost prędkości powoduje aż dziewięciokrotny wzrost jego energii kinetycznej (przy stałej masie ciała).

6. Wartość energii kinetycznej zależy od układu odniesienia, ponieważ prędkość ciała zależy od układu odniesienia.
7. Ciała o różnych masach mogą mieć takie same energie kinetyczne, jeśli mają różne prędkości. Ciało o masie np. 100 razy mniejszej osiągnie taką samą energię kinetyczną jak ciało masywniejsze, jeśli jego prędkość będzie 10 razy większa.

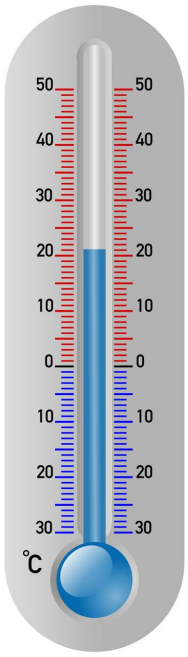
7. Zasada zachowania energii

E = constans

Źródło: Krzysztof Jaworski, licencja: CC BY 3.0.

1. Zasada zachowania energii mechanicznej ma charakter empiryczny, to znaczy, że została sformułowana jako wniosek z bardzo wielu doświadczeń.
2. Zasada zachowania energii mechanicznej głosi, że **jeżeli siły zewnętrzne nie wykonują pracy nad układem ciał i na składniki układu nie działają siły tarcia lub oporu ośrodka, to energia mechaniczna układu pozostaje stała. To znaczy, że energie kinetyczna i potencjalna składników układu mogą się zmieniać, ale ich suma pozostaje niezmieniona. Można to zapisać równaniem**:
$(E_{\mathrm{pot}} + E_{\mathrm{kin}})_{\mathrm{pocz}} = (E_{\mathrm{pot}} + E_{\mathrm{kin}})_{\mathrm{kon}}$
3. Zasada zachowania energii mechanicznej ma duże znaczenie praktyczne, ponieważ pozwala w łatwy i prosty sposób obliczyć lub przynajmniej oszacować niektóre wielkości opisujące stan układu ciał w różnych procesach.

8. Temperatura a energia kinetyczna cząsteczek



Źródło: Fornax (http:\\commons.wikimedia.org), licencja: CC BY 3.0.

1. Temperatura jest wielkością opisującą stan cieplny ciała i jest miarą stopnia jego nagrzania. Mierzymy ją w stopniach Celsjusza lub kelwinach.
2. Temperatura związana jest ze średnią energią kinetyczną atomów i cząsteczek – dwa ciała mają taką samą temperaturę, jeśli średnia energia kinetyczna ich atomów lub cząsteczek jest taka sama.
3. **Temperatura to nie to samo co ciepło,** które jest jedną z form przekazywania energii.
4. W skali Kelvina (zwanej też bezwzględną skalą temperatur) temperatura jest wprost proporcjonalna do średniej energii kinetycznej atomów lub cząsteczek.
5. Zero kelwinów (zero bezwzględne temperatur) to najniższa wartość temperatury, w której ustaje ruch termiczny atomów i cząsteczek; ich energia kinetyczna byłaby wówczas równa zeru.
6. Temperaturę odczytaną w stopniach Celsjusza przeliczamy na kelwiny, dodając liczbę 273: $T_{\text{Kelvina}} = T_{\text{Celsjusza}} + 273$
7. **Różnica** temperatur ma taką samą wartość zarówno w skali Celsjusza, jak i w skali bezwzględnej.

9. Energia wewnętrzna i I zasada termodynamiki

$$\Delta E = Q + W$$

Źródło: Krzysztof Jaworski, licencja: CC BY 3.0.

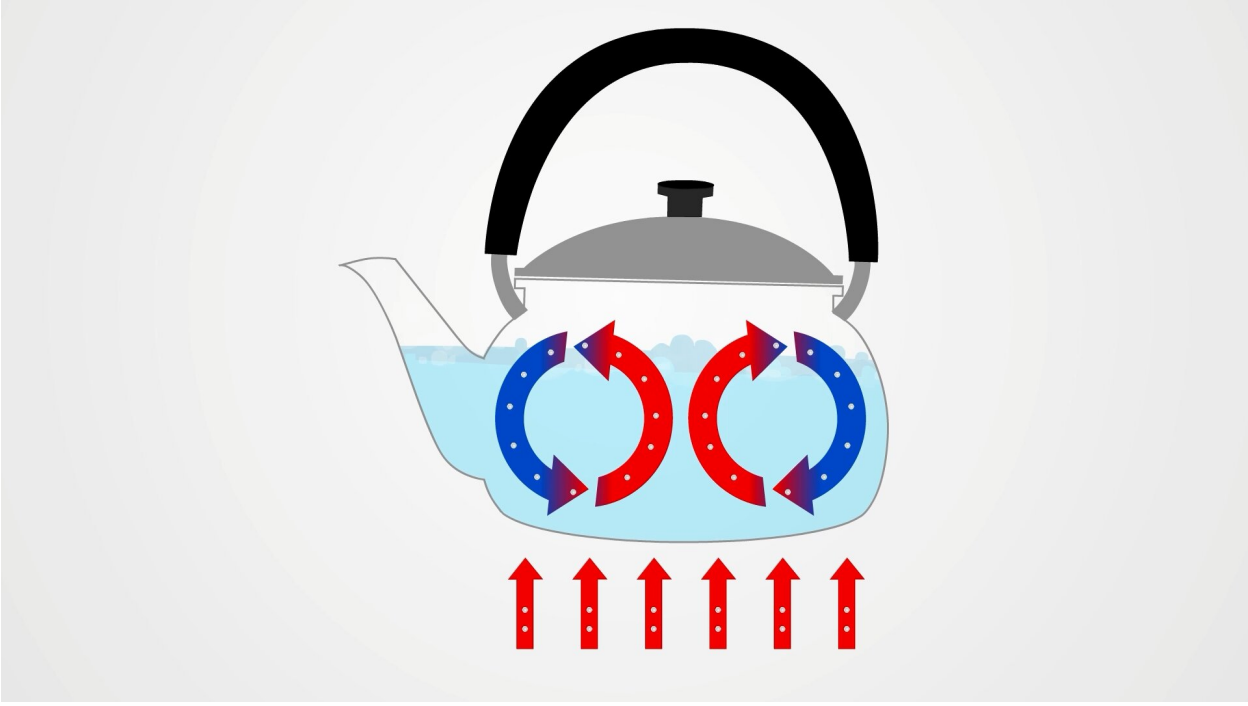
1. Praca sił tarcia zamienia energię kinetyczną ciała na jego energię wewnętrzną.
2. **Energia wewnętrzna ciała** to suma energii kinetycznych i potencjalnych wszystkich atomów i cząsteczek tworzących to ciało.
3. Wartość energii wewnętrznej zależy od:
    - liczby atomów i cząsteczek tworzących ciało – więcej cząsteczek to więcej składników sumy;
    - temperatury ciała – wyższa temperatura to większa wartość średniej energii kinetycznej cząsteczek;
    - rodzaju substancji i stanu jej skupienia – wielkość energii potencjalnej pochodzącej od oddziaływań międzycząsteczkowych zmienia się wraz ze stanem skupienia i jest różna dla różnych substancji.
4. **Pierwsza zasada termodynamiki** głosi, że zmiany energii wewnętrznej ciała wywoływane są pracą oraz przepływem energii cieplnej. Całkowita zmiana energii wewnętrznej jest sumą zmian wywołanych pracą i wymianą ciepła z otoczeniem:
   $\Delta E_{\text{wew}} = W + Q$
   gdzie:
   ΔE_{wew} – zmiana energii wewnętrznej;
   W – praca;
   Q – ciepło.

10. Przewodnictwo cieplne

Źródło: Tomorrow Sp. z o.o., licencja: CC BY 3.0.

1. **Przewodnictwo cieplne** polega na przekazywaniu energii pomiędzy częściami ciała, których temperatury są różne. Ze zjawiskiem tym mamy do czynienia, gdy wydzieloną część ciała podgrzejemy. Po pewnym czasie, dzięki przekazywaniu energii, temperatura ciała wyrówna się.
2. **Wielkością przenoszoną w procesie przewodnictwa jest ciepło**, a zjawisko zachodzi dzięki różnicy temperatur.
3. Mechanizm przewodnictwa cieplnego oparty jest na bezpośrednim przekazywaniu energii kinetycznej między cząsteczkami lub atomami materii.
4. Ze względu na zdolność transportowania energii wewnętrznej substancje dzielimy na:
    - **przewodniki ciepła** – energia wewnętrzna jest w nich transportowana szybko i łatwo;
    - **izolatory cieplne** – transport energii wewnętrznej zachodzi w nich wolno.
5. Najlepszymi przewodnikami ciepła są: metale (również ciekłe), grafit, diament.
6. Dobrymi izolatorami ciepła są: gazy, pierze, wata szklana, korek, styropian, futro.

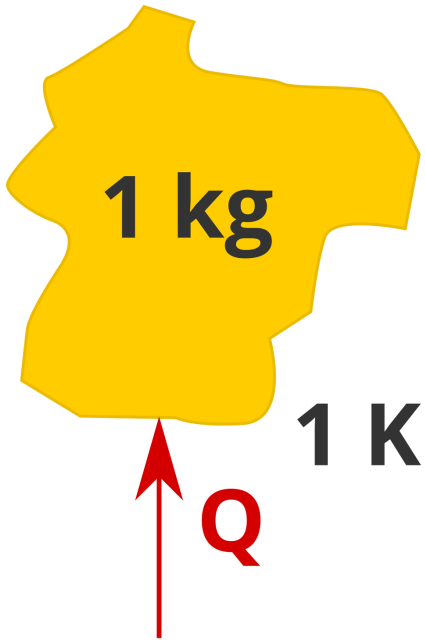
11. Konwekcja



Źródło: Tomorrow Sp.z o.o., licencja: CC BY 3.0.

1. Konwekcja to proces przekazywania energii wewnętrznej przenoszonej przez poruszające się gaz lub ciecz.
2. **Konwekcja swobodna** – przyczyną ruchu gazu lub cieczy są różnice gęstości obszarów o różnej temperaturze.

12. Ciepło właściwe

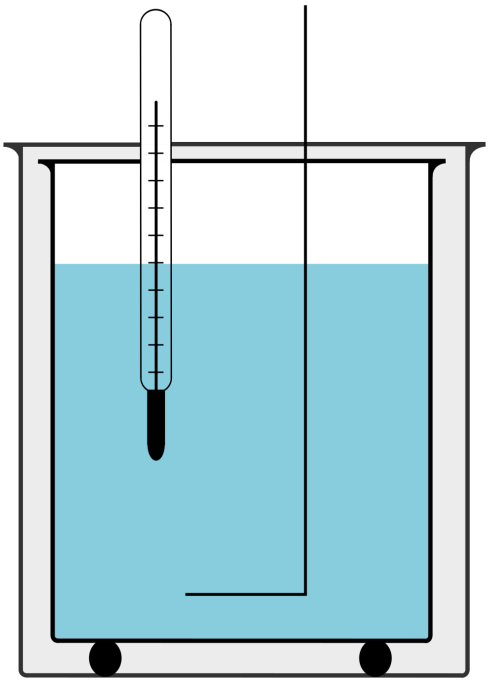


Źródło: Krzysztof Jaworski, licencja: CC BY 3.0.

1. **Ciepło właściwe** to ilość energii potrzebna do ogrzania 1 kilograma substancji o jeden stopień Celsjusza (o jeden kelwin). Jest to wielkość charakteryzująca daną substancję. Jednostką ciepła właściwego w układzie SI jest $\left[\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}\cdot\mathrm{K}}\right]$.
2. Definicję ciepła właściwego możemy zapisać za pomocą zależności: $c = \frac{Q}{m\cdot\Delta T}$, gdzie:
   c – ciepło właściwe;
   m – masa ciała;
   ΔT – przyrost temperatury;
   Q – energia dostarczona do ciała w formie cieplnej (ciepło). Można ją obliczyć po przekształceniu powyższej zależności.

Otrzymamy wtedy: $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$

13. Wyznaczanie ciepła właściwego wody



Źródło: Li-on (https://commons.wikimedia.org), edycja: Krzysztof Jaworski, licencja: CC BY 3.0.

Aby wyznaczyć ciepło właściwe wody, musimy wykonać następujące działania:

1. zmierzyć ilość energii dostarczonej do wybranej ilości wody;
2. zmierzyć masę wody;
3. zmierzyć zmianę temperatury, będącą skutkiem dostarczania energii do wody.

Ad 1. Do tego działania najwygodniej jest użyć źródła ciepła o znanej mocy P (najlepiej czajnika lub grzałki elektrycznej) i zmierzyć czas jego pracy τ. W urządzeniach tych cała energia elektryczna zamieniana jest na ciepło.
Ad 2. Masę wody możemy wyznaczyć, używając wagi lub mierząc jej objętość – w tym przypadku korzystamy ze znajomości gęstości wody.
Ad 3. Termometrem możemy zmierzyć temperaturę początkową wody, a ogrzewając wodę do momentu rozpoczęcia wrzenia, uznajemy, że temperatura końcowa wody osiągnęła wartość $100^\circ\mathrm{C}$. Nie mierzymy tej temperatury termometrem, głównie ze względów bezpieczeństwa.

14. Ciepło topnienia i krzepnięcia

Źródło: Smabs Sputzer (https://www.flickr.com), licencja: CC BY 2.0.

1. Aby stopić ciało stałe, należy dostarczyć mu energii, a aby zestalić ciecz – pobrać od niej energię.
2. **Ciepło topnienia (krzepnięcia)** to ilość energii, jaką należy dostarczyć (odebrać), aby stopić (zestalić) 1 kilogram danej substancji. Jest to wielkość charakterystyczna dla danego rodzaju substancji. Jednostką ciepła topnienia w układzie SI jest $\left[\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}}\right]$.
3. Definicję ciepła topnienia możemy zapisać za pomocą zależności: $L = \frac{Q}{m}$,
   gdzie:
   L – ciepło topnienia;
   m – masa ciała;
   Q – energia (ciepło) dostarczone do ciała.

15. Ciepło parowania i skraplania

Źródło: funcrush28 (https://www.flickr.com), licencja: CC BY 2.0.

1. Parowanie cieczy oraz wrzenie (parowanie w całej objętości cieczy) wymaga dostarczania energii do cieczy, natomiast skraplanie wymaga odbierania energii od substancji w fazie gazowej.
2. **Ciepło parowania (skraplania)** to ilość energii, jaką należy dostarczyć (odprowadzić), aby odparować (skroplić) 1 kilogram danej substancji. Jest to wielkość charakterystyczna dla danego rodzaju substancji. Jednostką ciepła parowania w układzie SI jest $\left[\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}}\right]$.
3. Definicję ciepła parowania możemy zapisać za pomocą wzoru: $R = \frac{Q}{m}$, gdzie:
   R – ciepło topnienia;
   m – masa ciała;
   $\Delta E = Q$ – energia (ciepło) dostarczone do ciała.

16. Energia wewnętrzna a zmiany stanu skupienia

Źródło: Antony Howard (https://www.flickr.com/), licencja: CC BY 2.0.

1. Topnienie, parowanie i sublimacja to zmiany stanu skupienia, które wymagają dostarczania energii do substancji.
2. Dostarczona energia powoduje wzrost energii wewnętrznej ciała związany ze zmianą struktury wewnętrznej tej substancji – rośnie energia potencjalna wynikająca z oddziaływań wzajemnych atomów i cząsteczek.
3. Krzepnięcie, skraplanie i resublimacja to zmiany stanu skupienia, które wymagają oddawania energii przez substancję.
4. Oddana energia powoduje zmniejszenie energii wewnętrznej ciała i wiąże się ze zmianą struktury wewnętrznej substancji – maleje energia potencjalna wynikająca z oddziaływań wzajemnych atomów i cząsteczek.

Test

Ćwiczenie 1

Kierując się zasadą działania, przypisz narzędzie do jednej z poniższych kategorii maszyn prostych.

Dźwignia jednostronna

Dźwignia dwustronna

Kołowrót

Blok nieruchomy

Elementy niepasujące do żadnej kategorii

bloczek jachtowy

kołowrotek wędkarski

nożyczki

sekator

siekiera

śruba

kończyna (ręka lub noga)

ręczna wciągarka budowlana

taczki

obcęgi

waga dźwigniowa

żuchwa

dziadek do orzechów

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 2

Ciepło właściwe danej substancji zależy od

- masy i przyrostu temperatury tej substancji.
- rodzaju substancji.
- ilości energii wewnętrznej zawartej w ciele wykonanym z tej substancji.
- rodzaju substancji i stanu jej skupienia.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 3

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 4

Ciepło topnienia parafiny wynosi 150 000 J/kg. Jeśli do dwukilogramowej bryły parafiny w temperaturze topnienia dostarczymy 15 kJ ciepła, to stopieniu ulegnie:

- cała bryła.
- 10% całej bryły.
- pół bryły.
- 5% całej bryły.
- 2% całej bryły.
- 0,5% całej bryły.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 5

Podczas wrzenia wody jej temperatura nie zmienia się mimo ciągłego dostarczania ciepła przez grzałkę. Oznacza to, że:

- ciepło dostarczone powoduje zmianę stanu skupienia wody z cieczy w gaz, a jej energia wewnętrzna maleje.
- ciepło dostarczone powoduje zmianę stanu skupienia wody z cieczy w gaz, a jej energia wewnętrzna nie zmienia się.
- ciepło dostarczone powoduje zmianę stanu skupienia wody z cieczy w gaz, co oznacza wzrost jej energii wewnętrznej.
- energia wewnętrzna wody nie zmienia się, bo woda nie pobiera już ciepła.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Zadania

Polecenie 1

Oblicz, z jaką mocą pracuje silnik dźwigu, jeśli działając siłą 7 000 N, podnosi skrzynię na wysokość 15 metrów w ciągu 3 minut?

Polecenie 2

Oblicz, o ile dżuli wzrośnie energia potencjalna grawitacji kamienia wtoczonego przez Syzyfa na górę o wysokości 200 metrów? Masa kamienia wynosi 100 kg.

Polecenie 3

Bryłka ołowiu znajdująca się na bardzo dużej wysokości ma energię potencjalną 500 J. Spadając na ziemię, rozpędza się i tuż nad ziemią ma energię kinetyczną 400 J. Co stało się z pozostałą częścią energii? Po czym można byłoby poznać, co stało się z brakującą częścią bilansu energetycznego ciała? Odpowiedź uzasadnij.

Polecenie 4

Współczynnik przewodnictwa cieplnego informuje nas, ile energii przepływa w ciągu sekundy przez jeden metr kwadratowy materiału o grubości 1 metra przy jednostkowej różnicy temperatur. Oznacza się go najczęściej literą λ.
Na opakowaniach materiałów termoizolacyjnych można przeczytać następujące wartości tego współczynnika:
materiał **A:** $\lambda = 0{,}046 \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2}$;
materiał **B:** $\lambda = 0{,}049 \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2}$;
materiał **C:** $\lambda = 0{,}032 \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2}$.
Określ, który z tych materiałów jest najlepszym izolatorem cieplnym? Odpowiedź uzasadnij.

Polecenie 5

* Oblicz ilość (masę) pary wodnej znajdującej się w powietrzu mieszkania, jaka musi ulec skropleniu, aby ogrzać powietrze w tym mieszkaniu o 10˚C. Masa powietrza zawartego w mieszkaniu wynosi 150 kg. Ciepło parowania wody znajdź w tablicach.

Sprawdzian wiadomości i umiejętności z działów o pracy, mocy i energii

Ćwiczenie 1

Posegreguj materiały na izolatory i dobre przewodniki ciepła.

Przewodnik ciepła

Izolator cieplny

diament | drewno | chrom | styropian | powietrze | srebro | rtęć | krzem | szkło | stal | puch | folia bąbelkowa

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 2

Szlifierz szkła szlifuje powierzchnię kryształowego wazonu, a miejsce szlifu polewa cieczą. Które zdania dotyczące tego procesu są poprawne?

- [ ] Ciecz chłodząca pobiera ciepło od szkła i zmniejsza jego energię wewnętrzną.
- [ ] Polewanie cieczą ma zmniejszyć tarcie między szkłem a tarczą szlifierską.
- [ ] Jeśli wzrost energii spowodowany pracą szlifierki będzie równy ciepłu pobranemu przez ciecz, to temperatura szkła się nie zmieni.
- [ ] Praca szlifierki zamienia się na temperaturę szkła.
- [ ] Polewanie cieczą ma na celu ochłodzenie szkła i tarczy szlifierskiej w miejscu szlifu.
- [ ] Praca sił tarcia prowadzi do wzrostu energii wewnętrznej szkła i tarczy szlifierskiej; świadczy o tym wzrost temperatury.
- [ ] Szlifowanie nagrzewa szkło, a ciecz odbiera jego temperaturę.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 3

Do kubka termicznego wlano napój o temperaturze 20°C i wrzucono kostki lodu o temperaturze 0°C. Które twierdzenia, dotyczące zjawisk zachodzących w tej mieszaninie, są poprawne?

- [ ] Napój ochładza się, ponieważ przekazuje energię kostkom lodu.
- [ ] Energia wewnętrzna napoju maleje, ponieważ oddaje on ciepło kostkom lodu.
- [ ] Napój ochładza się, ponieważ lód przekazuje mu swoją temperaturę.
- [ ] Lód topi się, ponieważ rośnie jego temperatura.
- [ ] Napój ochładza się, ponieważ lód przekazuje mu swoje zimno.
- [ ] Energia wewnętrzna lodu rośnie, bo zmienia się energia wiązania między cząsteczkami $\mathrm{H_2O}$.
- [ ] Lód topi się, ale jego temperatura się nie zmienia.
- [ ] Energia kinetyczna cząsteczek napoju maleje, bo przekazują one energię cząsteczkom lodu.
- [ ] Energia wewnętrzna lodu rośnie, bo lód się ogrzewa.
- [ ] Lód topi się, ponieważ napój przekazuje mu swoją temperaturę.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ważne!

Przed przystąpieniem do obliczeń pamiętaj o zamianie (uzgodnieniu) jednostek wszędzie tam, gdzie jest to niezbędne.

Polecenie 1

Duży wiatrak w elektrowni wiatrowej ma moc 2 MW (2 miliony watów). Oblicz pracę, jaką może on wykonać w ciągu doby.

Polecenie 2

Do wyciągania łodzi na brzeg rybacy używają kołowrotu. Średnica walca kołowrotu ma wartość 35 cm, a korba długość 70 cm. Do wyciągnięcia łodzi trzeba pokonać opory ruchu o wartości 4 000 N. Oblicz, jaką siłą muszą działać rybacy na korbę kołowrotu, aby wyciągnąć łódź?

Polecenie 3

Oblicz ilość energii potrzebnej do stopienia bryłki złota o masie $m_z = 1\ \mathrm{g}$. Ciepło topnienia złota wynosi $L_z = 64\ 000 \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}}$.
Czy ta ilość energii wystarczyłaby do podgrzania porcji wody o masie $m_w = 200\ \mathrm{g}$ o $80^\circ\mathrm{C}$? Ciepło właściwe wody wynosi $c_w = 4\ 000 \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg} \cdot {}^\circ\mathrm{C}}$. Odpowiedź uzasadnij, wykonując odpowiednie obliczenia.

Polecenie 4

Piłka o masie $0{,}5\ \mathrm{kg}$ została wyrzucona do góry z prędkością o wartości $4 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$. Pomijając opór powietrza i przyjmując wartość przyspieszenia ziemskiego $g = 10 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$, oblicz:

1. maksymalne wartości energii potencjalnej i kinetycznej piłki,

2. maksymalną wysokość, na jaką dotrze piłka.

Ruch drgający prosty i wielkości go opisujące. Przykłady ruchu drgającego.

Drgania występują podczas trzęsień Ziemi, drga huśtawka w parku, struna gitary i membrana głośnika. Co mają wspólnego te zjawiska?

Tradycyjne zegary ścienne wykorzystują ruch wahadła w charakterze tak zwanego regulatora chodu, który pozwala im odmierzać precyzyjnie czas. Wahadło wykonuje ruch cykliczny nazywany przez fizyków ruchem drgającym

Już potrafisz

- opisać ruch ciała, posługując się pojęciem toru ruchu, drogi, prędkości;
- mierzyć odległość oraz czas;
- analizować wykresy położenia od czasu w ruchu jednostajnym i jednostajnie zmiennym.

Nauczysz się

- definiować i opisywać ruch drgający;
- posługiwać się pojęciem amplitudy drgań, okresu i częstotliwości drgań;
- wskazywać położenie równowagi.

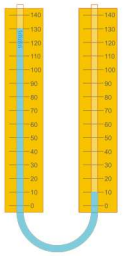
Aby lepiej wyjaśnić, czym jest ruch drgający, zaczniemy od przeprowadzenia pewnego doświadczenia.

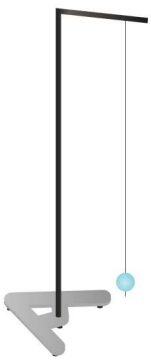
Doświadczenie 1

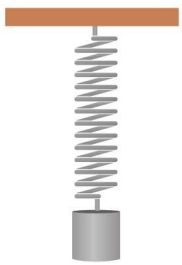
Obserwacja ruchu ciężarka na sprężynie, ciężarka na nici, płaskiej sprężyny, wody w U-rurce.

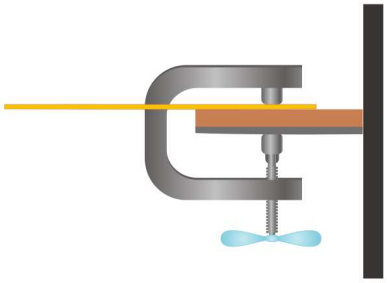
Co będzie potrzebne

- dwa statywy z wyposażeniem;
- stalowa lub ołowiana kulka z otworem lub haczykiem do mocowania nici;
- mocna, nierozciągliwa nić;
- ciężarek;
- sprężyna;
- płaska sprężyna (może być linijka lub brzeszczot piły do metalu);
- imadełko lub inny mechanizm do zamocowania sprężyny płaskiej;
- naczynie w kształcie litery U napełnione wodą.









Źródło: ContentPlus, licencja: CC BY 3.0.

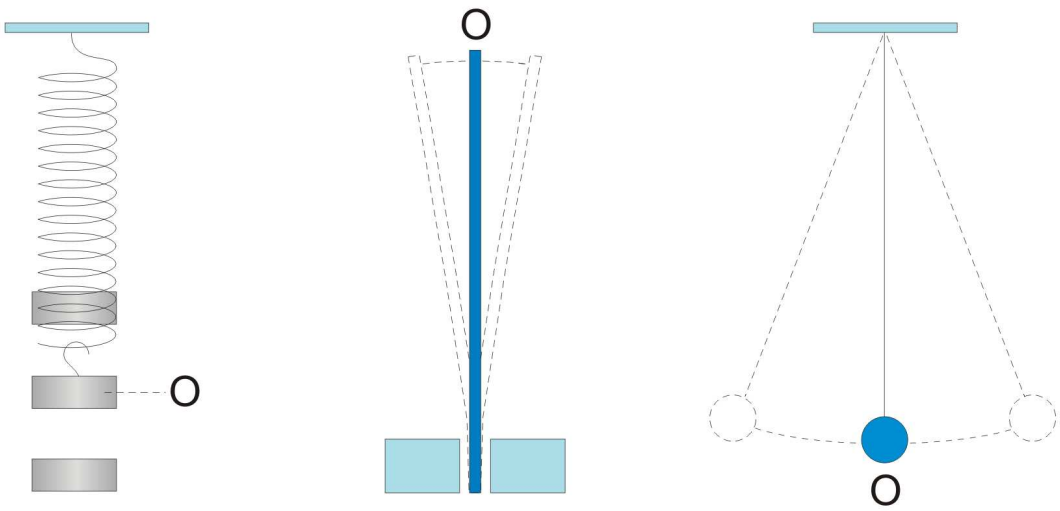
Instrukcja

1. Zamocuj kulkę na nici i zawieś na statywie. Odchyl kulkę od pionu i pozwól jej się wahać.
2. Jeden koniec sprężyny zawieś na statywie, a do drugiego zaczep ciężarek. Rozciągnij sprężynę, pociągając za ciężarek w dół, i puść go swobodnie.
3. Jeden koniec sprężyny płaskiej zamocuj w imadle, drugi pozostaw wolny. Prostopadle do długości sprężyny pociągnij za jej wolny koniec i puść – pozwól, aby wolny koniec sprężyny drgał.
4. Do U-rurki wlej taką ilość wody, aby naczynie było w połowie wypełnione. Dmuchnij do jednego z ramion U-rurki i obserwuj ruch powierzchni wody w jednym z ramion naczynia.
5. Obserwując ruchy wszystkich wymienionych wyżej obiektów, ustal, jakie wspólne cechy mają te ruchy.

Podsumowanie

Oto główne wspólne cechy obserwowanych ruchów:

1. Powtarzający się cyklicznie jeden fragment ruchu – nazywamy go jednym drgnieniem
2. Jeden punkt centralny, wokół którego ruch się odbywa – położenie równowagi O.
3. Ograniczona droga ruchu – wychylenie z położenia równowagi.



Źródło: ContentPlus, licencja: CC BY 3.0.

Taki ruch cykliczny w fizyce nazywa się **ruchem drgającym**. Znaczenie tego terminu jest szersze niż słowo drganie używane w języku ogólnym. Dla fizyka zarówno majestatyczne wahania zabytkowego żyrandola pod sufitem, czy huśtawki w parku, powtarzające się przypływy i odpływy oceanu, jak i ruch skorupy ziemskiej podczas trzęsienia ziemi czy wibracje stołu podczas pracy jakiejś maszyny są nazywane ruchem drgającym.

Oto definicje wielkości służących do opisu ruchu drgającego.

amplituda

– największe wychylenie z położenia równowagi. Oznaczamy ją literą A i mierzymy w metrach (lub centymetrach, kilometrach).

częstotliwość drgań

– liczba pełnych drgań wykonanych w ciągu jednej sekundy. Oznaczamy ją literą *f*. Jednostką częstotliwości jest herc (symbol Hz). Nazwa jednostki pochodzi od nazwiska niemieckiego fizyka Heinricha Hertza.
Częstotliwość ma wartość $1\ \mathrm{Hz}$, jeśli w czasie jednej sekundy zachodzi jedno pełne drganie:

$$1\ \mathrm{Hz} = \frac{1}{\mathrm{s}}$$

okres drgań

– czas trwania jednego pełnego drgania. Oznaczamy go literą T i mierzymy w sekundach (lub minutach, godzinach).

Okres drgań i częstotliwość drgań są ze sobą ściśle związane: częstotliwość jest odwrotnością okresu, czyli

$$f = \frac{1}{T}$$

$$T = \frac{1}{f}$$

> **Przykład 1**
>
> Igła maszyny do szycia cyklicznie unosi się i opada, wykonując ruch drgający. Ostrze igły przebija tkaninę co pół sekundy. Ile wynosi okres i częstotliwość drgań igły?
> **Rozwiązanie:**
> Czas upływający między dwoma kolejnymi nakłuciami tkaniny to czas jednego drgania igły, czyli okres.
> Zatem okres drgań igły wynosi: $T = 0{,}5\ \mathrm{s}$.
> Częstotliwość obliczamy z zależności: $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}5\ \mathrm{s}} = 2\ \mathrm{Hz}$.
> **Odpowiedź:**
> Okres drgań igły wynosi $0{,}5$ s, a częstotliwość jej drgań – $2\ \mathrm{Hz}$.

Spośród pokazanych wcześniej przykładów ruchu drgającego należy wyróżnić dwa:

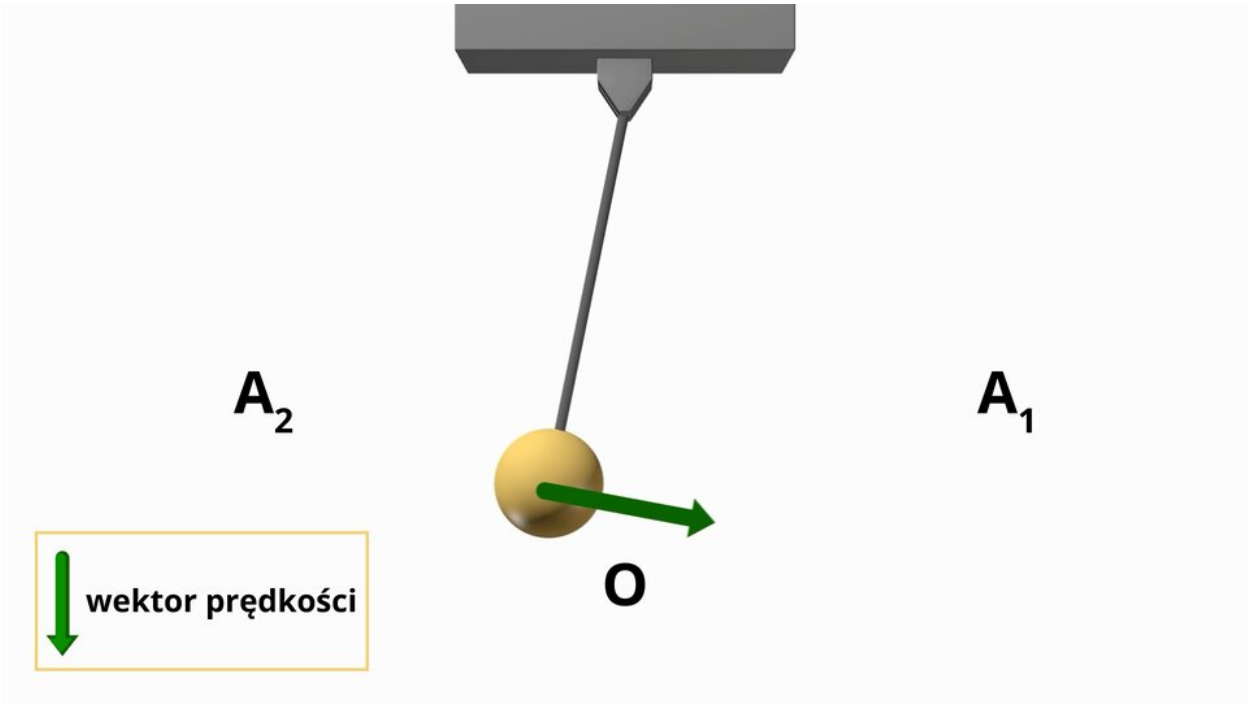
1. Wahadło matematyczne – tak możemy nazwać kulkę na nici pod warunkiem, że masa kulki jest znacznie większa od masy nici (w podręcznikach fizyki często pisze się, że **nić jest nieważka** – czyli nic nie waży), a ponadto długość nici jest znacznie większa od średnicy kulki. Najlepsza jest kulka o rozmiarach punktu – nazywamy ją **punktem materialnym**. Ważne jest też, by nić nie zmieniała swojej długości podczas wahań kulki, czyli była **nierozciągliwa**.
2. **Ciężarek na sprężynie** – tutaj ważne jest, aby podczas drgań sprężyna rozciągała się tylko w zakresie odkształceń sprężystych, najlepiej jeśli masa ciężarka jest większa od masy sprężyny.

Te dwa przykłady wyróżniono, gdyż drgania ciężarka na sprężynie oraz ruch wahadła matematycznego to przykłady bardzo ważnego rodzaju drgań nazywanych drganiami prostymi lub drganiami harmonicznymi.

Ruch drgający to jeden z najpowszechniejszych ruchów w przyrodzie: drgają atomy w nas i w całej otaczającej nas materii, drgają struny głosowe ludzi lub zwierząt wydających dźwięk, drgają membrany głośników. Na dodatek okazało się, że każdy ruch drgający (cykliczny) można przedstawić jako złożenie (sumę) skończonej lub nieskończonej liczby drgań harmonicznych.

1. Ruch wahadła matematycznego

Przeanalizujmy ruch wahadła matematycznego. Popatrzmy nań w bardzo zwolnionym tempie.



Film dostępny pod adresem /preview/resource/Rqx2MVeyy46F0

Ruch wahadła matematycznego

Źródło: Marcin Sadomski, Kevin MacLeod (http://incompetech.com), Krzysztof Jaworski, Tomorrow Sp. z o.o., licencja: CC BY 3.0.

Animacja przedstawia ruch wahadła matematycznego. Tło białe. Na górze, po środku znajduje się ciemnoszary statyw, do którego przymocowano wahadło. Wahadło składa się z dużej, żółtej kuli zawieszonej na długim, ciemnoszarym sznurku. Kula jest przytrzymywana przez szary chwytak, który znajduje się po prawej stronie animacji, w taki sposób, że jest wychylona od środka i znajduje się blisko prawego górnego rogu animacji. Na animacji znajdują się oznaczenia trzech punktów: A z indeksem dolnym 1, A z indeksem dolnym 2 oraz O. Punkt A_1 znajduje się tuż pod kulką. Punkt A_2 znajduje się na tej samej wysokości, co punkt A_2, ale po lewej stronie animacji, natomiast punkt O znajduje się na dole animacji, pośrodku. W lewym dolnym rogu, w żółtej ramce, znajduje się legenda, gdzie narysowano pionową, zieloną strzałkę zwróconą w dół. Obok strzałki, z prawej strony umieszczono czarny napis „wektor prędkości. Po chwili chwyta puszcza kulkę, a ta zaczyna się wahać. Na kulce pojawia się zielona strzałka – wektor prędkości. Początkowo jest on bardzo krótki, ale zaczyna się stopniowo wydłużać. Zwrócony jest w stronę, w którą porusza się kulka zawieszona na wahadle. Wektor jest najdłuższy, gdy kulka znajduje się nad punktem O. Wtedy jest równoległy do poziomej krawędzi animacji. Gdy kula mija punkt O,

zbliża się do punktu A_2. Wektor w tym czasie skraca się, bo na moment, w punkcie A_2 zniknąć zupełnie (kula się „zatrzymuje”, a następnie wraca z powrotem do punktu O (wektor w tym czasie wydłuża się), by znów wrócić do punktu A_1. Całość ukazana jest w zwolnionym tempie. W ostatniej scenie pokazano wahania kulki w normalnym tempie.

Zaczynamy od położenia A_1 – jest to największe wychylenie na prawo od położenia równowagi O. Kulka rozpoczyna ruch w lewo, zbliżając się do położenia równowagi O. Oznacza to, że jej wychylenie maleje. Można zauważyć, że wartość prędkości kulki rośnie. Kiedy kulka mija położenie równowagi, wartość jej prędkości osiąga największą wartość. Czas trwania ruchu kulki z punktu A_1 do punktu O wynosi $\frac{1}{4}$ okresu, a przebyta przez nią droga jest równa wartości amplitudy. Dalszy ruch w lewo to oddalanie się kulki z położenia równowagi O w stronę punktu A_2. Na tym etapie wychylenie z położenia równowagi rośnie, a wartość prędkości kulki maleje. W punkcie A_2 prędkość kulki osiąga wartość zero. Upłynęła kolejna $\frac{1}{4}$ okresu, droga wzrosła zaś o kolejną wartość amplitudy. Teraz następuje zmiana zwrotu prędkości – kulka zawraca i zaczyna poruszać się w prawo. Wychylenie kulki maleje, wartość prędkości rośnie aż do momentu, gdy mija punkt O. Po minięciu tego punktu kulka nadal porusza się w prawo, ale wartość jej prędkość maleje, a wychylenie z położenia równowagi rośnie. Z chwilą gdy kulka znajdzie się ponownie w punkcie A_1, kończy się jeden pełny cykl jej ruchu – jedno drganie. Prędkość kulki osiąga tu wartość zero, następuje zmiana zwrotu prędkości i kulka ponownie rozpoczyna ruch w lewo.

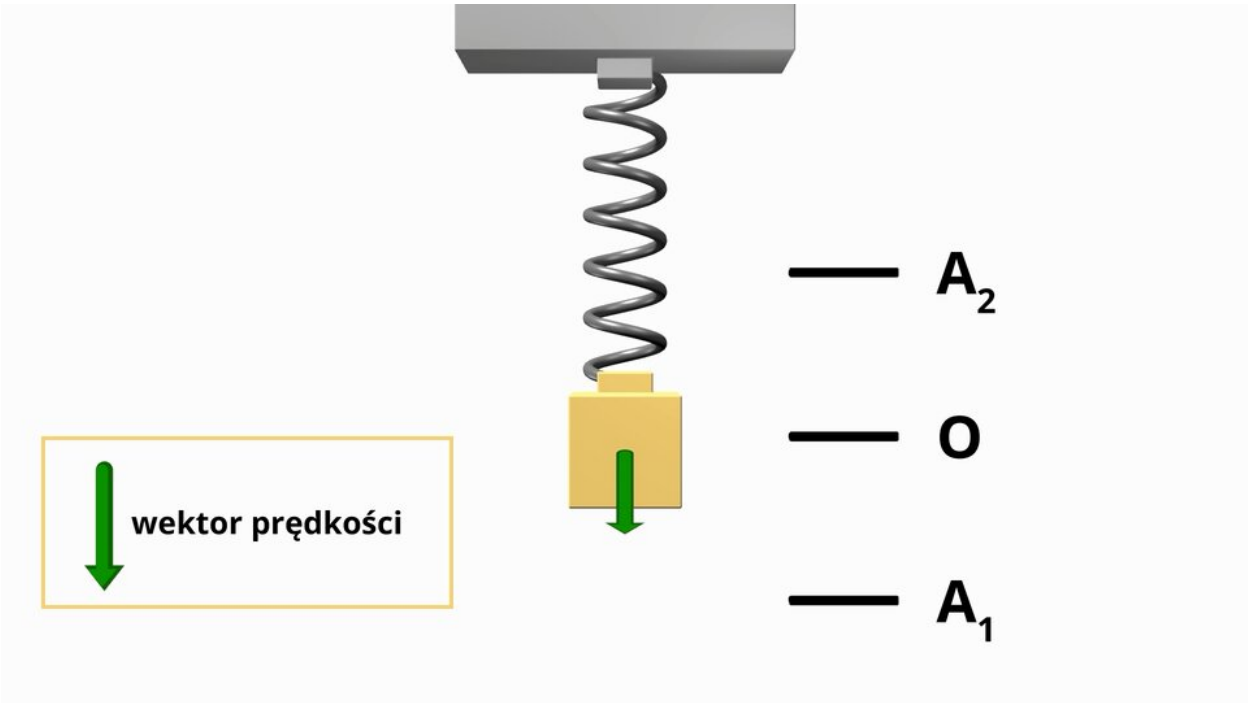
Ćwiczenie 1

Droga przebyta przez kulkę wahadła matematycznego w ciągu jednego pełnego drgania ma wartość

- ◯ równą dwu wartościom amplitudy.
- ◯ równą ośmiu wartościom amplitudy.
- ◯ równą czterem wartościom amplitudy.
- ◯ równą wartości amplitudy.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

2. Ruch ciężarka na sprężynie



Film dostępny pod adresem /preview/resource/R14WsdcYfJLOi

Ruch ciężarka na sprężynie

Źródło: Marcin Sadomski, Kevin MacLeod (http://incompetech.com), Krzysztof Jaworski, Tomorrow Sp. z o.o., licencja: CC BY 3.0.

Ruch ciężarka na sprężynie

Obejrzyj powyższą animację, najlepiej w zwolnionym tempie i wykonaj zadanie 2. Skorzystaj z wiedzy, jaka zawarta jest w poprzednim paragrafie.

Ćwiczenie 2

Które z poniższych twierdzeń jest prawdziwe, a które fałszywe?

	Prawda	Fałsz
Ciężarek wykona drgnienie, jeśli przemieści się w górę z punktu A_1 do punktu A_2, a następnie opadnie w dół i wróci do punktu A_1.	◯	◯
Podczas jednego okresu drgań ciężarek dwukrotnie minie położenie równowagi.	◯	◯
Wartość prędkości ciężarka rośnie zawsze wtedy, gdy zbliża się on do położenia równowagi, a maleje, gdy się z tego położenia oddala niezależnie, czy jest to ruch w górę czy w dół.	◯	◯
Ciężarek osiąga prędkość o największej wartości w punkcie O.	◯	◯
W położeniu A_1 prędkość ciężarka osiąga wartość zero.	◯	◯
Ciężarek wykona drgniene, jeśli przemieści się w górę z punktu A_1 do punktu A_2.	◯	◯
Podczas jednego pełnego okresu drgań ciężarek minie położenie równowagi tylko jeden raz.	◯	◯
Gdy ciężarek porusza się w górę, wartość jego prędkości cały czas maleje, a podczas ruchu w dół rośnie.	◯	◯
Ciężarek osiąga największą wartość prędkości w punkcie A_1.	◯	◯
W czasie jednego okresu drgań ciężarek pokona drogę równą wartości amplitudy.	◯	◯

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

3. Wykres zależności położenia od czasu w ruchu drgającym

Opis ruchu drgającego, podobnie jak opis każdego ruchu, można przedstawić graficznie jako wykres przedstawiający zależność położenia od czasu. Aby sporządzić taki wykres dla ruchu drgającego, wykonaj poniższe doświadczenie.

Doświadczenie 2

Sporządzenie wykresu zależności położenia od czasu w ruchu drgającym.

Co będzie potrzebne

- statywy z wyposażeniem;
- plastikowa butelka po wodzie mineralnej, kilka nakrętek do tej butelki;
- sztywny gładki pręt – na przykład drut dziewiarski;
- papierowa taśma o szerokości około $20\ \mathrm{cm}$ i długości co najmniej $50\ \mathrm{cm}$.

Instrukcja

1. Odetnij dno plastikowej butelki, a w odległości około 1 cm od powstałej po odcięciu krawędzi wytnij dwa leżące naprzeciw siebie otwory.
2. W nakrętce wykonaj mały otwór. Powinien być tak dobrany, żeby woda wlana do butelki wyciekała z niej bardzo cienkim strumieniem, najlepiej w postaci ciągu pojedynczych kropli. Trzeba to zrobić metodą prób i błędów – dlatego warto mieć kilka zakrętek, próby wykonywać zaś nad zlewem lub umywalką.
3. Przez otwory przeciągnij pręt, na którym zawiśnie belka (nakrętką w dół).
4. Pręt zamocuj na statywie tak, aby butelka mogła wykonywać ruch wahadłowy.
5. Do zawieszonej i zakręconej dziurawą nakrętką butelki nalej wody. W początkowej fazie pod nakrętką warto podłożyć jakąś gąbkę lub bibułę, którą usuniesz tuż przed rozpoczęciem obserwacji.
6. Na stole, nad którym wahać się będzie butelka, połóż papierową taśmę.

7. Wpraw butelkę w ruch wahadłowy – krople wody ułożą się na papierze, tworząc odcinek.

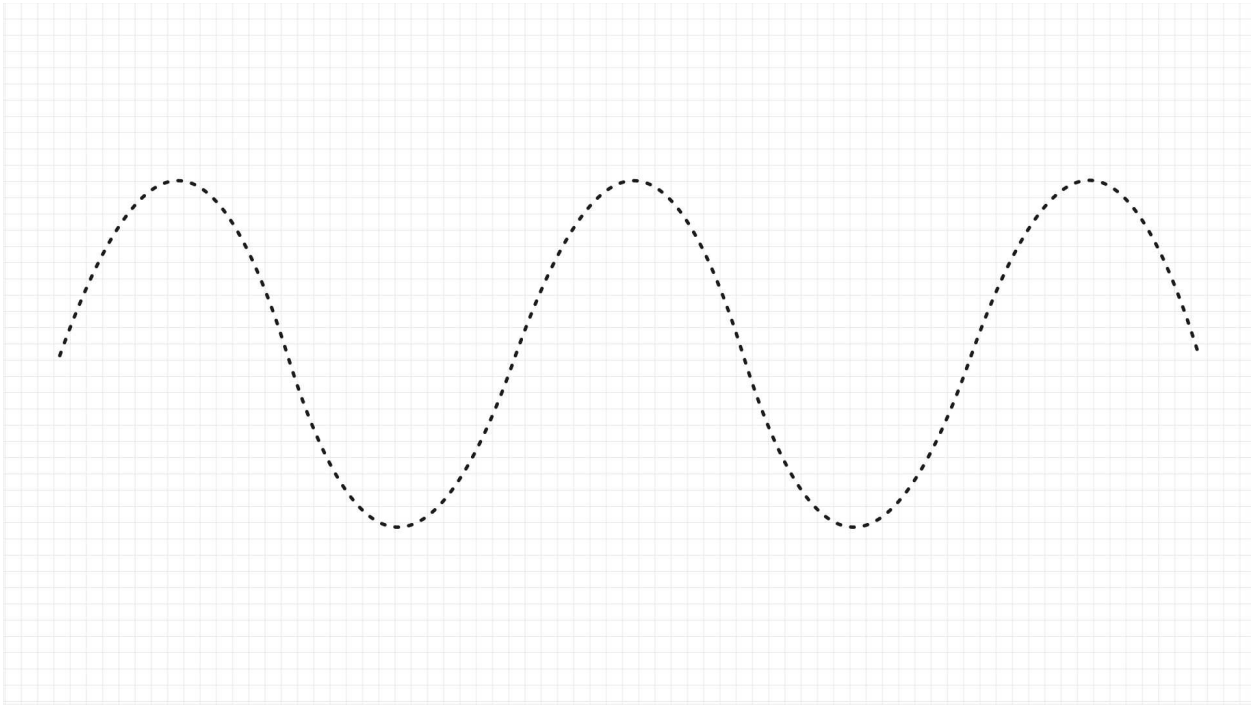
8. Zacznij ciągnąć taśmę w kierunku prostopadłym do odcinka utworzonego wcześniej przez wodę. Ruch taśmy powinien być jednostajny i niezbyt szybki.

9. Odsuń taśmę, chroniąc ja przed dalszym zalewaniem wodą – to, co na niej powstało, jest wynikiem twojego doświadczenia.

10. Wylej wodę pozostałą w butelce i wytrzyj stół.

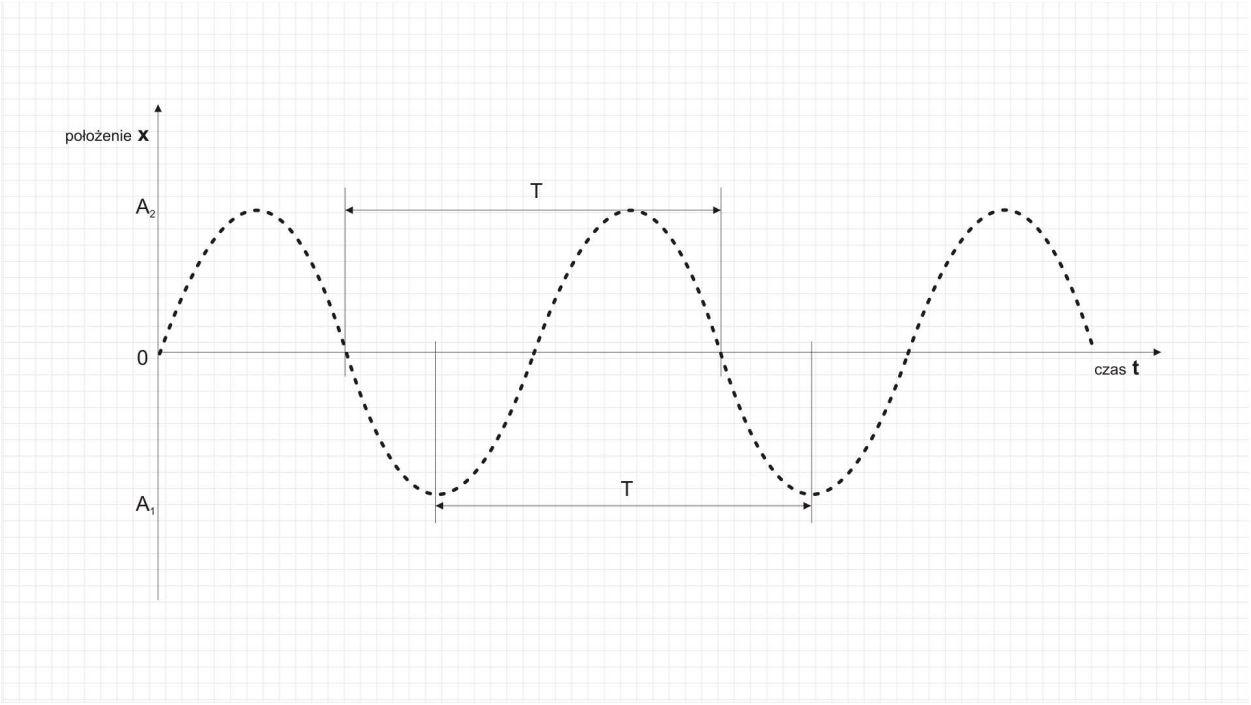
Podsumowanie

Na papierowej taśmie kapiące krople zostawiły ślad, którego kształt wygląda w przybliżeniu tak jak na poniższym rysunku.



Źródło: ContentPlus, licencja: CC BY 3.0.

Otrzymana linia nazywa się sinusoidą i przedstawia zależność wychylenia od czasu w ruchu drgającym prostym (w ruchu harmonicznym). Możemy umieścić ją w układzie współrzędnych.

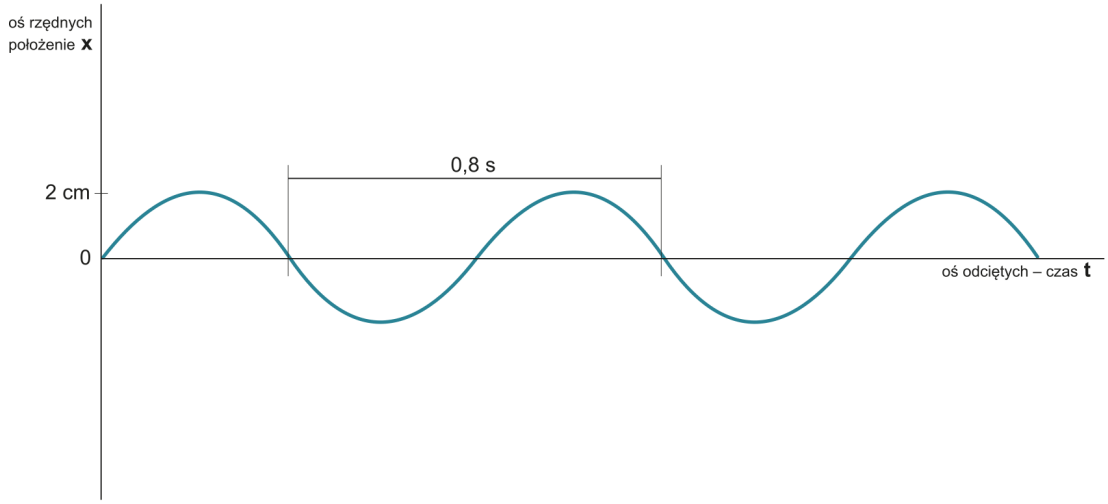


Źródło: ContentPlus, licencja: CC BY 3.0.

Na osi rzędnych (oś pionowa) umieszczono położenie drgającego ciała (w naszym doświadczeniu zakrętki butelki). Położenie to oznaczono literą x. Na osi odciętych (oś pozioma) umieszczono czas i oznaczono go literą t. Wartość 0 na osi położenia x – to **położenie równowagi** (środek odcinka „narysowanego" przez kropelki wody na początku doświadczenia). Punkty A_1 i A_2 to miejsca zawracania butelki podczas wahań, a ich współrzędna – wartość **amplitudy drgań**. Na osi czasu odcinek 0 – T to **okres drgań**, czyli czas jednego pełnego wahnięcia. Dysponując takim wykresem, możemy odczytać wartość amplitudy drgań oraz okres drgań, a następnie obliczyć częstotliwość drgań.

Przykład 2

Poniższy rysunek przedstawia zależność położenia od czasu dla ciężarka drgającego na sprężynie. Odczytaj z wykresu amplitudę drgań, okres drgań oraz oblicz częstotliwość drgań ciężarka.



Źródło: ContentPlus, licencja: CC BY 3.0.

Rozwiązanie:
Amplituda drgań to największe wychylenie z położenia równowagi. Jej wartość odczytujemy na osi położenia x. Wartość ta wynosi 2. Z rysunku wynika, że oś położenia wyskalowana jest w centymetrach, zatem amplituda drgań ciężarka wynosi $A = 2\ \text{cm}$.
Okres drgań odczytujemy na osi czasu. Oś ta wyskalowana jest w sekundach, a na rysunku widać, że jeden pełny cykl zmian odpowiada przedziałowi czasu $0{,}8\ \text{s}$, zatem okres drgań ciężarka wynosi $T = 0{,}8\ \text{s}$.
Częstotliwość obliczamy podobnie jak w pierwszym przykładzie, czyli:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}8\ \text{s}} = 1{,}25\ \text{Hz}$$

Podsumowanie

- Ruch drgający to taki ruch, w którym wartości wielkości fizycznych opisujących go, powtarzają się cyklicznie (okresowo).
- Ruch drgający odbywa się wokół punktu zwanego położeniem równowagi.
- Wielkościami opisującymi ruch drgający są:
    - Amplituda drgań A – największe wychylenie z położenia równowagi; jednostka – metr [m].

    - Okres drgań T – czas trwania jednego pełnego drgania; jednostka – sekunda [s].
    - Częstotliwość drgań f – liczba drgań w jednostce czasu; jednostka – herc [Hz].
    - Częstotliwość i okres są ze sobą związane: $f = \frac{1}{T}$.
- Przykładami układów drgających są: wahadło matematyczne i ciężarek na sprężynie, które wykonują drgania harmoniczne.
- Wykresem zależności położenia od czasu w ruchu harmonicznym jest sinusoida. Z tego wykresu można odczytać amplitudę i okres drgań.

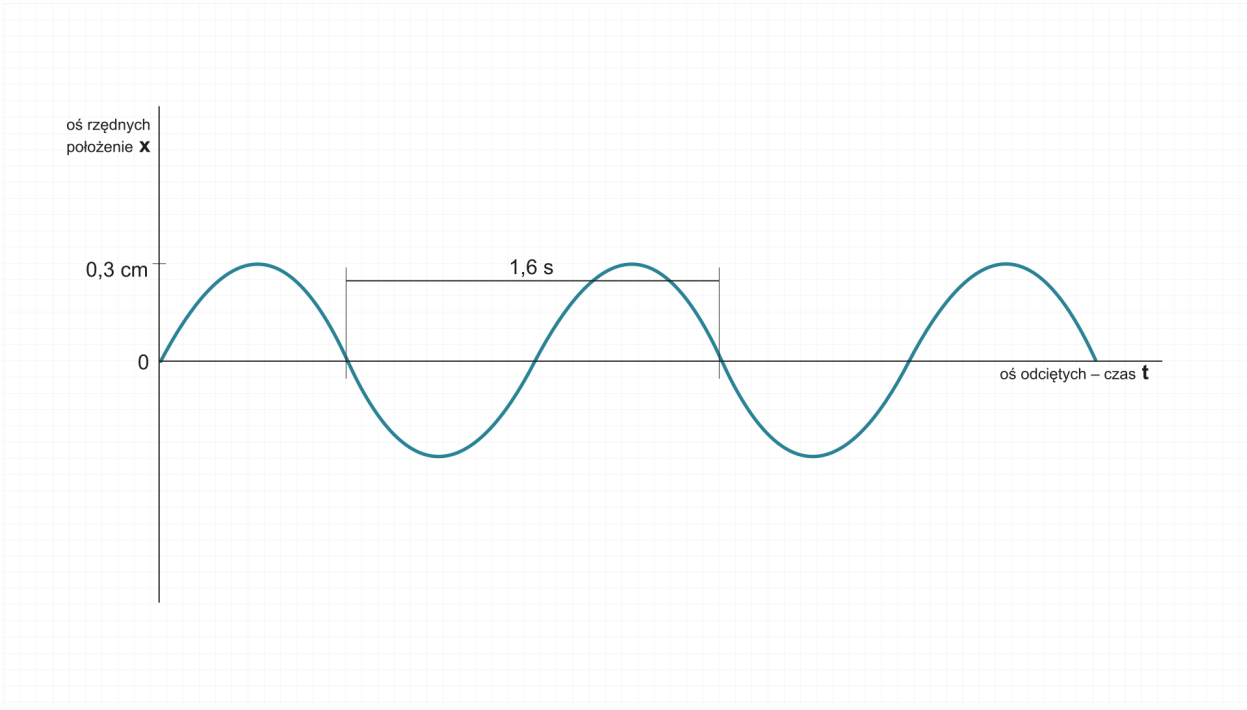
Praca domowa

Polecenie 1.1

Małpka na lianie wykonuje 1 wahnięcie w ciągu $2{,}5$ s. Oblicz częstotliwość wahań liany z małpką.

Polecenie 1.2

Rysunek przedstawia wykres zależności położenia od czasu dla boi kołyszącej się na wodzie.



Źródło: ContentPlus, licencja: CC BY 3.0.

Z wykresu odczytaj amplitudę i okres drgań oraz oblicz częstotliwość drgań.

Polecenie 1.3

Wahadło starego zegara z kukułką wykonuje jedno pełne wahnięcie w ciągu $1{,}5\ \mathrm{s}$, pokonując przy tym drogę $40\ \mathrm{cm}$. Oblicz częstotliwość i amplitudę drgań tego wahadła.

Polecenie 1.4

Serce biegnącego człowieka wykonuje 120 uderzeń na minutę. Wyraź tę częstotliwość w hercach i oblicz okres drgań serca tego biegacza.

Słowniczek

drgania harmoniczne (drgania proste)

– rodzaj ruchu drgającego, w którym wykresem położenia od czasu jest sinusoida. Drgania takie wywoływane są przez siłę sprężystą lub inne siły do niej podobne.

wahadło matematyczne

– punkt materialny zawieszony na nieważkiej i nierozciągliwej nici.

Biogram

Źródło: Krzysztof Jaworski <Krzysztof.jaworski@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Heinrich Rudolf Hertz

1857.02.22 Hamburg – 1894.01.1 Bonn

Heinrich Hertz badał fale elektromagnetyczne. Wykazał, że one i światło są tożsame, a ich prędkość rozchodzenia się jest taka sama. Odkrył zewnętrzny efekt fotoelektryczny. Na cześć tego uczonego jednostkę częstotliwości nazwano hercem (Hz).

Zadanie podsumowujące lekcję

Na huśtawce

Źródło: summa / Pixabay, Licencja niewyłączna.

Ćwiczenie 3.1

Jak zmienia się prędkość dziecka na huśtawce, gdy oddala się ono od osoby stojącej za huśtawką?

- ◯ Nie zmienia się.
- ◯ Początkowo rośnie, a następnie maleje.
- ◯ Jeśli osoba za huśtawką popycha huśtawkę, to prędkość rośnie, jeśli nie, to prędkość huśtawki jest stała.
- ◯ Maleje.
- ◯ Rośnie.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Przemiany energii podczas drgań wahadła matematycznego i ciężarka na sprężynie

Wahająca się kulka na nici porusza się, a zatem zgodnie z naszą wiedzą ma energię. Jaka jest natura tej energii? Skąd się bierze i co jest jej źródłem? Co jest w niej stałego, a co się zmienia. Jak przebiegają te zmiany?

Dziecko bawiące się na huśtawce porusza się ruchem drgającym. Jego prędkość oraz maksymalna wysokość zależą od kilku czynników, ale cały przebieg ruchu da się opisać dość prostymi prawami

Już potrafisz

- podać definicję ruchu drgającego;
- posługiwać się pojęciami i wielkościami opisującymi ruch drgający: położenie równowagi, wychylenie z położenia równowagi, okres i częstotliwość drgań, amplituda drgań;
- opisać ruch ciężarka na sprężynie i wahadła matematycznego;
- podać, od czego zależy wartość energii: kinetycznej, potencjalnej grawitacji i potencjalnej sprężystości.

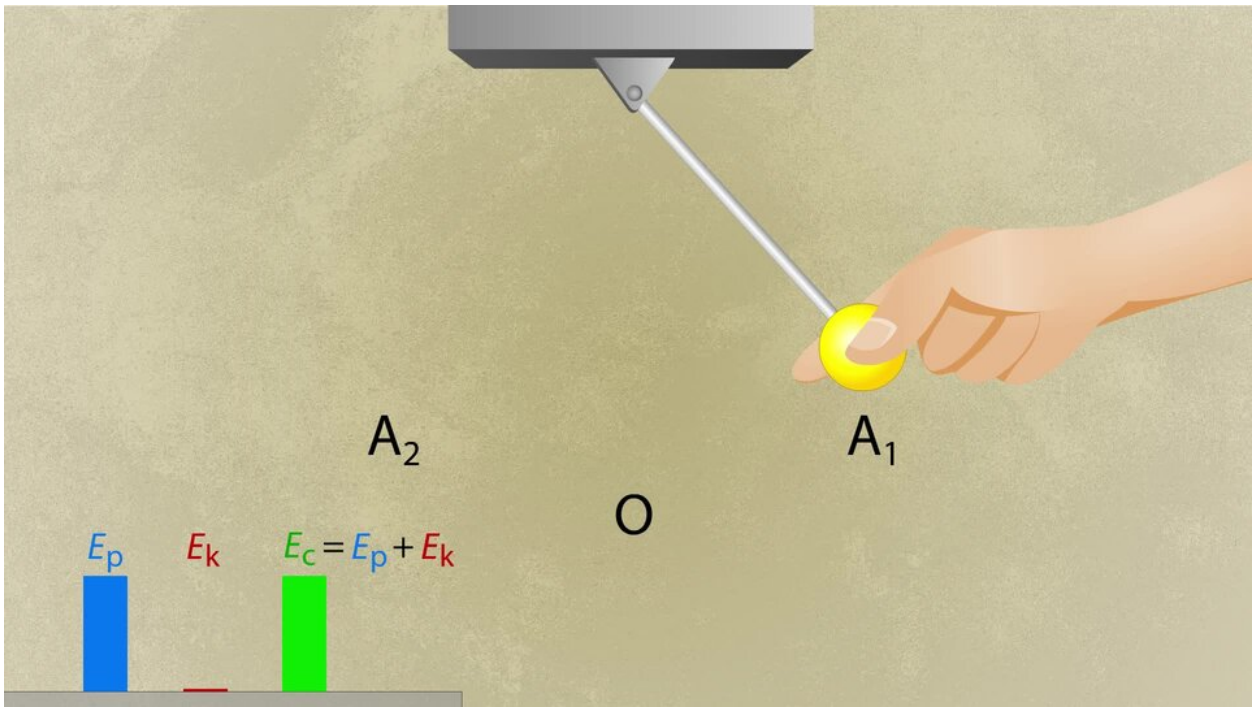
Nauczysz się

- na przykładzie wahadła matematycznego i ciężarka na sprężynie rozróżniać rodzaje energii, jakie posiada ciało wykonujące ruch drgający;
- wskazywać etapy ruchu, w których energia kinetyczna oraz energia potencjalna drgającego ciał rośnie, a w których maleje;

- wskazywać położenia ciała drgającego, w których poszczególne rodzaje energii przyjmują wartość minimalną (zero) lub wartość maksymalną.

Zacznijmy od ponownej obserwacji wahadła matematycznego. Jeśli zawiesimy kulkę na nici i zostawimy ją w spokoju (czyli w stanie równowagi), to sama nie zacznie się wahać. Potrzebna jest ingerencja z zewnątrz – ktoś musi ją popchnąć, pociągnąć lub choćby dmuchnąć na nią. Innymi słowy należy wykonać pracę, aby wychylić ją z położenia równowagi. Wykonanie tej pracy oznacza, że kulce dostarczono energii równej wykonanej pracy. Gdy kulka jest w ruchu, to posiada energię kinetyczną. Energia ta zależy od prędkości. W ruchu wahadła prędkość się zmienia, zatem energia kinetyczna też się zmienia – rośnie i maleje na przemian. Czy kulka wahadła ma tylko energię kinetyczną?

Popatrzmy uważnie:



Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

Wahadło matematyczne – przemiany energii

Źródło: Tomorrow Sp.z o.o., licencja: CC BY 3.0.

Startujemy animację przy nieruchomym wahadle w położeniu równowagi. Animowana dłoń odchyla kulę wahadła w prawo do skrajnego położenia. W trakcie ręcznego odchylania rośnie słupek Ep od zera do maksymalnej wysokości. Identycznie rośnie słupek Ec. Czerwony wektor prędkości zawsze prostopadły do nitki. Przyłożony do środka kulki. W punktach skrajnych A1 i A2 wynosi zero. W punkcie O ma wartość maksymalną. Długość nitki nie zmienia się; kulka porusza się po łuku

Wychylając kulkę z położenia równowagi do położenia A_1, wykonujemy pracę. Praca ta zostaje zmagazynowana w postaci energii potencjalnej grawitacji, ponieważ wzrosła wysokość, na jakiej znajduje się kulka. Wartość tej energii jest równa pracy wykonanej przez siły zewnętrzne. Gdy kulkę puścimy, rozpocznie ona ruch w kierunku położenia równowagi. W momencie startu prędkość kulki ma wartość zero, zatem jej energia kinetyczna też ma wartość zero. Gdy kulka zbliża się do położenia równowagi O, rośnie prędkość kulki, rośnie też jej energia kinetyczna, a jednocześnie maleje energia potencjalna – ponieważ maleje wysokość, na jakiej kulka się w danej chwili znajduje. Przy przejściu przez położenie równowagi energia kinetyczna jest największa, a potencjalna osiąga minimalną wartość – przyjmijmy, że na tym poziomie równą zero. Podczas ruchu od punktu O do punktu A_2 zmniejsza się energia kinetyczna, a rośnie potencjalna. W punkcie zmiany zwrotu prędkości energia potencjalna osiąga największą wartość, kinetyczna zaś maleje do zera. Przez cały ten czas, jeżeli pominiemy oporu ruchu, suma energii kinetycznej i potencjalnej pozostaje stała i równa pracy, którą włożono, wprawiając wahadło w ruch.

Rozpatrzmy teraz sytuację z ciężarkiem zawieszonym na sprężynie.

Podczas rozciągania sprężyny wykonujemy pracę przeciwko sile sprężystości. Praca ta zostaje zmagazynowana w postaci energii potencjalnej sprężystości (wysokość ciężarka nie zmieniała się, ale zmianie uległa długość sprężyny). Gdy puścimy ciężarek, rozpocznie się jego ruch w stronę położenia równowagi. W chwili startu prędkość ciężarka była równo zero, podobnie jak wartość energii kinetycznej. W miarę zbliżania się ciężarka do położenia równowagi energia kinetyczna rośnie (bo rośnie prędkość ciężarka), a energia potencjalna sprężystości – maleje, ponieważ sprężyna staje się coraz mniej napięta. Przy przejściu przez położenie równowagi energia kinetyczna jest największa, a energia potencjalna osiąga wartość zero – sprężyna jest nienaciągnięta. Podczas ruchu od punktu O do punktu A_2 zmniejsza się energia kinetyczna, rośnie zaś potencjalna (ściśnięta sprężyna też ma energię potencjalną sprężystości). W punkcie maksymalnego wychylenia energia potencjalna osiąga największą wartość, a kinetyczna maleje do zera. Przez cały ten czas suma energii kinetycznej i potencjalnej pozostaje stała (jeżeli pominiemy opory ruchu) i równa pracy, którą włożono w początkowe rozciągnięcie sprężyny.

Energia całkowita w ruchu drgającym związana jest z następującymi wielkościami:

- **amplituda** – większą energię ma ciało drgające z większą amplitudą (więcej pracy trzeba włożyć, aby bardziej odchylić kulkę wahadła czy mocniej naciągnąć sprężynę);
- **częstotliwość** – ciało drgające z większą częstotliwością ma większą energię;
- **masa** drgającego ciała – związek energii z masą ciała był przedstawiony w rozdziałach o energii potencjalnej i energii kinetycznej.

*Podczas obserwacji rzeczywistych ruchów wahadła lub ciężarka na sprężynie widzimy, że amplituda drgań maleje.

Podsumowanie

- Ciało wykonujące ruch drgający posiada dwa rodzaje energii: kinetyczną i potencjalną.
- Dla wahadła matematycznego energia potencjalna to energia potencjalna grawitacyjna, a dla ciężarka na sprężynie jest to energia potencjalna sprężystości.
- Podczas drgania zmienia się zarówno wartość energii kinetycznej, jak i energii potencjalnej.
- Energia kinetyczna:
    - rośnie, gdy ciało drgające zbliża się do położenia równowagi;
    - maleje podczas oddalania się ciała od położenia równowagi;
    - osiąga największą wartość, gdy ciało przechodzi przez położenie równowagi;
    - przyjmuje wartość zero w punktach maksymalnego wychylenia z położenia równowagi.
- Energia potencjalna:
    - maleje, gdy ciało drgające zbliża się do położenia równowagi;
    - rośnie podczas oddalania się ciała od położenia równowagi;
    - osiąga największą wartość w punktach maksymalnego wychylenia z położenia równowagi;
    - przyjmuje wartość zero, gdy ciało przechodzi przez położenie równowagi.
- Suma energii kinetycznej i potencjalnej podczas drgania pozostaje stała i równa jest pracy wykonanej przez siły zewnętrzne podczas wychylenia ciała z położenia równowagi.

Praca domowa

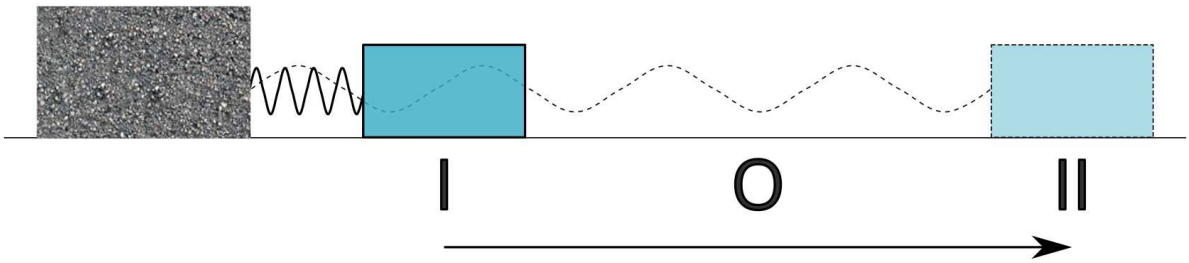
Polecenie 1.1

Wykaż, że dla kulki wiszącej na dłuższej nici zmiana wysokości (przy odchyleniu o taki sam kąt od pionu) będzie większa niż dla kulki wiszącej na krótszej nici. Możesz wykonać odpowiedni rysunek.

Polecenie 1.2

Uzasadnij, dlaczego większa zmiana wysokości kulki umieszczonej na odchylanej od pionu nici spowoduje osiągnięcie większej wartości prędkości kulki podczas jej przechodzenia przez położenie równowagi.

Zadania podsumowujące lekcję



Źródło: Krzysztof Jaworski, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 1.1

Ciężarek na sprężynie porusza się z punktu **I** do punktu **II** poprzez punkt **O**. Jak zmienia się wartość energii potencjalnej ciężarka podczas tego ruchu?

- ◯ Energia potencjalna ciężarka cały czas rośnie.
- ◯ Podczas ruchu z I do O energia potencjalna maleje, a przy ruchu z O do II - rośnie.
- ◯ Energia potencjalna ciężarka nie zmienia się, ponieważ nie zmienia się jego wysokość.
- ◯ Podczas ruchu z I do O energia potencjalna rośnie, a przy ruchu z O do II - maleje.
- ◯ Energia potencjalna ciężarka cały czas maleje.

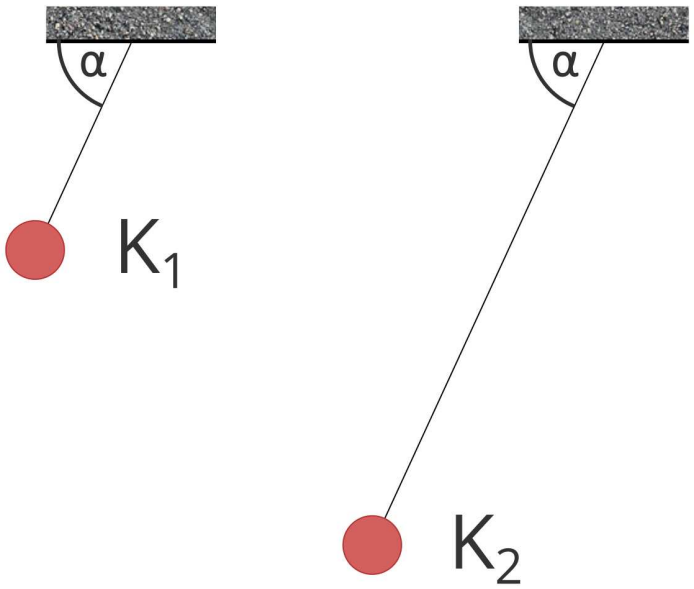
Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 2

Wahadło matematyczne wykonało dwa pełne drgania. Ile razy energia kinetyczna w tym ruchu osiągnęła wartość maksymalną? W jakim momencie ruchu to się stało?

- ◯ Dwa razy; w chwili przejścia przez położenie równowagi.
- ◯ Cztery razy; w chwili przejścia przez punkt zawracania.
- ◯ Osiem razy; w chwili przejścia przez punkt zawracania.
- ◯ Cztery razy; w chwili przejścia przez położenie równowagi.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.



Źródło: Krzysztof Jaworski, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 3.1

Dwie kulki o takiej samej masie zawieszono na niciach o różnej długości, odchylono od pionu o taki sam kąt i puszczono swobodnie (patrz rysunek powyżej). Która z kulek ma większą energię drgań i dlaczego?

- [ ] Większą energię ma kulka K_2, ponieważ przy wychyleniu o ten sam kąt jej wysokość wzrosła bardziej.
- [ ] Energie obu kulek są takie same, ponieważ kulki mają taką samą masę.
- [ ] Większą energię ma kulka K_2, ponieważ ma większą częstotliwość drgań.
- [ ] Większą energię ma kulka K_2, ponieważ drga z większą amplitudą.
- [ ] Obie kulki mają taką samą energię, ponieważ odchylono je o taki sam kąt.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Wyznaczanie okresu i częstotliwości drgań wahadła matematycznego i ciężarka na sprężynie

Podczas pracy wiertarki udarowej drgania tego narzędzia są wyraźnie wyczuwalne, a czas trwania jednego drgnienia to ułamek sekundy. Czy można zatem zmierzyć ten czas, mając do dyspozycji tylko stoper ręczny? Czy niezbędna jest tu specjalistyczna aparatura (fotokomórka)?

Mimo iż wahadło matematyczne jest modelem czysto teoretycznym, to istnieją na świecie konstrukcje, których ruch można opisać za pomocą takiego właśnie modelu. Przykładem jest wahadło w Katedrze Metropolitalnej miasta Meksyk

Już potrafisz

- podać definicję ruchu drgającego;
- posługiwać się pojęciami i wielkościami opisującymi ruch drgający, takimi jak: położenie równowagi, wychylenie z położenia równowagi, okres i częstotliwość drgań, amplituda drgań;
- podać przykłady ciał wykonujących ruch drgający;
- opisać ruch ciężarka na sprężynie i wahadła matematycznego;
- odczytać okres drgań z zależności wychylenia od czasu $x(t)$;
- obliczyć częstotliwość drgań, znając okres lub odwrotnie.

Nauczysz się

- mierzyć okres drgań wahadła matematycznego i ciężarka na sprężynie;

- ustalać czynniki wpływające na niepewność pomiaru oraz sposoby zmniejszania tej niepewności;
- badać, od jakich wielkości fizycznych zależy, a od jakich nie zależy okres drgań wahadła matematycznego i ciężarka na sprężynie.

Doświadczenie 1

Pomiar okresu drgań wahadła matematycznego i ocena niepewności tego pomiaru.

Co będzie potrzebne

- stoper ręczny;
- statyw z wyposażeniem;
- stalowa lub ołowiana kulka z otworem lub haczykiem do zamocowania nici;
- mocna, nierozciągliwa nić;
- linijka lub inna miarka do pomiaru długości.

Instrukcja

Część I

1. Zamocuj kulMi tekę na nici i zawieś na statywie. Istotne jest, aby punkt zawieszenia był nieruchomy.
2. Ustal długość nici na około $100\ \mathrm{cm}$.
3. Przed rozpoczęciem właściwych pomiarów poćwicz wprawianie wahadła w ruch. Polega to na odchyleniu kulki od pionu i puszczeniu jej swobodnie. Kąt odchylenia nie powinien być większy niż 10°. Ważne jest, aby kulkę tylko puścić – czyli nie pociągnąć, nie popchnąć, nie obrócić. Wahania kulki powinny odbywać się w jednej płaszczyźnie – nić nie może zakreślać elipsy.
4. Odchyl wahadło od pionu i zmierz czas trwania jednego wahnięcia – włącz stoper w momencie puszczenia kulki i wyłącz, kiedy wróci do miejsca startu. Czynność tę powtórz kilka razy – mogą to zrobić różne osoby.

5. Zanotuj otrzymane wyniki.

Część II

1. Zmierz czas trwania 10 wahnięć – włącz stoper w momencie rozpoczęcia drgań (puszczenia kulki i wyłącz go dopiero wtedy, gdy kulka wykona 10 pełnych wahnięć (to znaczy po raz dziesiąty znajdzie się punkcie startu).

2. Oblicz okres wahadła – podziel zmierzony czas przez 10 i zaokrąglij wynik do dwóch miejsc po przecinku.

3. Czynności 1 i 2 powtórz kilka razy – mogą to zrobić różne osoby.

4. Zanotuj otrzymane wyniki.

Podsumowanie

Można zauważyć, że otrzymane wyniki pomiarów w części znacznie różnią się od siebie. Oznacza to, że pomiar pojedynczego okresu drgań obarczony jest dużą niepewnością pomiaru. Przypomnijmy, że czas reakcji człowieka wynosi $0{,}1\ \mathrm{s}$. Ponieważ stoper był włączany i wyłączny ręcznie, to sumaryczna niepewność pomiaru wynosi $0{,}2\ \mathrm{s}$. Jeśli mierzona przez nas wielkość miała na przykład wartość $0{,}92\ \mathrm{s}$, to oznacza, że pomiar był bardzo niedokładny, gdyż wynosił ponad $20\,\%$.
Pomiar czasu trwania 10 wahnięć zmniejszył znacząco niepewność pomiaru okresu – wyniki otrzymane w części drugiej nie różnią się o więcej niż $0{,}02\ \mathrm{s}$. Oznacza to, że okres został zmierzony z dokładnością do $2\,\%$. Domyślasz się, że zwiększenie liczby wahnięć do 20 poprawiłoby dokładność pomiaru dwukrotnie.

Zapamiętaj!

Wyznaczanie okresu drgań wahadła matematycznego polega na zmierzeniu czasu trwania kilku lub kilkudziesięciu wahnięć i podzieleniu wyniku tego pomiaru przez liczbę wahnięć.

$$T = \frac{t_n}{n}$$

gdzie: n – liczba wahnięć; t_n – czas trwania n wahnięć.
Aby wyznaczyć częstotliwość drgań wahadła, należy zmierzyć czas trwania kilku lub kilkudziesięciu wahnięć i podzieleniu liczby drgań przez zmierzony czas.

$$f = \frac{n}{t_n}$$

Doświadczenie 2

Badanie zależności okresu drgań wahadła matematycznego od amplitudy drgań.

Co będzie potrzebne

- stoper ręczny;
- statyw z wyposażeniem;
- stalowa lub ołowiana kulka z otworem lub haczykiem do zamocowania nici;
- mocna, nierozciągliwa nić;
- linijka lub inna miarka do pomiaru długości.

Instrukcja

1. Zamocuj kulkę na nici i zawieś na statywie. Istotne jest, aby punkt zawieszenia był nieruchomy.
2. Ustal długość nici na około $100\ \mathrm{cm}$.
3. Przed rozpoczęciem właściwych pomiarów poćwicz wprawianie wahadła w ruch. Polega to na odchyleniu kulki od pionu i puszczeniu jej swobodnie. Ważne jest, aby kulkę tylko puścić – czyli nie pociągnąć, nie popchnąć, nie obrócić. Wahania kulki powinny odbywać się w jednej płaszczyźnie – nić nie może zakreślać elipsy.
4. Odchyl wahadło od pionu o bardzo niewielki kąt (kulka powinna być przesunięta około $5\ \mathrm{cm}$ od położenia równowagi) i zmierz okres drgań wahadła, zgodnie z zasadami poznanymi w poprzednim doświadczeniu.
5. Pomiar opisany w punkcie 4 wykonaj trzy razy.

6. Oblicz średnią arytmetyczną wyznaczonego okresu drgań, wynik zaokrąglij do 2 miejsc po przecinku i zanotuj: $T_1 =$...

7. Odchyl wahadło od pionu o dwa razy większy kąt (około $10\ \mathrm{cm}$ od położenia równowagi) i ponownie zmierz okres drgań wahadła.

8. Pomiar 7 powtórz trzy razy, oblicz średnią wartość, zaokrąglij wynik do 2 miejsc po przecinku i zanotuj wynik: $T_2 =$...

9. Wyznacz okres drgań wahadła dla jeszcze większego kąta odchylenia (około 15 cm od położenia równowagi): $T_3 =$...

Podsumowanie

Jeśli poprawnie wykonałeś doświadczenie, to zmierzone okresy drgań wahadła dla różnych kątów odchylenia (T_1, T_2, T_3) nie różnią się o więcej niż $0{,}02\ \mathrm{s}$. Oznacza to, że są takie same w granicach niepewności pomiaru.

Zapamiętaj!

Okres drgań wahadła matematycznego nie zależy od amplitudy drgań. Tę właściwość wahadła nazywamy izochronizmem. Została ona odkryta przez Galileusza i ma zasadnicze znaczenie dla konstruktorów zegarów wahadłowych.

Doświadczenie 3

Badanie zależności okresu drgań wahadła matematycznego od długości nici.

Co będzie potrzebne

- stoper ręczny;
- statyw z wyposażeniem;
- stalowa lub ołowiana kulka z otworem lub haczykiem do zamocowania nici;
- mocna, nierozciągliwa nić;
- linijka lub inna miarka do pomiaru długości.

Instrukcja

1. Zamocuj kulkę na nici i zawieś na statywie. Pamiętaj o zasadach dotyczących zawieszenia i uruchamiania wahadła, opisanych w poprzednich doświadczeniach.
2. Zmierz długość wiszącego wahadła – jest to odległość od punktu zawieszenia do środka kulki.
3. Wyznacz okres drgań wahadła zgodnie z zasadami ustalonymi w podsumowaniu pierwszego doświadczenia.
4. Zmień długość wahadła i powtórz pomiary wskazane w punktach 2–3.
5. Wykonaj pomiary dla czterech różnych długości wahadła. Długości staraj się dobrać tak, aby największa z nich była cztery razy większa od najmniejszej, na przykład 50 cm, 100 cm, 150 cm i 200 cm. Odchylenia z położenia równowagi dobieraj tak, aby nie przekraczały 10% długości nici za każdym razem.

Tabela pomiarów

L.P.	długość wahadła $l[\mathrm{cm}]$	czas trwania 10 wahnięć $t_{10}[\mathrm{s}]$	okres $T[\mathrm{s}]$
1.			
2.			
3.			
4.			

Podsumowanie

Pomiary jednoznacznie wskazują, że:

- okres drgań wahadła zależy od jego długości;
- większej długości odpowiada większa wartość okresu drgań;
- gdy długość wahadła wzrośnie cztery razy, to okres drgań wzrośnie dwa razy.

Polecenie 1

Na podstawie powyższych wniosków, ustal, ile razy należy zwiększyć długość wahadła, aby okres jego drgań wzrósł trzy razy.

Doświadczenie 4

Badanie zależności okresu drgań wahadła matematycznego od masy kulki.

Długości wahadeł zbudowanych z różnych kulek muszą być takie same.

Co będzie potrzebne

- stoper ręczny;
- statyw z wyposażeniem;
- kilka kulek z otworem lub haczykiem do zamocowania nici. Kulki powinny być wykonane z różnych materiałów, ale mieć taką samą średnicę (na przykład drewniana, stalowa, ołowiana, szklana);
- mocna, nierozciągliwa nić;
- linijka lub inna miarka do pomiaru długości.

Instrukcja

1. Zamocuj jedną z kulek na nici i zawieś na statywie. Pamiętaj o zasadach dotyczących zawieszenia i uruchamiania wahadła opisanych w pierwszym doświadczeniu.
2. Zmierz długość wiszącego wahadła – jest to odległość od punktu zawieszenia do środka kulki.
3. Wyznacz okres drgań wahadła zgodnie z zasadami ustalonymi we wnioskach z pierwszego doświadczenia.
4. Pomiar powtórz dla wszystkich kulek.

Podsumowanie

Jeśli poprawnie wykonałeś doświadczenie, to zmierzone okresy drgań wahadła dla różnych kulek nie różnią się o więcej niż 0,02 s. Oznacza to, że są takie same w granicach niepewności pomiaru.

Zapamiętaj!

Okres drgań wahadła matematycznego nie zależy od masy wahadła.

Doświadczenie 5

Wyznaczanie częstotliwości i okresu drgań ciężarka na sprężynie.

Co będzie potrzebne

- stoper ręczny;
- statyw z wyposażeniem;
- sprężyna;
- ciężarek z haczykiem;
- linijka lub inna miarka do pomiaru długości.

Instrukcja

1. Sprężynę zamocuj i zawieś na statywie. Sprężyna powinna zwisać swobodnie.
2. Na sprężynie zawieś ciężarek. Pociągnij go lekko pionowo w dół i puść swobodnie. Ciężarek powinien poruszać się po linii prostej, bez kołysania na boki i bez „podskakiwania". Stanie się tak, gdy sprężyna jest długa, dość miękka, a amplituda drgań nie będzie zbyt duża. Puszczając ciężarek, należy uważać, aby nie popchnąć go w bok lub nie skręcić.
3. Po tych wstępnych ćwiczeniach we wprawianiu ciężarka w ruch drgający przystąp do właściwych pomiarów.
4. Zmierz czas trwania 10 pełnych drgań ciężarka – włącz stoper w chwili rozpoczęcia ruchu ciężarka i wyłącz, gdy ciężarek po raz dziesiąty znajdzie się w najniższym położeniu.
5. Oblicz okres drgań, dzieląc otrzymany wynik pomiaru przez 10. Wynik zaokrąglij do dwóch miejsc po przecinku.

6. Oblicz częstotliwość drgań ciężarka, dzieląc liczbę 10 przez zmierzony czas trwania 10 wahnięć.

Podsumowanie

Aby wyznaczyć częstotliwość drgań ciężarka na sprężynie, należy zmierzyć czas trwania kilku lub kilkudziesięciu drgań i podzieleniu liczby drgań przez zmierzony czas.

$$f = \frac{n}{t_n},$$

gdzie: n – liczba drgań; t_n– czas trwania n drgań.
Aby wyznaczyć okres drgań ciężarka na sprężynie, należy zmierzyć czas trwania kilku lub kilkudziesięciu drgań i podzielić zmierzony czas przez liczbę drgań.

$$T = \frac{t_n}{n}$$

Doświadczenie 6

Badanie zależności okresu drgań ciężarka na sprężynie od masy ciężarka.

Co będzie potrzebne

- stoper ręczny;
- statyw z wyposażeniem;
- sprężyna;
- kilka ciężarków o znanej masie. Dobrze jeśli ciężarki są z haczykami i mają jednakowe masy;
- linijka lub inna miarka do pomiaru długości.

Instrukcja

1. Sprężynę zamocuj i zawieś na statywie.
2. Na sprężynie zawieś jeden ciężarek i wyznacz okres jego drgań zgodnie z uwagami i wnioskami z poprzedniego doświadczenia.
3. Na sprężynie zawieś dwa ciężarki jeden pod drugim albo ciężarek o innej masie i wyznacz okres ich drgań.
4. Pomiary powtórz kolejno dla trzech i czterech ciężarków.
5. Wyniki pomiarów zapisz w poniższej tabeli pomiarów.

Tabela pomiarów

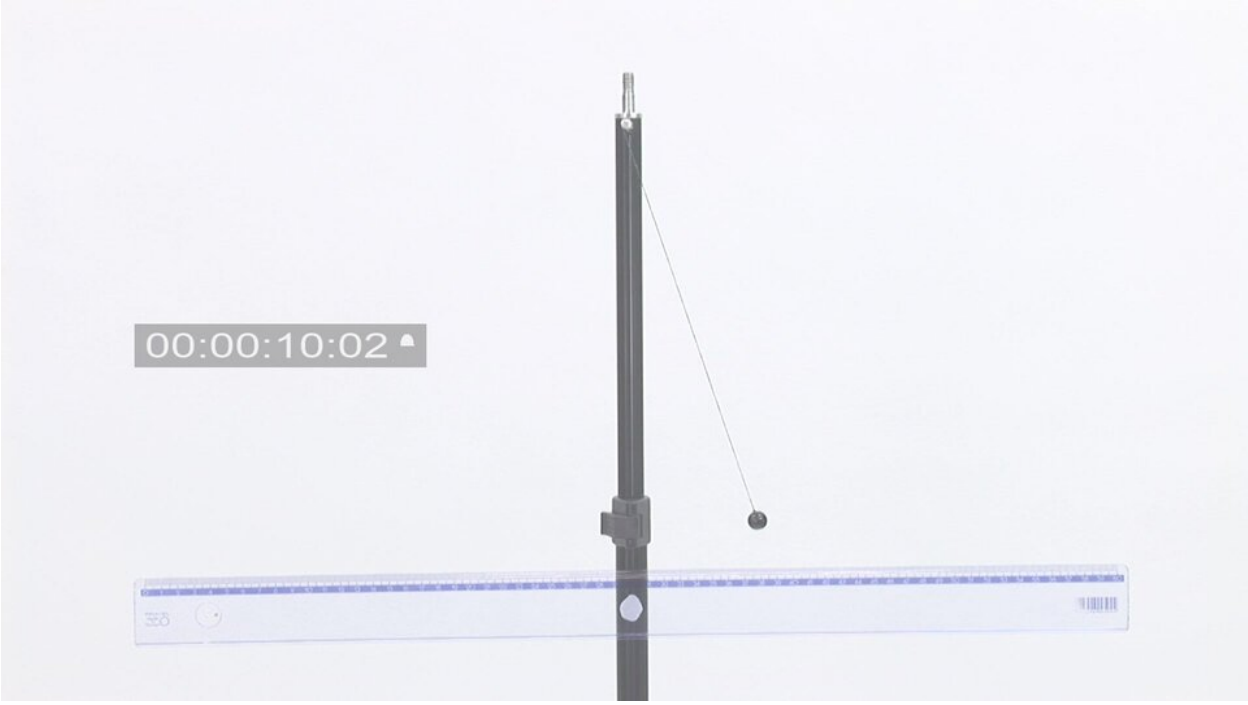
L.P.	masa ciężarków $m[\mathrm{g}]$	czas trwania 10 wahnięć $t_{10}[\mathrm{s}]$	okres $T[\mathrm{s}]$
1.			
2.			
3.			
4.			

Podsumowanie

Pomiary wskazują, że:

- okres drgań ciężarka na sprężynie zależy od jego masy;
- większej masie odpowiada większa wartość okresu drgań;
- gdy masa ciężarków wzrośnie cztery razy, to okres drgań wzrośnie dwa razy (ten efekt jest możliwy do uzyskania, jeżeli masa sprężyny będzie znacznie mniejsza od masy zawieszonego na niej ciężarka).

Jeśli nie masz możliwości wykonania opisanych wyżej doświadczeń, obejrzyj je na załączonym filmie. Film możesz też wykorzystać, jako „Instrukcję wykonania”.



Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

Źródło: Tomorrow Sp. z o.o., licencja: CC BY 3.0.

Film pokazuje poprawne wykonanie doświadczeń opisanych w module dotyczących wyznaczania okresu i częstotliwości drgań wahadła matematycznego, izochronizmu wahadła, niezależności okresu wahadła od jego masy, zależności okresu od długości.

Podsumowanie

- Wyznaczanie okresu drgań wahadła matematycznego polega na zmierzeniu czasu trwania kilku lub kilkudziesięciu wahnięć i podzieleniu wyniku tego pomiaru przez liczbę wahnięć.
  $T = \frac{t_n}{n}$,
  gdzie: n – liczba wahnięć; t_n – czas trwania n wahnięć.
- Okres drgań wahadła matematycznego nie zależy od amplitudy drgań. Tę właściwość wahadła nazywamy izochronizmem.
- Okres drgań wahadła matematycznego zależy od jego długości, przy czym:
  - większej długości odpowiada większa wartość okresu drgań,
  - gdy długość wahadła wzrośnie cztery razy, to okres drgań wzrośnie dwa razy.
- Okres drgań wahadła matematycznego nie zależy od masy wahadła.
- Aby wyznaczyć częstotliwość drgań ciężarka na sprężynie, należy zmierzyć czas trwania kilku lub kilkudziesięciu drgań i podzielić liczbę drgań przez zmierzony czas.

$f = \frac{n}{t_n}$,
gdzie: n – liczba drgań; t_n – czas trwania n drgań.

- Aby wyznaczyć okres drgań ciężarka na sprężynie, należy zmierzyć czas trwania kilku lub kilkudziesięciu drgań i podzielić zmierzony czasu przez liczbę drgań.
  $T = \frac{t_n}{n}$
- Okres drgań ciężarka na sprężynie zależy od jego masy, przy czym większej masie odpowiada większa wartość okresu drgań.

> **Praca domowa**
>
> > **Polecenie 2.1**
> >
> > Wahadła zegarów w wyniku zmian temperatury wydłużają się lub skracają. W jaki sposób np. wydłużenie wahadła wpłynie na mierzony tym zegarem upływ czasu?

Słowniczek

> **izochronizm**
>
> – niezależność okresu drgań od amplitudy drgań.

Powstawanie fal w ośrodkach materialnych. Fale harmoniczne i wielkości je opisujące: amplituda, okres, częstotliwość, prędkość i długość fali

Czy gdy siedzisz nad brzegiem jeziora, możesz rozkołysać łódkę uwiązaną do pomostu na przeciwległym brzegu jeziora? Co się będzie działo z taką łódką, gdy w pobliżu przepłynie z dużą prędkością motorówka?

Bardzo wiele zjawisk w przyrodzie ma charakter falowy. Poznanie natury fal jest konieczne do zrozumienia natury zjawisk falowych

Już potrafisz

- opisywać ruch drgający na przykładzie ciężarka na sprężynie oraz wahadła matematycznego;
- posługiwać się pojęciami położenia równowagi, amplitudy drgań, okresu i częstotliwości drgań;
- analizować przemiany energii w ruchu drgającym;
- obliczać okres drgań, gdy znana jest ich częstotliwość.

Nauczysz się

- opisywać mechanizm przekazywania drgań między punktami ośrodka;
- podawać definicję ruchu falowego oraz fal harmonicznych;
- posługiwać się wielkościami opisującymi ruch falowy: amplituda fali, okres i częstotliwość fali, długość i prędkość fali.

Zjawisko powstawania fal omówimy, rozpoczynając od przeprowadzenia prostego doświadczenia.

Doświadczenie 1

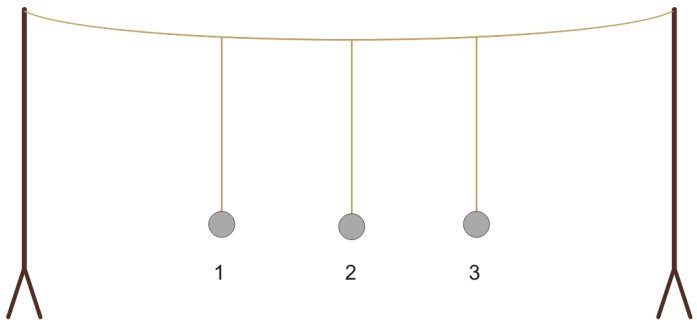
Obserwacja procesu przekazywania drgań.

Co będzie potrzebne

- dwa statywy lub rama;
- gruby sznur;
- 3 lub 4 jednakowe wahadła matematyczne.

Instrukcja

1. Naciągnij sznur między dwoma statywami ustawionymi w odległości około 70 cm od siebie.
2. Do sznura przywiąż nici wahadeł matematycznych. Wahadła powinny mieć jednakową długość, a odstępy między nimi wynosić około 10–15 cm. Dla pewności spójrz na rysunek.



Źródło: ContentPlus, licencja: CC BY 3.0.

3. Odchyl od pionu pierwsze wahadło z brzegu i puść swobodnie (powinno ono drgać w kierunku prostopadłym do płaszczyzny, w której wiszą inne wahadła, i nie może zderzać się z sąsiednim wahadłem).

4. Obserwuj zachowanie pozostałych wahadeł.

Podsumowanie

Łatwo zauważyć, że wahadła, których nie wprawiliśmy w ruch, po pewnym czasie też zaczęły drgać, przy czym drgania sąsiedniego są nieco spóźnione w porównaniu z tym, które zaczęło drgać wcześniej.
Z tej obserwacji możemy wyciągnąć wniosek, że **drgania mogą być przekazywane od jednego ciała drgającego do innego**. W tym doświadczeniu pośrednikiem między wahadłami był sznur, do którego wszystkie były przymocowane.

Czy tylko wahadła mogą przekazywać sobie drgania? Wykonajmy kolejne doświadczenie:

Doświadczenie 2

Obserwacja ruchu falowego.

Co będzie potrzebne

- gumowy sznur lub inna sprężysta linka o długości kilku metrów (3–5 m). Może to być przewód elektryczny w gumowej izolacji (oczywiście niepodłączony do źródła napięcia!);
- sprężyna typu slinky,
- uchwyt w ścianie, do którego można przywiązać jeden koniec sznura (w ostateczności może to być klamka zamkniętych drzwi).

Instrukcja

1. Przywiąż jeden koniec sznura do stabilnego uchwytu w ścianie, drugi trzymaj w ręce i stań w takiej odległości od ściany, aby sznur był poziomy i lekko naciągnięty.
2. Drugą ręką uderz energicznie w sznur tak, aby wyraźnie się odkształcił.
3. Obserwuj, co dzieje się z wywołanym odkształceniem.
4. Zwiększ naprężenie sznura (możesz odsunąć się od ściany lub skrócić napiętą część sznura) i znów drugą ręką uderz energicznie w sznur, tak aby wyraźnie się odkształcił.
5. Obserwuj, co się zmieniło.
6. Powtórz powyższe czynności ze sprężyną slinky.
7. Ściśnij kilka zwojów naciągniętej sprężynki i puść. Ruch powinien być szybki i energiczny.
8. Obserwuj zachowanie się sprężynki po wywołaniu w niej takiego zaburzenia.

9. Powtórz czynność 7 przy różnym stopniu rozciągnięcia sprężynki – uważaj, aby nie rozciągnąć jej w sposób nieodwracalny!

Widzimy, że zaburzenie wywołane ruchem ręki w jednym miejscu sznura lub sprężyny przemieszcza się wzdłuż tego sznura (sprężyny) ze stałą prędkością. Prędkość ta może wzrosnąć, gdy zwiększymy naciąg sznura (sprężyny). Takie **zaburzenie przemieszczające się w ośrodku** sprężystym (sznur, sprężyna) nazywamy **impulsem falowym**.
Dzieje się tak dlatego, że poszczególne fragmenty sznura oddziałują ze sobą i przekazują sobie swoje drgania, podobnie jak to było w przypadku wahadeł z doświadczenia 1.

Gdy zaburzenie będziemy wprowadzać w sposób cykliczny (jeden koniec sznura lub sprężyny będzie regularnie drgał), to w ośrodku rozchodzić się będzie ciąg takich impulsów falowych, który nazywamy falą.

Zapamiętaj!

1. **Fala** to zaburzenie rozchodzące się w ośrodku sprężystym.
2. Źródłem fali jest ciało drgające, które przekazuje drgania cząsteczkom ośrodka.
3. Gdy w ośrodku rozchodzi się fala, cząsteczki tego ośrodka wykonują ruch drgający – każda wokół swego położenia równowagi. Ruch ten odbywa się na małej przestrzeni.
4. Fala (czyli zaburzenie) rozchodzi się w ośrodku ruchem jednostajnym wzdłuż całego ośrodka, na dużej przestrzeni. Ruch fali jest możliwy wtedy, gdy cząsteczki ośrodka mogą przekazywać drgania od jednej fali do następnych.

Wielkości charakteryzujące ruch falowy:

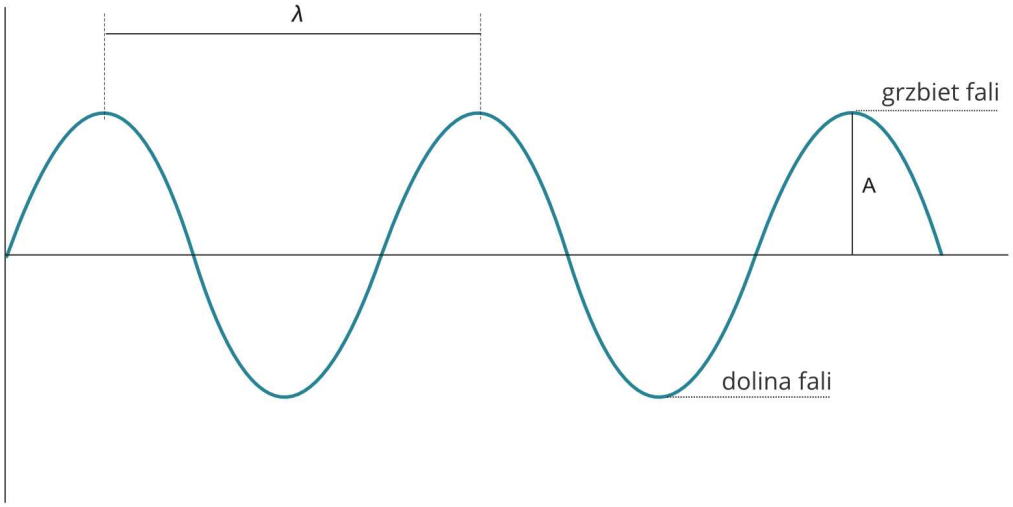
- **prędkość fali** (v) – prędkość, z jaką w ośrodku rozchodzi się zaburzenie wywołane drganiami źródła fali. Jej wielkość zależy od właściwości ośrodka; jego sprężystości i gęstości; jednostka – metr na sekundę $\left[\frac{m}{s}\right]$;
- **amplituda fali** (A) – amplituda drgań cząsteczek ośrodka, w którym rozchodzi się fala; jednostka – metr [m];
- **okres fali** (T) – okres drgań źródła fali, a jednocześnie okres drgań cząsteczek ośrodka, w którym rozchodzi się fala; jednostka – sekunda [s];
- **częstotliwość fali** (f) – częstotliwość drgań źródła fali, a jednocześnie częstotliwość drgań cząsteczek ośrodka, w którym rozchodzi się fala; jednostka – herc [Hz].

Częstotliwość fali jest odwrotnością okresu – tak jak w opisie drgań, czyli:

$$f = \frac{1}{T}$$

$$T = \frac{1}{f}$$

Gdy sfotografujemy falę na sznurze (migawkowe zdjęcie fali), wyglądać będzie ona następująco:



Źródło: ContentPlus, licencja: CC BY 3.0.

Na rysunku przedstawiono charakterystyczne elementy fali, czyli grzbiety fali – to najwyżej położone punkty. Najniżej położone nazywamy dolinami.

Długość fali (λ) (lambda) – odległość między dwoma sąsiednimi grzbietami (lub dwiema sąsiednimi dolinami) fali; jednostka – metr.

Długość fali to jednocześnie droga, jaką przebywa fala w czasie, gdy źródło fali wykona jedno pełne drganie, czyli w ciągu jednego okresu. Ponieważ fala przemieszcza się ruchem jednostajnym, to przebytą przez nią drogę możemy policzyć, korzystając z zależności:

$$\text{droga} = \text{ prędkość} \cdot \text{czas}$$

$$s = v \cdot t$$

czyli

$$\lambda = \text{ v} \cdot T$$

W ten sposób zapisaliśmy jeden z najważniejszych związków łączących wielkości charakteryzujące ruch falowy. Korzystanie z tego związku będzie przedmiotem ćwiczeń w jednym z następnych rozdziałów.

*Promień fali to kierunek jej rozchodzenia się.

Ćwiczenie 1

Które z poniższych twierdzeń jest prawdziwe, a które fałszywe?

	Prawda	Fałsz
Fale nie rozchodzą się w gazach.	◯	◯
Cząsteczki ośrodka, w którym biegnie fala, drgają, ale nie przesuwają się razem z falą.	◯	◯
Długość fali można mierzyć w centymetrach.	◯	◯
Cząsteczki ośrodka, w którym biegnie fala, płyną razem z nią.	◯	◯
Mechanizm rozchodzenia się fali polega na przekazywaniu drgań z jednego elementu ośrodka do drugiego.	◯	◯
W powietrzu można wytworzyć zarówno fale podłużne, jak i poprzeczne.	◯	◯
Fale o większej amplitudzie rozchodzą się szybciej.	◯	◯

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Podsumowanie

- Fala to zaburzenie rozchodzące się w ośrodku sprężystym.
- Źródłem fali jest ciało drgające, które przekazuje drgania cząsteczkom ośrodka.
- Gdy w ośrodku rozchodzi się fala, cząsteczki tego ośrodka wykonują ruch drgający, każda wokół swego położenia równowagi.
- Fala (czyli zaburzenie) rozchodzi się w ośrodku ruchem jednostajnym wzdłuż ośrodka. Ruch fali jest możliwy wtedy, gdy cząsteczki ośrodka mogą przekazywać drgania od jednej do następnych.
- Wielkości charakteryzujące ruch falowy:

    - **prędkość fali** (v) – prędkość, z jaką w ośrodku rozchodzi się zaburzenie wywołane drganiami źródła fali. Jej wielkość zależy od właściwości ośrodka; jego sprężystości i gęstości; jednostka – metr na sekundę $\left[\frac{m}{s}\right]$;
    - **amplituda fali** (A) – amplituda drgań cząsteczek ośrodka, w którym rozchodzi się fala; jednostka – metr [m];
    - **okres fali** (T) – okres drgań źródła fali, a jednocześnie okres drgań cząsteczek ośrodka, w którym rozchodzi się fala; jednostka – sekunda;
    - **częstotliwość fali** (f) – częstotliwość drgań źródła fali, a jednocześnie częstotliwość drgań cząsteczek ośrodka, w którym rozchodzi się fala; częstotliwość fali jest odwrotnością okresu – tak jak w opisie drgań czyli: $f = \frac{1}{T}, T = \frac{1}{f}$;

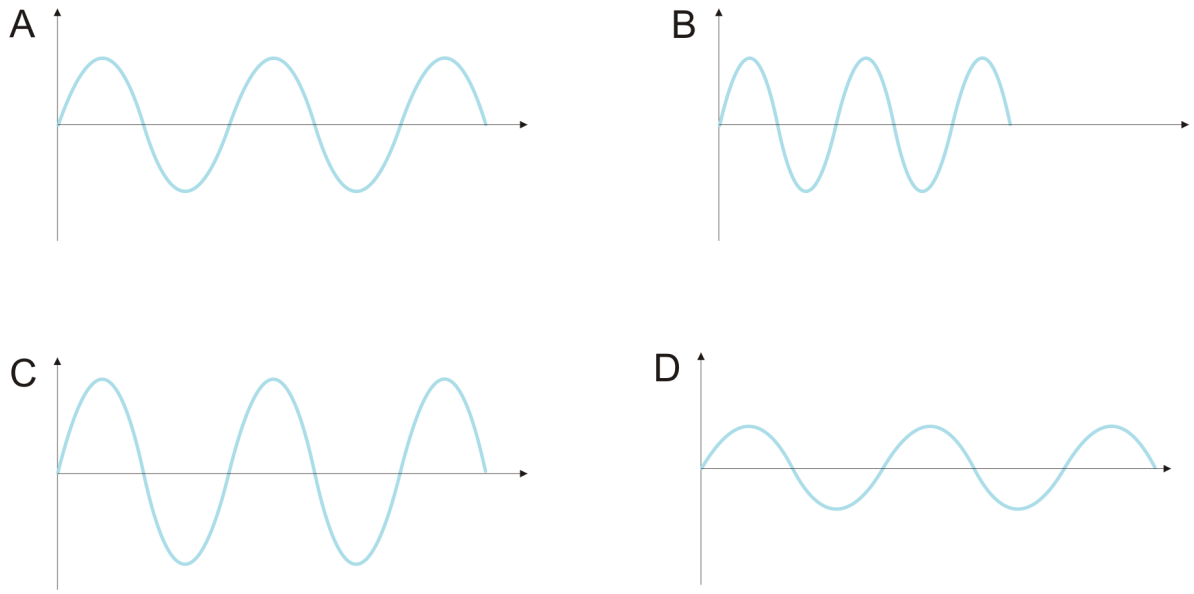
      jednostka – herc [Hz];
    - **długość fali** (λ) (lambda) – odległość między dwoma sąsiednimi grzbietami (lub dwiema sąsiednimi dolinami) fali; jednostka – metr [m].
- Długość fali to jednocześnie droga, jaką przebywa fala w czasie, gdy źródło fali wykona jedno pełne drganie, czyli w ciągu jednego okresu; droga $=$ prędkość $\cdot$ czas,$s = v \cdot t$, czyli $\lambda = v \cdot T$.

> **Praca domowa**
>
> > **Polecenie 1.1**
> >
> > Dźwięk ma częstotliwość $440\ \mathrm{Hz}$. Oblicz długość fali, jeżeli dźwięk ten rozchodzi się z prędkością $340\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$.
>
> > **Polecenie 1.2**
> >
> > Jeden z dźwięków ma częstotliwość $261{,}6\ \mathrm{Hz}$, a inny – $523{,}2\ \mathrm{Hz}$. Któremu z tych dźwięków odpowiada większa długość fali i ile razy jest większa.

Słowniczek

> **propagacja fali**
>
> – rozchodzenie się fali.

Zadanie podsumowujące rozdział



Źródło: ContentPlus, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 2.1

Z czterech zaprezentowanych tu fal, wskaż te, które mają takie same amplitudy oraz te, które mają taką samą długość.

- ◯ Taka sama długość fali – A i C, nie ma tu fal o jednakowych amplitudach.
- ◯ Jednakowe amplitudy – A i B, taka sama długość fali – D i C.
- ◯ Jednakowe amplitudy – A i D, taka sama długość fali – A i C.
- ◯ Jednakowe amplitudy – A i B, taka sama długość fali – A i B.
- ◯ Jednakowe amplitudy – A i B, nie ma tu fal o jednakowych długościach.
- ◯ Jednakowe amplitudy – A i C, taka sama długość fali – A i B.
- ◯ Jednakowe amplitudy – A i B, taka sama długość fali – A i C.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Fale dźwiękowe jako przykład fal harmonicznych. Cechy dźwięków: wysokość i głośność

Szmer strumyka, muzyka, huk samolotu, śpiew ptaków, warkot silnika, głos ukochanej osoby, pisk opon, ryk lwa, łopot flagi, świst wiatru – co łączy wymienione tu zjawiska? Prawie połowa informacji docierających do człowieka ze świata zewnętrznego trafia doń przez zmysł słuchu. Czy to nie jest wystarczający powód, by poznać warunki, jakie muszą spełniać przekazywane informacje, abyśmy mogli odbierać je za pomocą zmysłu słuchu?

Fala to najczęściej występujący typ zaburzeń, a wrażenie słuchowe określane przez nas mianem dźwięku jest powodowane przez specyficzny rodzaj fal, zwanych akustycznymi. Ich źródłem może być na przykład drgająca struna gitary pobudzona szarpnięciem palca

Już potrafisz

- opisywać mechanizm przekazywania drgań między punktami ośrodka;
- podawać definicję fal oraz fal harmonicznych;
- posługiwać się wielkościami opisującymi fale: amplituda fali, okres i częstotliwość fali, długość i prędkość fali.

Nauczysz się

- charakteryzować cechy dźwięku: wysokość dźwięku, głośność, barwę dźwięku*;
- podawać związek cech dźwięku z wielkościami fizycznymi charakterystycznymi dla drgań i fal.

Dźwiękami w języku potocznym nazywamy to, co może być zarejestrowane przez ludzkie ucho. Ściślej należałoby nazwać to wrażeniami słuchowymi, a dźwięki są jednymi z nich. Ale co to jest? Otóż źródłem dźwięku są ciała drgające, które przekazują swoje drgania ośrodkowi sprężystemu (najczęściej jest to powietrze), inicjując w tym ośrodku falę dźwiękową, a ta rejestrowana jest przez zmysł słuchu. Fala dźwiękowa jest zatem falą mechaniczną, ponieważ rozchodzi się w ośrodku materialnym (np. w powietrzu, w wodzie).

Wszystkie ciała drgające w powietrzu są źródłami fal, ale czy ludzkie ucho wszystkie te fale rejestruje?
Sprawdźmy to doświadczalnie.

Doświadczenie 1

Sprawdzenie, jak częstotliwość drgań wpływa na słyszalność fali rozchodzącej się w powietrzu.

Co będzie potrzebne

- sprężyna płaska o długości około 30 cm (może to być brzeszczot piły do metalu);
- imadło lub inny przyrząd do zamocowania sprężyny;
- jeżeli dysponujecie dwoma imadłami, to można zamocować rozciągnięty (napięty) drut pomiędzy nimi i użyć go do doświadczenia analogicznie jak brzeszczot piły. Może w szkole znajduje się tzw. monochord (rozpięta jedna struna na drewnianym pudełku) - też jest to znakomite urządzenie do wykonania doświadczenia.

Instrukcja

1. Zamocuj jeden koniec brzeszczotu w imadle, drugi pozostaw swobodny.
2. Wpraw sprężynę w drgania i obserwuj, czy fala wywołana tym drganiem jest słyszalna.
3. Uwaga: zadbaj, aby drgająca sprężyna nie uderzała o stół lub inne przedmioty, a zamocowany koniec był nieruchomy.
4. Skróć swobodną część sprężyny do około 25 cm i ponownie wpraw ją w drgania. Zwróć uwagę na zmianę częstotliwości drgań. Czy słyszysz dźwięk wywołany drganiami sprężyny?
5. Powtarzaj skracanie swobodnej części sprężyny co około 5 cm. Obserwuj zmiany częstotliwości drgań oraz słyszalność fali wzbudzonej tymi drganiami.

Podsumowanie

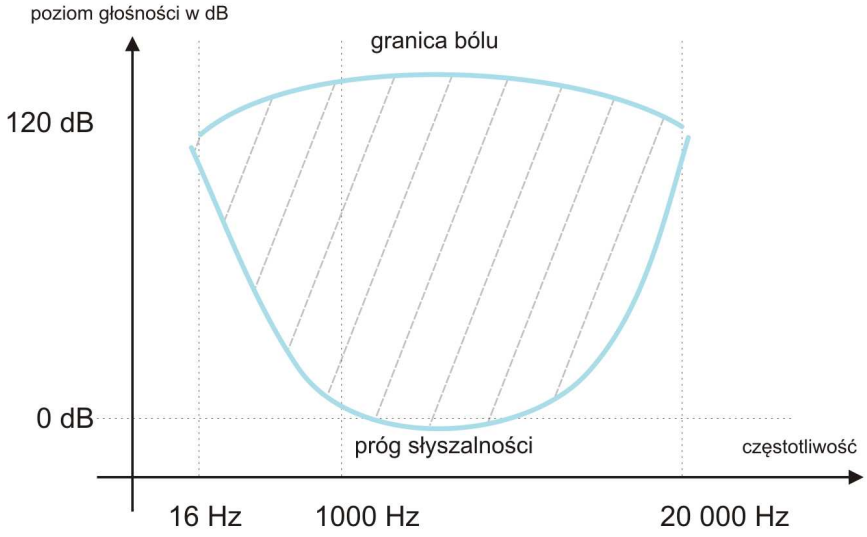
Drgania płaskiej sprężyny wzbudzały w powietrzu falę, ale fala ta nie zawsze była słyszalna. Skracanie drgającej części sprężyny prowadziło do wzrostu częstotliwości jej drgań. Gdy częstotliwość osiągnęła pewną wartość, fala wywołana drganiami sprężyny stała się słyszalna. Dalsze skracanie powodowało, że dźwięk był nadal słyszalny, ale brzmiał inaczej.

Z powyższego doświadczenia wynika, że **nie wszystkie fale rozchodzące się w powietrzu mogą być zarejestrowane przez ludzkie ucho**.

Aby tak się stało, drgania muszą spełniać dwa warunki:

1. częstotliwość tych drgań musi być większa od 16 Hz, a mniejsza od 20 000 Hz;
2. fale te muszą przenosić energię wystarczającą do pobudzenia narządu słuchu do drgań (jest to tzw. próg słyszalności związany z czułością zmysłu słuchu u danego gatunku; w pewnych sytuacjach może być to granica indywidualna nawet dla danego osobnika lub osoby).

Uwaga: energia drgań nie może być zbyt duża, aby nie doszło do uszkodzenia narządu słuchu (jest to tzw. granica bólu, po przekroczeniu której dźwięk odbierany jest już jako uciążliwy i szkodliwy dla zdrowia hałas).



Źródło: ContentPlus, licencja: CC BY 3.0.

Ciekawostka

Podane wyżej dane są przybliżone, ponieważ zakres słyszalności jest indywidualną cechą każdego człowieka. Zależy on od jego wrodzonych zdolności, wieku (największy zakres słyszalności jest w wieku ok. 12 lat), przebytych chorób itp. Możesz się o tym przekonać, posługując się dzwonkami telefonu komórkowego, dla którego można zmieniać

częstotliwość emitowanego sygnału. Sprawdź: dźwięki o jakich częstotliwościach są słyszalne dla twoich kolegów, rodzeństwa, rodziców, dziadków?

1. Wysokość dźwięku

Z częstotliwością drgań związana jest **wysokość dźwięku**. Dźwięki o małej częstotliwości (ale większej niż 16 Hz) nazywamy niskimi. Dźwięki o dużej częstotliwości to dźwięki wysokie.

Posłuchaj, jak brzmią dźwięki o różnych częstotliwościach.

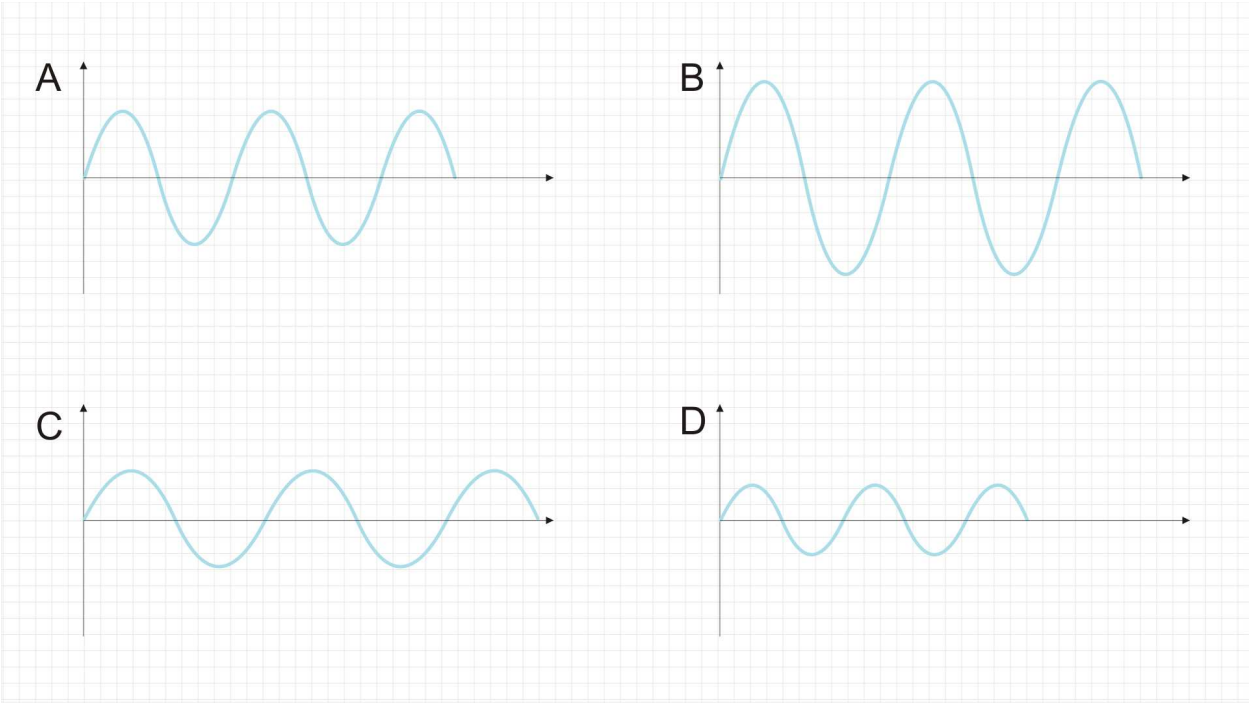
Zasób interaktywny dostępny pod adresem https://zpe.gov.pl/a/D1COrWyO7

Źródło: Michał Szymczak, Dariusz Adryan, licencja: CC BY 3.0.

Zwróć uwagę, że fala ma charakter sinusoidalny, a zmiana częstotliwości dźwięku oznacza zmianę okresu sinusoidy (zmienia się odległość między grzbietami sinusoidy).

Przykład 1

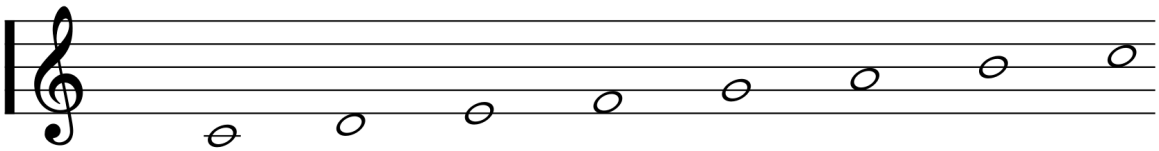
Poniższe rysunki przedstawiają wykresy fal dźwiękowych (wartości prędkości rozchodzenia się fal są jednakowe). Uporządkuj je zgodnie z rosnącą wysokością dźwięku.



Źródło: ContentPlus, licencja: CC BY 3.0.

Rozwiązanie:
Aby rozwiązać to zadanie, zwracamy uwagę wyłącznie na okres fali. Największy okres to najmniejsza częstotliwość, czyli dźwięk najniższy. Inne cechy fali (na przykład amplituda) nie mają wpływu na wysokość dźwięku.
Dźwięk o najniższej wysokości przedstawia fala z rysunku C. Kolejno są to: B, A, D.
Ciekawostka

Muzyczna skala wysokości dźwięku. Wysokość to cecha dźwięku bardzo ważna w muzyce. Jednak muzycy nie mierzą jej w hercach tak jak fizycy. W świecie muzyki obowiązuje specjalna, muzyczna skala wysokości. Jest ich zresztą kilka. Poniższy rysunek przedstawia muzyczną skalę wysokości na pięciolinii.



nazwa dźwięku	c^1	d^1	e^1	f^1	g^1	a^1	h^1	c^2
f [Hz]	264 f_0	297 $\frac{9}{8}f_0$	330 $\frac{5}{4}f_0$	352 $\frac{4}{3}f_0$	396 $\frac{3}{2}f_0$	440 $\frac{5}{3}f_0$	495 $\frac{15}{8}f_0$	528 $2f_0$
nazwa interwału	tonika (prima)	sekunda wielka	tercja wielka	kwarta	kwinta	seksta	septyma wielka	oktawa

Źródło: Krzysztof Jaworski, ClkerFreeVectorImages (https://pixabay.com), licencja: CC BY 3.0.

2. Głośno czy cicho - natężenie dźwięku

O tym, czy dźwięk rejestrowany przez człowieka odbierany jest jako głośny czy cichy, decyduje ilość energii docierającej do jego uszu w ciągu sekundy. Wielkość fizyczna opisująca tę cechę nosi nazwę **natężenia dźwięku** i mierzona jest w $\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2}$. Minimalna wartość natężenia dźwięku, potrzebna do wprawienia w ruch błony bębenkowej naszego ucha nosi nazwę **progu słyszalności**. W literaturze podaje się jej liczbową wartość, ale jest to wartość umowna, gdyż stanowi ona cechę indywidualną każdego człowieka. Ponadto jej wartość zależy od częstotliwości dźwięku. Ucho ludzkie jest najbardziej czułe na dźwięki od 1 do 3 kHz.

> **Polecenie 1**
>
> Uruchom ponownie aplikację „generator akustyczny" (znajdziesz ją na poprzedniej stronie) i wysłuchaj dźwięku o częstotliwości 1 kHz. Następnie odpowiedz na pytanie: dlaczego różnego rodzaju dźwiękowe sygnały ostrzegawcze (alarmowe) mają dźwięki o zbliżonej częstotliwości?

Dźwięki, podobnie jak światło, odbieramy za pomocą zmysłów. Zmysł słuchu reaguje na energię drgań fali dźwiękowej, dając wrażenie słyszenia dźwięku. Od czego zależy to wrażenie? Kiedy dźwięk będzie dla nas głośniejszy?
Odpowiedź brzmi: kiedy będzie miał większe natężenie, czyli większą energię odbieraną w jednostce czasu. Okazuje się jednak, że (na szczęście!) dźwięk o energii np. 100 razy większej (w tym samym czasie) nie powoduje wrażenia 100 razy większego. Nasz zmysł słuchu jak gdyby „spłaszcza" wrażenia słuchowe. Najczęściej spotykaną jednostką wyrażającą głośność dźwięku jest decybel (symbol 1 dB). Jest to jednostka tak zwanego poziomu natężenia dźwięku i w pewnym sensie mówi nam, ile razy słyszany dźwięk ma natężenie większe od progu słyszalności. Zależność tę przedstawia poniższa tabela:

Decybel – jednostka związania z natężeniem dźwięku

Ilość decybeli	**Ile razy natężenie jest większe niż próg słyszalności**	**Przykłady**
0 dB	1 x próg słyszalności (1 = 10)	
10 dB	10 x próg słyszalności (10 = 10^1)	szelest liści przy słabym wietrze
20 dB	100 x próg słyszalności (100 = 10^2)	szept
30 dB	1000 x próg słyszalności (1000 = 10^3)	ulica o niewielkim natężeniu ruchu
40 dB	10 000 x próg słyszalności (10 000 = 10^4)	

Ilość decybeli	Ile razy natężenie jest większe niż próg słyszalności	Przykłady
50 dB	100 000 x próg słyszalności (100 000 = 10^5)	
60 dB		odkurzacz
90 dB		ulica o dużym natężeniu ruchu
100 dB		motocykl bez tłumika
140 dB		startujący odrzutowiec

Dźwięk o dwa razy większym natężeniu ma poziom natężenia o 3 dB większy.
Czułość ucha ludzkiego jest zależna od częstotliwości dźwięku – dla częstotliwości 1000 Hz próg słyszalności wynosi $10^{-12}\,\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2}$.

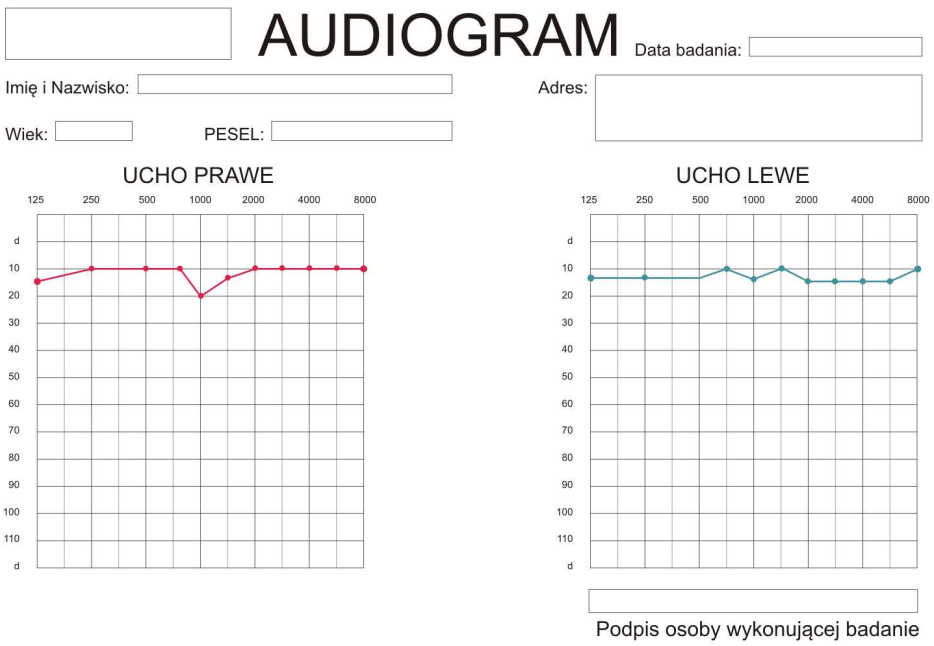
Polecenie 2

Uzupełnij wolne miejsca w tabeli.

Polecenie 3

Dźwięk głośnej muzyki to 80 dB. Po analizie danych w tabeli napisz, ile razy natężenie dźwięku jest większe od progu słyszalności.

Osobom udającym się na badanie słuchu, bada się właśnie próg słyszalności w zależności od wysokości dźwięku. Poniższy rysunek przedstawia wynik takiego badania.

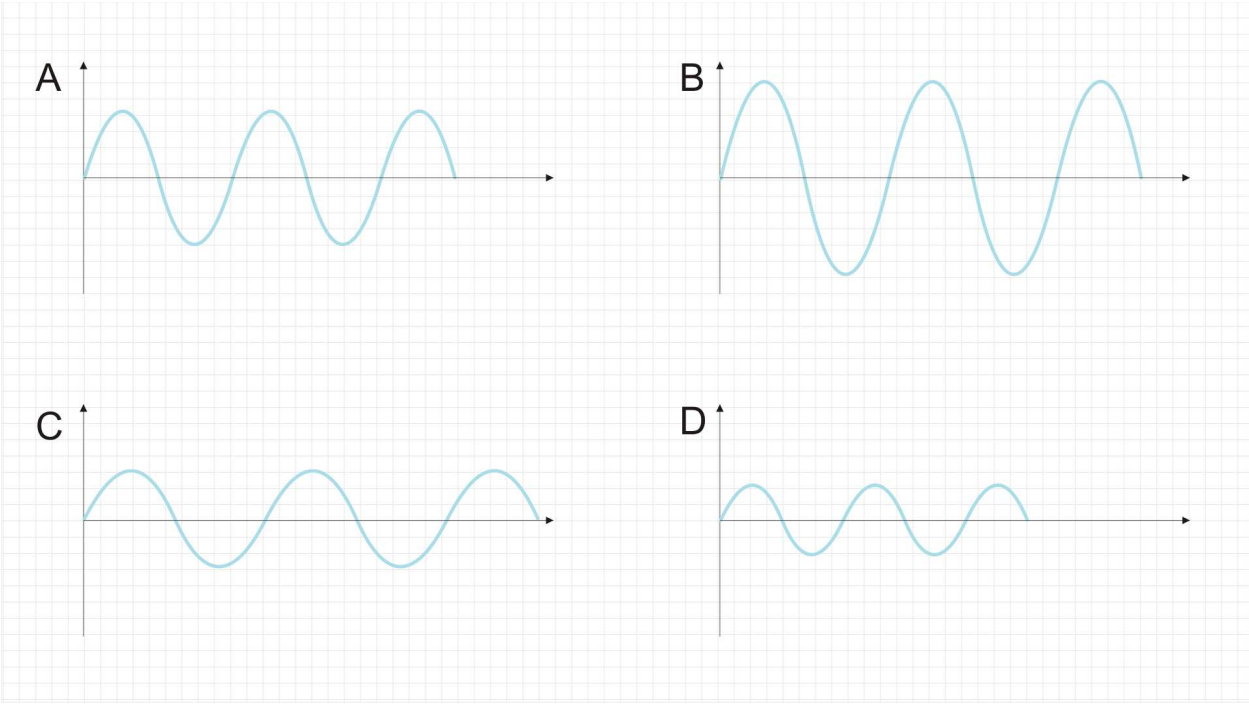


Źródło: ContentPlus, licencja: CC BY 3.0.

Uzupełnienie...

Przykład 2

Poniższe rysunki przedstawiają wykresy fal dźwiękowych. Uporządkuj je od najcichszego do najgłośniejszego.



Źródło: ContentPlus, licencja: CC BY 3.0.

Rozwiązanie:
Aby rozwiązać to zadanie, zwracamy uwagę **wyłącznie** na amplitudę fali. Największa amplituda to dźwięk najgłośniejszy. Inne cechy fali (na przykład okres) nie mają wpływu na poziom natężenia dźwięku. Najcichszy dźwięk przedstawia fala z rysunku D. Kolejno są to: C, A, B.

3. Barwa dźwięku

Jeszcze jedną ważną cechą dźwięku jest jego barwa. **Barwa dźwięku** zależy od tego, jak złożone są drgania jego źródła, i pozwala nam odróżniać instrumenty muzyczne czy też śpiewające (mówiące) osoby, nawet jeśli wysokość emitowanych dźwięków jest taka sama. Posłuchaj, jak brzmi dźwięk $a^1 (440\ \mathrm{Hz})$ zagrany na różnych instrumentach muzycznych.

Zasób interaktywny dostępny pod adresem https://zpe.gov.pl/a/D1COrWyO7

Źródło: Autor, licencja: CC BY 3.0.

4. Prędkość dźwięku

Podobnie jak wszystkie fale, również fale dźwiękowe rozchodzą się w ośrodku materialnym ze skończoną prędkością zależną od właściwości tego ośrodka. Generalnie możemy powiedzieć, że prędkość dźwięku rośnie wraz ze wzrostem sprężystości ośrodka. Poniżej prezentujemy przykładowe prędkości dźwięku w kilku wybranych ośrodkach.

Prędkość dźwięku w różnych ośrodkach

Ośrodek	**prędkość** $\left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right]$
powietrze (0°C)	330
powietrze (20°C)	340
powietrze (50°C)	360
woda (0°C)	1 400
woda (25°C)	1 500
cegła	3 600
lód	3 800

Ośrodek	**prędkość** $\left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right]$
kości	4 000
stal	6 000
diament	18 000

Podsumowanie

- Dźwiękami nazywamy fale wytworzone przez ciała drgające z częstotliwością z zakresu od 16 Hz do 20 kHz. Podany zakres ma charakter umowny, w rzeczywistości jest cechą indywidualną każdego człowieka.
- Dźwięk może być zarejestrowany przez ludzkie ucho, jeśli energia niesiona przez falę dźwiękową jest większa od **progu słyszalności**, a mniejsza od **granicy bólu**.
- Podstawowymi cechami dźwięku są:
    - **wysokość** – związana z częstotliwością fali: wyższy dźwięk – większa częstotliwość;
    - **głośność** – związana z amplitudą fali: większa amplituda – głośniejszy dźwięk;
    - **barwa*** – związana ze złożonością drgań źródła fali, pozwala rozróżniać brzmienie różnych instrumentów.

Praca domowa

> **Polecenie 4.1**
>
> W programie koncertu muzyki klasycznej napisano między innymi, że wystąpi Pani A. X – sopranistka oraz Pan B. Y – tenor. Która z tych osób będzie emitować dźwięki o większej częstotliwości? Jeśli masz wątpliwości sprawdź, czym różni się sopran od tenoru.

> **Polecenie 4.2**
>
> Napisz krótki tekst (ok. 150 słów) na temat szkodliwości hałasu. W swojej wypowiedzi poprawnie użyj takich terminów jak: głośność dźwięku, decybel, narząd słuchu, granica bólu, dźwięki wysokie, dźwięki niskie.

Polecenie 4.3

Ile razy więcej energii w jednostce czasu dociera do ucha słyszącego dźwięk startującego odrzutowca w porównaniu z progiem słyszalności?

Słowniczek

granica bólu

– maksymalna wartość energii fali dźwiękowej (w jednostce czasu) możliwa do zarejestrowania przez ludzkie ucho; po jej przekroczeniu następuje bolesne uszkodzenie narządu słuchu; umowna szacunkowa wartość to $10\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2}$.

natężenie dźwięku

– wielkość fizyczna związana z energią transportowaną przez falę w jednostce czasu, jednostką jest $\left[\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2}\right]$.

poziom natężenia dźwięku

– wielkość fizyczna związana z wrażeniem **natężenia** dźwięku, utworzona przez porównanie natężenia danego dźwięku z **progiem słyszalności**. Jednostką jest bel $(1\ \mathrm{B})$, choć częściej używana jest jego podwielokrotność – decybel $(1\ \mathrm{dB})$. Wyrażony w tej skali próg słyszalności to $0\ \mathrm{dB}$, a granica bólu to $130\ \mathrm{dB}$.

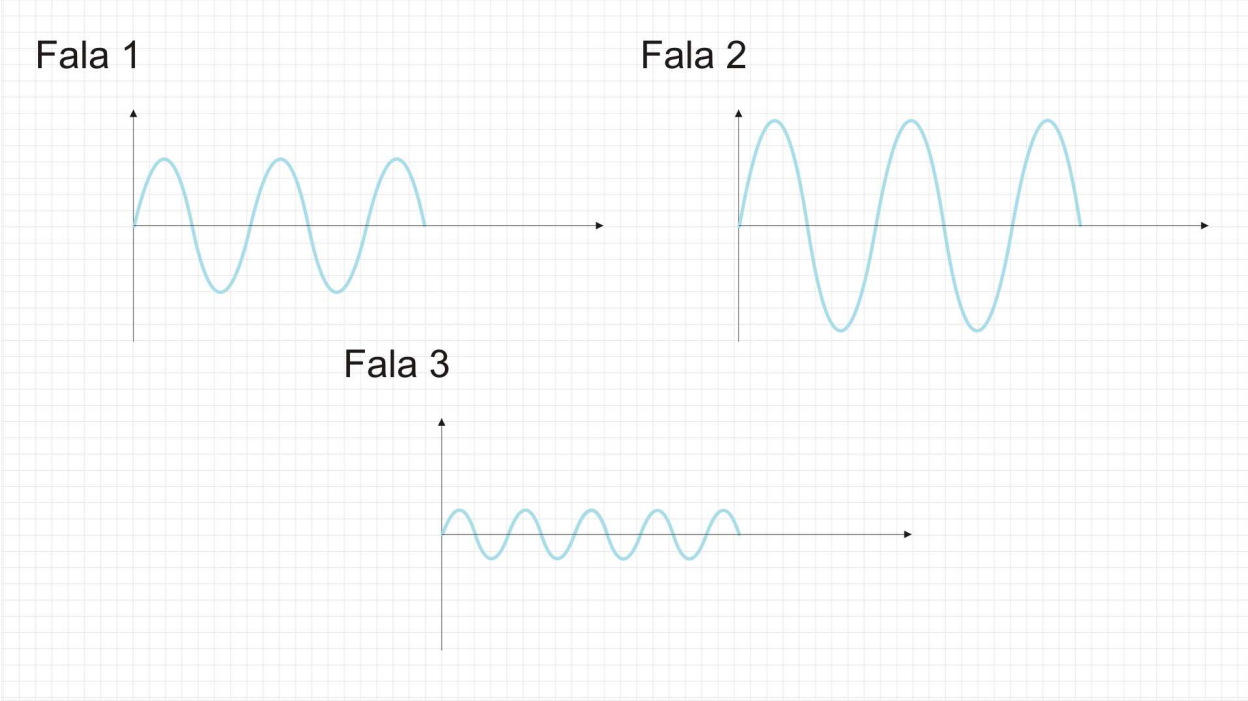
próg słyszalności

– minimalna energia fali dźwiękowej w jednostce czasu, potrzebna do wprawienia w drgania błony bębenkowej ludzkiego ucha. Jej liczbowa wartość zależy od częstotliwości dźwięku i dla $1\ \mathrm{kHz}$ umownie przyjęto $10^{-12}\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2}$; w rzeczywistości jest indywidualną cechą każdego człowieka.

wysokość dźwięku

– wielkość charakteryzująca dźwięk i związana z częstotliwością fali dźwiękowej; większa częstotliwość to wyższy dźwięk.

Zadania podsumowujące rozdział



Źródło: ContentPlus, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 1.1

Rysunek przedstawia fale odpowiadające różnym dźwiękom.
Wskaż tę, która odpowiada dźwiękowi o największym natężeniu (najgłośniejszemu) i tę, która odpowiada dźwiękowi o największej wysokości.

- ◯ najgłośniejszy dźwięk – fala 3
  najwyższy dźwięk – fala 2
- ◯ najgłośniejszy dźwięk – fala 1
  najwyższy dźwięk – fala 2
- ◯ najgłośniejszy dźwięk – fala 1
  najwyższy dźwięk – fala 3
- ◯ najgłośniejszy dźwięk – fala 3
  najwyższy dźwięk – fala 1
- ◯ najgłośniejszy dźwięk – fala 2
  najwyższy dźwięk – fala 3
- ◯ najgłośniejszy dźwięk – fala 2
  najwyższy dźwięk – fala 1

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

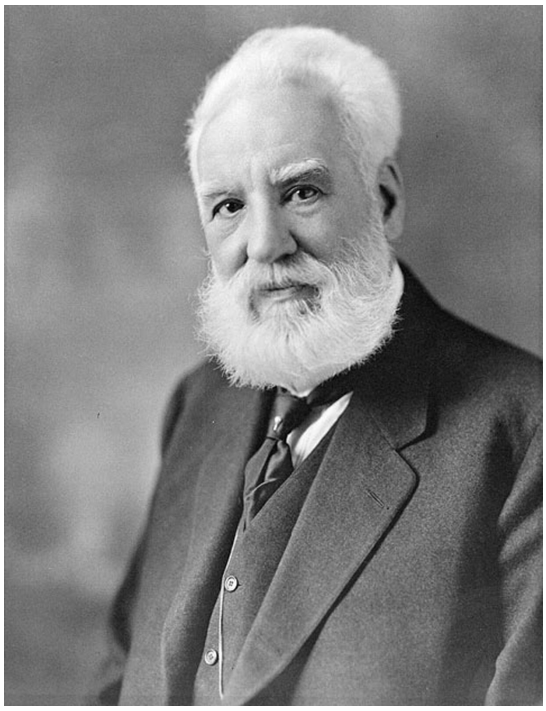
Ćwiczenie 2

Oceń, które ze zdań o falach dźwiękowych jest prawdziwe, a które fałszywe.

	Prawda	Fałsz
Dźwięk o częstotliwości 500 Hz jest wyższy od dźwięku o częstotliwości 5 kHz.	◯	◯
Jeśli jakiś dźwięk słyszymy jako głośniejszy od innych, to znaczy, że amplituda fali dźwiękowej jest większa.	◯	◯
Dźwięk o poziomie natężenia 20 dB ma natężenie 100 razy większe od progu słyszalności.	◯	◯
Wysokość dźwięku mierzymy w decybelach.	◯	◯
Prędkość dźwięku jest nieograniczona.	◯	◯
Prędkość dźwięku we krwi jest taka sama jak w kości.	◯	◯
Prędkość dźwięku we krwi jest mniejsza niż w kości.	◯	◯
Sygnał alarmowy ma częstotliwość zbliżoną do 1 kHz, ponieważ ucho ludzkie jest najbardziej wrażliwe na takie częstotliwości.	◯	◯
Pisk to dźwięk o większej częstotliwości niż stukot.	◯	◯
Wszyscy zdrowi ludzie słyszą dźwięki o częstotliwości od 16 Hz do 20 kHz.	◯	◯

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Biogram



Źródło: Dbenbenn (https://commons.wikimedia.org), public domain.

Alexander Graham Bell

3.03.1847–2.08.1922

Wynalazca telefonu i kilkudziesięciu innych wynalazków telekomunikacyjnych. Z zawodu był logopedą i nauczycielem muzyki. Graham Bell był też współzałożycielem dwóch znanych czasopism *Science* i *National Geographic*. Na jego cześć nazwano jednostkę miary poziomu natężenia dźwięku – bel (1 B). W 1912 IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers – międzynarodowy Instytut Inżynierów Elektryków i Elektroników) uhonorował go Medalem Edisona za wybitne osiągnięcia przy wynalezieniu telefonu.

Fale stojące. Mechanizm wytwarzania dźwięku w instrumentach muzycznych

Zostać wirtuozem gitary, skrzypiec, fortepianu – wielu ma takie marzenia. Każdy wirtuoz musi jednak zrobić pierwszy krok i dowiedzieć się, jak na wybranym instrumencie wytworzyć dźwięk o odpowiedniej wysokości, zgodnie z zapisem nutowym.

Elementem generującym dźwięk w fortepianie nie są bynajmniej klawisze, lecz struny rozpięte na stalowej ramie, uderzane młoteczkami obciągniętymi filcem. Jednak odpowiednie rozwiązania konstrukcyjne sprawiają, że dynamika uderzenia palca w klawisz jest przenoszona na dynamikę uderzenia młoteczka w strunę

Już potrafisz

- podawać definicję fali oraz fal harmonicznych;
- posługiwać się wielkościami opisującymi fale: amplituda fali, okres i częstotliwość fali, długość i prędkość fali;
- wymieniać cechy dźwięku: wysokość dźwięku, głośność i barwa dźwięku;
- podać związek cech dźwięku z wielkościami fizycznymi charakterystycznymi dla drgań i fal.

Nauczysz się

- opisywać falę stojącą i nazywać jej charakterystyczne elementy;
- opisywać mechanizm wytwarzania dźwięków w instrumentach muzycznych;
- wytwarzać dźwięki o większej i mniejszej częstotliwości od wskazanego dźwięku wzorcowego za pomocą instrumentu muzycznego lub dowolnego układu drgającego.

1. Fale stojące.

Dźwięk jest zjawiskiem złożonym. Fizyk, który chce wyjaśnić mechanizm powstawania dźwięku w instrumentach muzycznych, stoi przed trudnym wyzwaniem. Przede wszystkim jednak musi znać i rozumieć pojęcie fali stojącej. W celu jego przybliżenia zaczniemy od przeprowadzenia doświadczenia.

Doświadczenie 1

Wytworzenie fali stojącej na sznurze zamocowanym na jednym końcu.

Co będzie potrzebne

- elastyczny sznur (może być gumowy);
- solidnie zamocowany w ścianie hak lub inny element, do którego możemy przywiązać sznur. Najlepiej, aby uchwyt był na wysokości łokcia eksperymentatora.

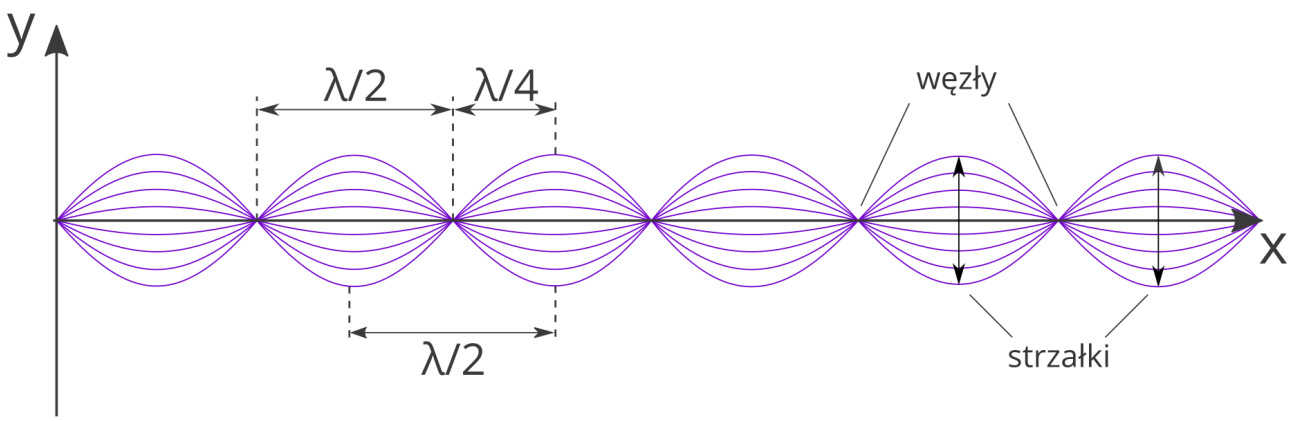
Instrukcja

1. Przywiąż solidnie jeden koniec sznurka do uchwytu na ścianie.
2. Chwyć drugi koniec sznura i odsuń się od ściany na odległość równą długości sznurka; sznurek powinien być rozciągnięty w kierunku poziomym.
3. Potrząsaj rytmicznie trzymanym końcem sznurka, zmieniaj częstotliwość ruchu i dobierz ją tak, aby uzyskać efekt podobny do tego na zdjęciu.
4. Zwiększ częstotliwość ruchu ręki i ponownie poszukaj takiej sytuacji, gdy drgania sznura ustabilizują się.

Źródło: Tomorrow Sp. z o.o., licencja: CC BY 3.0.

Podsumowanie

Zaobserwowany efekt nosi nazwę fali stojącej. Wprawiając w drgania koniec sznura, wzbudzaliśmy w nim falę. Fala ta, docierając do umocowanego końca sznura, odbijała się. W ten sposób wzdłuż sznura biegły dwie fale: jedna od eksperymentatora, a druga do eksperymentatora. Fale te nakładały się na siebie. Przy niektórych, wybranych częstotliwościach wynik ich nakładania się wyglądał tak, jakby żadna fala nie biegła wzdłuż sznura, tylko niektóre jego elementy drgały z maksymalną amplitudą, inne z mniejszą, a niektóre nie drgały wcale.
Poniższy rysunek przedstawia schematycznie uzyskaną falę stojącą.



Źródło: Krzysztof Jaworski, licencja: CC BY 3.0.

Fala stojąca ma charakterystyczne dla siebie elementy:

- **węzły** (na rysunku oznaczone literą W) – są to te miejsca ośrodka (sznurka), które nie drgają (amplituda drgań jest równa zero);
- **strzałki** (na rysunku oznaczone literą S) – są to te miejsca ośrodka (sznurka), które drgają z maksymalną amplitudą.

Odległość między węzłem a sąsiednią strzałką jest równa ¼ długości fali biegnącej w sznurze, natomiast dwa sąsiednie węzły lub dwie sąsiednie strzałki oddalone są o ½ długości fali biegnącej w ośrodku.
Zwróć uwagę, że w naszym przykładzie (eksperyment z początku tego rozdziału) w miejscu, gdzie sznur był umocowany, zawsze powstawał węzeł, natomiast w miejscu pobudzanym do drgań tworzyła się strzałka.
Zatem najdłuższa fala, jaka mogła powstać w naszym sznurze, miała jeden węzeł i jedną strzałkę. Jej kształt pokazuje poniższy rysunek.

Źródło: Krzysztof Jaworski, licencja: CC BY 3.0.

Największej długości fali w przeprowadzonym przez nas doświadczeniu ze sznurem odpowiada najmniejsza częstotliwość drgań, przy której udało się uzyskać falę stojącą. Tę częstotliwość nazywamy częstotliwością podstawową. Zwróć uwagę, że największa długość fali (a tym samym najmniejsza częstotliwość fali) związana jest z długością sznura ($\lambda = 4L$).

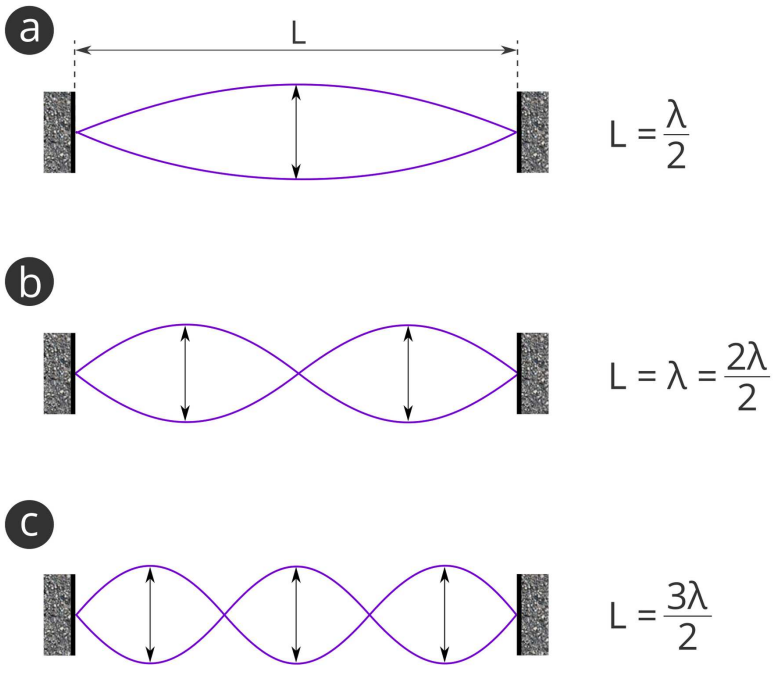
> **Polecenie 1**
>
> Odległość między sąsiednimi strzałkami w pewnej fali stojącej wynosi 40 cm. Oblicz długość fali biegnącej w ośrodku, w którym powstała fala stojąca.

2. Instrumenty strunowe.

Instrumentem muzycznym możemy nazwać każdy przedmiot, który wytwarza dźwięk, a ten dźwięk wykorzystywany jest do tworzenia muzyki. Ponieważ źródłem dźwięków są ciała drgające, to elementem zasadniczym każdego instrumentu muzycznego musi być ciało, które drga z odpowiednią częstotliwością. Tym ciałem może być struna w instrumentach strunowych lub słup powietrza w instrumentach dętych, membrana głośnika lub bębna, sprężysta blaszka w pozytywkach lub cymbałkach itp.

W nauce o instrumentach muzycznych wprowadza się różnego rodzaju podziały i systematykę. W e-podręczniku ograniczono się do opisania dwóch popularnych typów instrumentów, czyli strunowych i dętych.

Elementem drgającym w instrumentach strunowych jest struna – sprężysty drut, włókno sztuczne lub naturalne itp. Struna jest zamocowana na obu końcach. Można pobudzać ją do drgań w różny sposób: szarpiąc (jak w gitarze), uderzając młoteczkiem (jak w fortepianie) lub pocierać smyczkiem (jak w skrzypcach). Niezależnie od sposobu pobudzenia do drgań, w strunie powstaje fala stojąca z węzłami w miejscach zamocowania. Symboliczny obraz takiej fali stojącej pokazuje poniższy rysunek.



Źródło: Krzysztof Jaworski, licencja: CC BY 3.0.

Oznacza to, że najdłuższa fala, jaka może powstać w strunie, składa się z dwóch węzłów i jednej strzałki. Długość takiej fali jest dwa razy większa od długości struny ($\lambda = 2L$).

Ponieważ z najdłuższą falą stojącą w strunie związana jest jej częstotliwość podstawowa, możemy powiedzieć, że krótsza struna drga z większą częstotliwością podstawową i wydaje dźwięk wyższy.
Można łatwo się o tym przekonać, mając do dyspozycji gitarę lub inny instrument strunowy. Jeśli najpierw pobudzimy do drgań całą strunę, a następnie skrócimy drgającą część struny,

przyciskając ją w jakimś miejscu na gryfie (progu), to dźwięk uzyskany w drugim przypadku będzie wyższy od pierwszego.

Mówimy tu o jednej i tej samej strunie. Częstotliwość dźwięku zależy bowiem również od grubości struny: grubsza (masywniejsza) struna wydaje dźwięk niższy niż cienka struna o tej samej długości. Dodatkowo możemy wpływać na wysokość dźwięku emitowanego przez strunę, zmieniając jej naciąg. Dzieje się tak przy strojeniu instrumentu.

W strunie oprócz fali podstawowej może powstawać jednocześnie kilka innych fal stojących o większej częstotliwości. Takie dodatkowe fale stojące nazywane są alikwotami lub składowymi harmonicznymi. Wirtuozi instrumentów strunowych wykorzystują je do wykonywania flażoletów.

> **Polecenie 2**
>
> Jeśli grasz na gitarze, wykonaj flażolety i wyjaśnij, na czym polega to zjawisko. Jeśli sam nie grasz na instrumentach, poproś kolegę lub koleżankę o zademonstrowanie tego efektu w klasie.

3. Instrumenty dęte (piszczałki)

Czynnikiem, który w każdym instrumencie dętym odpowiada za powstawanie dźwięku, jest słup powietrza ograniczony elementami konstrukcyjnymi instrumentu. Dla uproszczenia taki „element roboczy” będziemy nazywać piszczałką. Piszczałki mogą być otwarte lub zamknięte.
Zbudujmy piszczałkę zamkniętą, wykorzystując zwykłą probówkę.

Doświadczenie 2

Wytworzenie dźwięku w piszczałce zamkniętej.

Co będzie potrzebne

- probówka o długości 15cm;
- woda;
- alternatywnie: mikrofon i komputer z programem „Oscyloskop”.

Instrukcja

1. Do probówki wlej nieco wody, tak aby słup powietrza powyżej poziomu wody wynosił około 12 cm.
2. Dmuchnij energicznie nad górną krawędzią probówki – probówka wyda dźwięk.
3. Zwróć uwagę na wysokość dźwięku. Jeśli dysponujesz komputerem i mikrofonem, obserwuj wskazania oscyloskopu i zanotuj częstotliwość sygnału zarejestrowanego przez mikrofon.
4. Dolej wody do probówki, zmniejszając długość słupa powietrza do około 8 cm i ponownie „zagraj” na takiej piszczałce. Obserwuj wysokość dźwięku wydawanego przez piszczałkę.
5. Ponownie dolej wody do probówki, skracając słup powietrza i ponownie zagraj na piszczałce.

Podsumowanie

Słup powietrza w probówce nad powierzchnią wody wydawał dźwięk. Wysokość (częstotliwość) tego dźwięku zależała od długości słupa powietrza w probówce.

Polecenie 3

Zapisz, jak zmieniała się (rosła czy malała) wysokość dźwięku emitowanego przez piszczałkę, gdy jej długość malała.

Piszczałka wydawała dźwięk. Oznacza to, że słup powietrza w probówce drgał i powstała w nim fala stojąca. Tuż nad powierzchnią wody utworzył się węzeł, a u wylotu probówki – strzałka.

A jak wyglądają drgania słupa powietrza w piszczałce otwartej? Zostało to dokładnie opisane w poniższym filmie.

Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

Źródło: Tomorrow Sp.z o.o., licencja: CC BY 3.0.

Film przedstawia drgania pyłu korkowego rozsypanego w szklanej rurze w chwili, gdy w tej rurze powstaje akustyczna fala stojąca.

W profesjonalnych instrumentach dętych też są piszczałki. Różnią się one sposobem pobudzania do drgań zawartego w nich słupa powietrza oraz materiałem, z którego je wykonano. Może to być drewno w instrumentach dętych drewnianych lub metal w instrumentach blaszanych. Wszystko to wpływa na barwę dźwięku, ale nie wpływa na częstotliwość podstawową dźwięku: ta zależy tylko od długości piszczałki.

Ciekawostka

Wysokość dźwięku zależy tylko od długości piszczałki pod warunkiem, że piszczałka wypełniona jest powietrzem. Gdyby wypełnić piszczałkę innym gazem, wysokość dźwięku zmieniłaby się bez zmiany rozmiarów instrumentu, ale to nie jest przedmiotem rozważań w tym podręczniku. Zainteresowanych odsyłamy do innych źródeł.

Ćwiczenie 1

Które z poniższych twierdzeń jest prawdziwe, a które fałszywe?

	Prawda	Fałsz
Fala stojąca to fala, w której cząsteczki ośrodka nie wykonują drgań.	◯	◯
Każdy przedmiot wydający dźwięk może być instrumentem muzycznym.	◯	◯
Węzeł i strzałka to charakterystyczne elementy fali stojącej.	◯	◯
Węzeł to takie miejsce, w którym cząsteczki ośrodka drgają z maksymalna amplitudą.	◯	◯
Dłuższa piszczałka wydaje dźwięk o większej częstotliwości.	◯	◯
Struna wydaje dźwięk o częstotliwości 600 Hz. Aby uzyskać dźwięk o częstotliwości 800 Hz, należy zmniejszyć długość struny.	◯	◯

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

* Rezonator...

Podsumowanie

- Podstawowym elementem instrumentu muzycznego jest ciało drgające: struna, słup powietrza, membrana itp.
- W drgających elementach instrumentów (strunach, słupach powietrza, membranach) powstają fale stojące.
- Fale stojące są wynikiem nałożenia się fal biegnących w przeciwne strony i składają się z:
    - węzłów – miejsc, w których elementy ośrodka nie drgają;
    - strzałek – miejsc, gdzie amplituda drgań elementów ośrodka jest maksymalna.
- Odległość dwóch sąsiednich węzłów równa jest połowie długości fali biegnącej w ośrodku.
- Wysokość (częstotliwość) dźwięku emitowanego przez instrument zależy od najdłuższej (podstawowej) fali, jaka może powstać w elemencie drgającym, a ta związana jest z wielkością tego elementu.

- W instrumentach dętych większej długości piszczałki odpowiada mniejsza częstotliwość podstawowa, a tym samym niższy dźwięk.
- W instrumentach strunowych wysokość dźwięku zależy od:
    - długości struny; większa długość – niższy dźwięk,
    - grubości struny; cieńsza struna – wyższy dźwięk,
    - naciągu struny; większa siła naciągu – wyższy dźwięk.

Praca domowa

Polecenie 4.1

Zamocowana z obu końców struna ma długość $60\ \mathrm{cm}$, a dźwięk rozchodzi się w niej z prędkością o wartości $5\,\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{s}}$. Oblicz częstotliwość podstawową powstającego dźwięku oraz długość wytworzonej fali dźwiękowej w powietrzu. Prędkość dźwięku w powietrzu przyjmij równą $340\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$.

Polecenie 4.2

Bardzo popularnym dziś instrumentem muzycznym jest syntezator. Skorzystaj z dostępnych Ci źródeł informacji i odpowiedz na pytanie: co jest elementem drgającym w tym instrumencie oraz od czego zależy wysokość dźwięku emitowanego przez ten instrument?

Słowniczek

częstotliwość podstawowa

– najmniejsza możliwa częstotliwość fali stojącej powstającej w ośrodku (strunie lub słupie powietrza) o długości L. Jej wartość zależy od L.

fala stojąca

– efekt nałożenia się fali biegnącej ze źródła i odbitej w danym ośrodku. Nie obserwuje się w niej przesuwania się grzbietów i dolin fali; charakterystycznymi elementami są węzły (miejsca wygaszenia drgań) i strzałki (miejsca, gdzie drgania mają maksymalną amplitudę).

rezonator

– element instrumentu muzycznego służący do wzmacniania dźwięku, na przykład pudło rezonansowe gitary czy fortepianu.

Zadania podsumowujące rozdział

Ćwiczenie 2.1

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 3

Która z wymienionych czynności doprowadzi do zwiększenia wysokości dźwięku emitowanego przez gitary?

- [ ] Wybranie grubszej struny o tej samej długości.
- [ ] Skrócenie struny.
- [ ] Zwiększenie naciągu struny.
- [ ] Mocniejsze szarpnięcie struny.
- [ ] Wydłużenie struny.
- [ ] Wybranie cieńszej struny o tej samej długości.
- [ ] Zmniejszenie naciągu struny.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ultradźwięki i infradźwięki

Czy zwierzęta słyszą takie same dźwięki jak ludzie? Czy badanie USG ma coś wspólnego z fizyką?

Ultradźwięki niesłyszalne przez człowieka są rejestrowane przez wiele gatunków zwierząt. Większość nietoperzy wykorzystuje je do echolokacji, choć ze względu na słabe roznoszenie się ultradźwięków w powietrzu zasięg tego „powietrznego sonaru" jest krótki. U występującego w Polsce gacka szarego wynosi on do trzech metrów

Już potrafisz

- podać zakres częstotliwości drgań mechanicznych, na które reaguje ludzkie ucho (od 20 Hz do 20 kHz);
- wykazać, że fale dźwiękowe przenoszą energię;
- uzasadnić twierdzenie, że fale dźwiękowe rozchodzą się z prędkością zależną od ośrodka.

Nauczysz się

- podawać definicje fal ultradźwiękowych i infradźwiękowych;
- wymieniać przykłady źródeł tych fal w naturze;
- podawać przykłady urządzeń generujących różne rodzaje fal;
- opisywać przykłady zastosowań ultra- i infradźwięków.

1. Infradźwięki

Infradźwiękami (poddźwiękami) nazywamy fale mechaniczne o częstotliwości mniejszej od 16 Hz. Ich źródłem są wszystkie ciała drgające z częstotliwością od 1 Hz do 16 Hz. Przykładem jest sprężysta blaszka lub drgający pręt anteny samochodowej.

Naturalne źródła infradźwięków.
Emisja fal infradźwiękowych o dużym natężeniu towarzyszy takim zjawiskom, jak trzęsienia ziemi, erupcja wulkanów, zorze polarne, fale oceaniczne, huraganowy wiatr, czy opadanie mas wody z dużych wodospadów.

Źródło: mmrascally (https://pixabay.com), licencja: CC0.

Źródło: File Upload Bot (https://commons.wikimedia.org), licencja: CC BY NC SA 3.0.

Źródło: Richard Bartz, http://commons.wikimedia.org), licencja: CC BY 2.0.

Najpotężniejsza erupcja wulkanu w czasach historycznych (w 1883 r.) to wybuch wulkanu na wyspie Krakatau, położonej między wyspami Sumatra i Jawa. Oprócz infradźwięków był emitowany także dźwięk słyszalny, a w odległości 160 km od centrum wybuchu poziom natężenia dźwięku wynosił 180 decybeli. Odgłos wybuchu był słyszalny z odległości ponad 4000 km.

Sztuczne źródła infradźwięków wytworzone przez człowieka.
Ze zjawiskiem infradźwięków można spotkać się też w niektórych dużych biurowcach

i innych budowlach przemysłowych. Ich źródłem są maszyny i urządzenia, a swoistymi wzmacniaczami przewody wentylacyjne i klimatyzacyjne.
Emisja infradźwięków towarzyszy drganiom mostów, pracy elektrowni wiatrowych, pracy silników odrzutowych, eksplozjom.

Właściwości infradźwięków.
Infradźwięki bardzo dobrze rozchodzą się w powietrzu, i to na duże odległości, bez wielkich zmian ich natężenia. Ich prędkość jest taka sama jak fal dźwiękowych. Niestety, nie tłumią ich (lub tłumią słabo) ekrany akustyczne, a ich obecność w naszym otoczeniu nazywa się **hałasem niskoczęstotliwościowym lub niskotonowym**.

Ludzie nie słyszą infradźwięków, ale je odczuwają. Ich działanie na organizm jest nieprzyjemne, a przy dużych natężeniach wręcz niebezpieczne. Wywołują uczucie lęku i niepokoju, mdłości, bóle głowy, zaburzają zmysł równowagi. Ze względu na niemożność budowania osłon przed ich działaniem, wzbudzają zainteresowanie techników wojskowych (broń akustyczna), a badania nad ich właściwościami są często utajnione.

Infradźwięki są słyszalne przez niektóre zwierzęta, które porozumiewają się za ich pośrednictwem, i to na duże odległości. Do takich zwierząt należą między innymi żyrafy, słonie czy wieloryby.

Źródło: cocoparisienne (https://pixabay.com), licencja: CC0.

Źródło: Gregory "Slobirdr" Smith (https://www.flickr.com), licencja: CC BY 2.0.

2. Ultradźwięki

Ultradźwięki (inaczej naddźwięki) – fale mechaniczne o częstotliwości większej od 20 tysięcy herców. Ich źródłem są ciała drgające z częstotliwościami z zakresu od 20 kHz do 1 GHz. Mogą to być odpowiednie krótkie struny, pręty czy piszczałki.

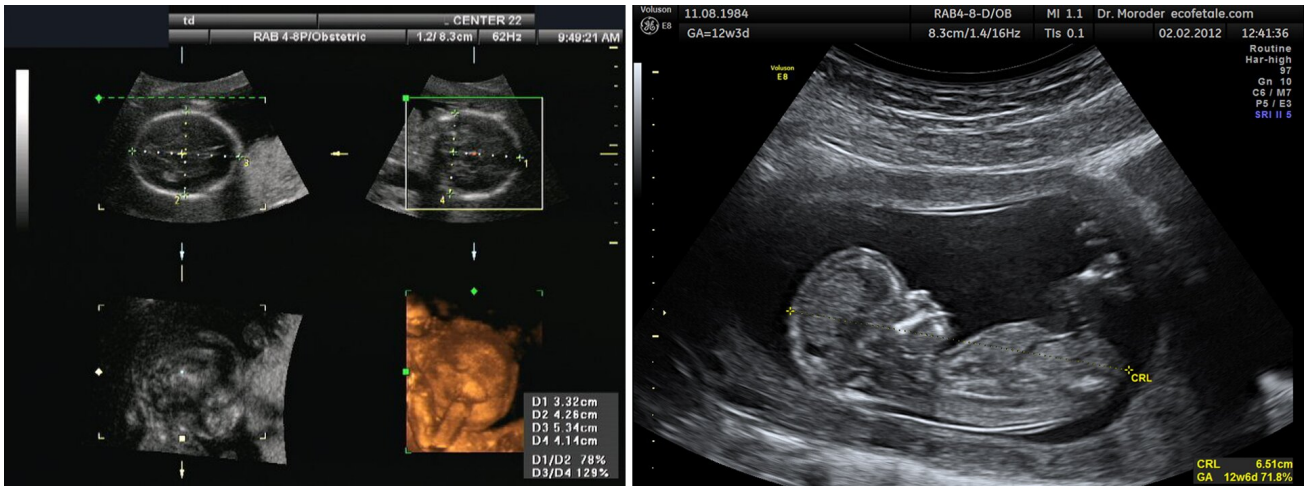
Naturalne źródła ultradźwięków.
Ultradźwięki są wytwarzane i rejestrowane przez niektóre zwierzęta. Najbardziej znane to nietoperze i delfiny. Wykorzystują one te fale do echolokacji: wysyłają serię impulsów ultradźwiękowych w kierunku przeszkody i rejestrują fale odbite. Na tej podstawie mogą ocenić odległość do przeszkody, jej kształt i wielkość. Detektor ultradźwięków pełni u tych zwierząt rolę dodatkowego zmysłu, dzięki któremu mogą one nawet „zobaczyć", w którą stronę i jak szybko się porusza się ich zdobycz.

Źródła ultradźwięków wytworzone przez człowieka.
Aby wytworzyć ultradźwięki, należy mały przedmiot wprawić w drgania o bardzo dużej częstotliwości. Główna różnica w budowie głowic ultradźwiękowych polega na sposobie pobudzania do drgań odpowiednich małych blaszek, prętów lub kryształów. Można to robić mechanicznie, za pomocą zmiennego napięcia elektrycznego (odwrócony efekt piezoelektryczny), zmiennego pola magnetycznego (magnetostrykcja) lub światła laserowego (metoda optyczna).

Właściwości ultradźwięków.
Ze względu na małą długość fali ultradźwięki są szybko tłumione w powietrzu, natomiast bardzo dobrze rozchodzą się w wodzie. Silnie odbijają się na granicy dwóch ośrodków. Dają się łatwo i precyzyjnie ogniskować (skupiać), tworząc cienką wiązkę (promień).
Ultradźwięki o dużym natężeniu mogą niszczyć lub nagrzewać przedmioty, przez które są pochłaniane.

Zastosowanie ultradźwięków.
Ultradźwięki znalazły liczne zastosowania w różnych dziedzinach życia:

- w diagnostyce medycznej – w ultrasonografach;

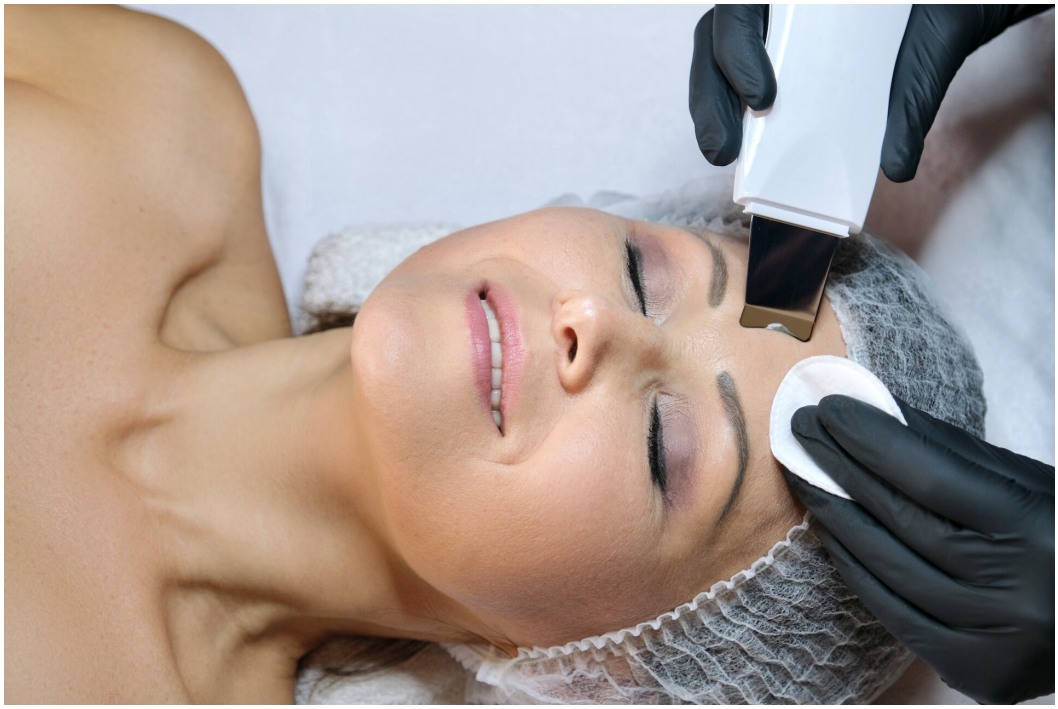


Źródło: DuBose (https://commons.wikimedia.org), Moroder (https://commons.wikimedia.org), Krzysztof Jaworski, licencja: CC BY-SA 3.0.

- w rehabilitacji medycznej (fizykoterapia);

Fizykoterapia.
Źródło: Bruno / Pixabay, Licencja niewyłączna.

- w kosmetologii;



U kosmetyczki
Źródło: © Valerii_Honcharuk / Photogenica, Licencja niewyłączna.

- w technice (np. w myjce ultradźwiękowej).

Źródło: Emmanuel Gilloz (https://www.flickr.com), Hans (https://pixabay.com), licencja: CC BY-SA 2.0.

Najbardziej znanym przykładem zastosowania ultradźwięków w medycynie jest ultrasonografia (USG). Jak wspomnieliśmy, fala ulega odbiciu na granicy dwóch ośrodków. Ośrodki te różnią się gęstością i prędkością rozchodzenia się dźwięków. Ponieważ różne organy w ciele człowieka mają różne wartości prędkości i gęstości, to fala ultradźwiękowa odbija się częściowo od granicy ośrodków i jest rejestrowana przez sondę. Fala przenika dalej w głąb danego organu i ulega znowu częściowemu odbiciu od następnej granicy. Kolejne odbite impulsy są rejestrowane i dają obraz wewnętrznej budowy ciała człowieka. Wiele osób zastanawia się, czemu służy żel, którym smaruje się powierzchnię skóry przed badaniem USG. Powodem tego jest to, że w powietrzu fala rozchodzi się z zupełnie inną

prędkością niż w skórze i ulegałaby bardzo silnemu odbiciu od powierzchni skóry. Żel ma prędkość rozchodzenia się dźwięków zbliżoną do prędkości w skórze, odbicie jest znikome i fala może wejść w głąb organizmu. Warto podkreślić, że częstotliwość drgań podczas przechodzenia przez różne ośrodki nie zmienia się. Zmienia się natomiast długość fali związana z wartością prędkości, z jaką fala się rozchodzi w danym środowisku.

Podsumowanie

- Infradźwiękami nazywamy fale mechaniczne o częstotliwości mniejszej od 16 Hz.
- Źródłem infradźwięków w naturze są: grzmoty, trzęsienia ziemi, erupcje wulkanów, wodospady, wiatr, zorze polarne.
- W budynkach infradźwięki mogą powstawać w przewodach wentylacyjnych oraz w wyniku drgań różnych maszyn i urządzeń biurowych.
- Infradźwięki mają niekorzystny wpływ na organizm człowieka.
- Ultradźwięki to fale mechaniczne o częstotliwości większej niż 20 kHz.
- Ultradźwięki są wytwarzane i rejestrowane przez niektóre zwierzęta.
- Ultradźwięki sztucznie wytworzone w generatorach ultradźwiękowych znalazły liczne zastosowania w diagnostyce medycznej (USG), fizykoterapii, w technice (sonary) i nauce.
- Infradźwięki i ultradźwięki nie są rejestrowane przez ludzkie ucho, ale mogą być rejestrowane przez niektóre zwierzęta.

Praca domowa

Polecenie 1.1

Wyszukaj i opisz trzy zastosowania ultradźwięków, o których nie napisano w tym rozdziale.

Polecenie 1.2

Wymień co najmniej trzy źródła infradźwięków, o których nie napisano w tym rozdziale.

Polecenie 1.3

Podczas przechodzenia fali przez różne ośrodki częstotliwość dźwięku nie zmienia się. Dlaczego tak się dzieje? Zastanów się, dlaczego fala rozchodzi się w następnym ośrodku po dotarciu do niego fali z pierwszego ośrodka, i uzasadnij, dlaczego częstotliwość nie ulega zmianie przy zmianie ośrodka. Jak zmieni się prędkość fali po przejściu do drugiego ośrodka? Od czego zależy to, czy wzrośnie czy zmaleje?

Zadania podsumowujące rozdział

Ćwiczenie 1

Z trzech sygnałów akustycznych o różnych częstotliwościach wskaż, który jest infradźwiękiem, ultradźwiękiem, a który dźwiękiem słyszalnym.
Sygnał I – 3kHz, sygnał II – 3MHz, sygnał III – 3Hz

- [ ] ultradźwięk – sygnał II
- [ ] infradźwięk – sygnał II
- [ ] ultradźwięk – sygnał III
- [ ] infradźwięk – sygnał III
- [ ] dźwięk słyszalny – sygnał I
- [ ] dźwięk słyszalny – sygnał III
- [ ] dźwięk słyszalny – sygnał II
- [ ] infradźwięk – sygnał I

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 2

Które z poniższych twierdzeń jest prawdziwe, a które fałszywe?

	Prawda	Fałsz
Ultradźwięki mają częstotliwość mniejszą niż dźwięki słyszalne.	◯	◯
Infradźwięki mają częstotliwość mniejszą niż dźwięki słyszalne.	◯	◯
Ultradźwięki mają zastosowanie w echolokacji	◯	◯
Infradźwięki mają zastosowanie w echolokacji.	◯	◯
Niektóre zwierzęta wysyłają i rejestrują dźwięki niesłyszalne dla człowieka.	◯	◯
Niektórzy ludzie mogą słyszeć ultradźwięki.	◯	◯
Infradźwięki nie występują w przyrodzie, zostały wytworzone przez człowieka.	◯	◯

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Stosowanie zależności między okresem i częstotliwością oraz prędkością i długością fal w obliczeniach

W filmach o życiu Indian często widzimy scenę, w której indiański wojownik przykłada ucho do ziemi i na tej podstawie ocenia odległość, w jakiej znajdują się inni jeźdźcy (najczęściej wrogowie). Czy pozyskiwanie informacji w ten sposób ma coś wspólnego ze znajomością fizyki?

Zakres fal akustycznych odbieranych przez ucho ludzkie jako dźwięki wynosi od 16 Hz do 20 kHz. Dla dźwięku rozchodzącego się w powietrzu oznacza to fale o długości od około 21,25 metra do 1,7 cm. Jest to duża różnica, która powoduje, że dźwięki niskie (a więc o znacznych długościach fal) przenikają przez przeszkody znacznie lepiej niż fale krótkie. Właśnie dlatego podczas głośnych imprez u sąsiadów przez ściany docierają do nas przede wszystkim dźwięki basowe, wytłumione w niewielkim stopniu

Już potrafisz

- podać definicję fali oraz definicje takich wielkości jak: amplituda, okres i częstotliwość, prędkość i długość fali;
- opisać falę, posługując się tymi wielkościami;
- zapisać wzory podające zależności między tymi wielkościami.

Nauczysz się

- stosować do obliczeń zależności między okresem, częstotliwością, długością i prędkością fali.

Przykład 1

Fale na jeziorze.
Siedzący na pomoście chłopak obserwował łódkę wędkarza tkwiącą nieopodal w pewnym miejscu jeziora. Stwierdził, że regularnie co 2 sekundy łódź unosi się do góry, w miarę jak docierają do niej kolejne grzbiety fali rozchodzącej się po powierzchni jeziora. Przyglądając się fali tuż przy pomoście, zmierzył odległość między grzbietami fali – wynosiła ona 1,5 metra. Za pomocą danych z obserwacji tego chłopaka oblicz prędkość rozchodzenia się fal po powierzchni jeziora.

Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

Źródło: Tomorrow Sp.z o.o., licencja: CC BY 3.0.

Animacja przedstawiająca łódkę, która unosi się do góry i opada na falach

---

Analiza zadania:

1. odległość między grzbietami fali, to długość fali; oznaczamy ją grecką literą λ;
2. przedział czasu upływający między kolejnymi uniesieniami łódki w górę to okres fali oznaczany literą T; w czasie równym okresowi fala przebywa drogę równą swojej długości;
3. fale rozchodzą się po powierzchni jeziora ruchem jednostajnym.

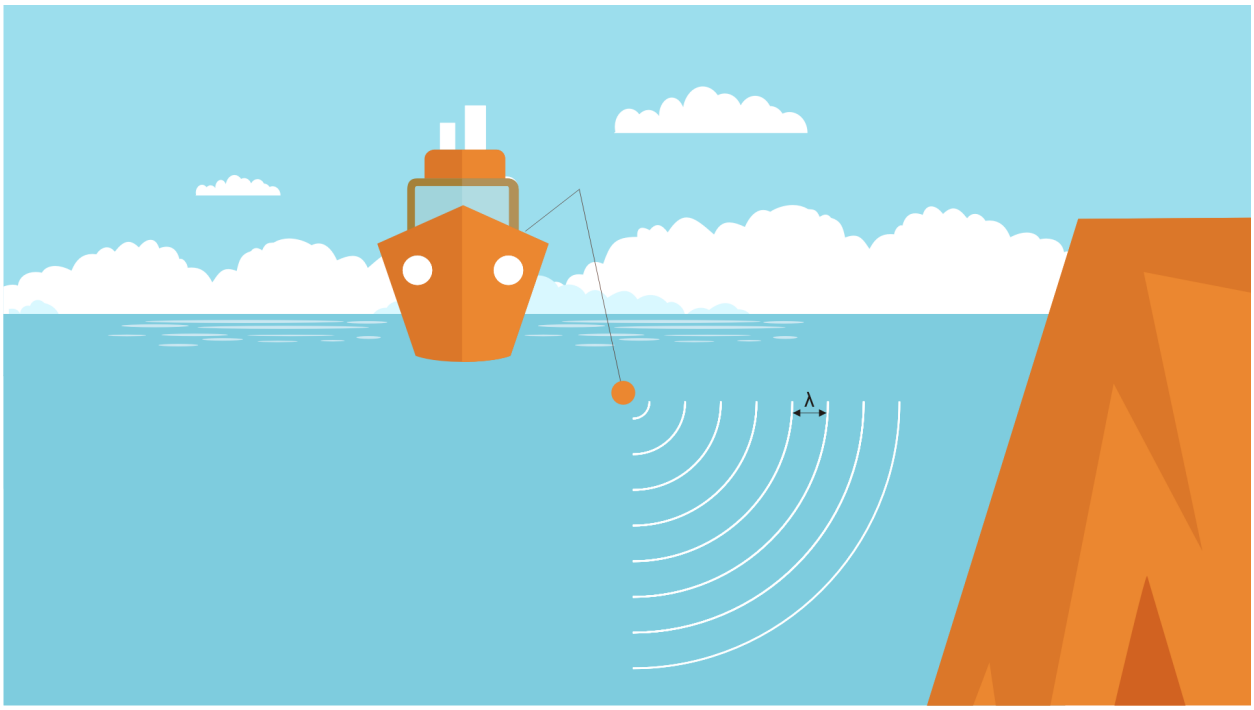
Dane:
$T = 2$ s,
$\lambda = 1{,}5$ m.
Szukane:
$v = ?$
Prędkość rozchodzenia się fali po jeziorze obliczamy tak jak w ruchu jednostajnym, czyli prędkość = droga/czas
$v = \frac{\lambda}{T} = \frac{1{,}5\ \mathrm{m}}{2\ \mathrm{s}} = 0{,}75\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$.

Odpowiedź:
Fala obserwowana przez chłopca rozchodziła się po powierzchni jeziora z prędkością 0,75 m/s.

Przykład 2

Sonar
Sonar używany na statku emituje ultradźwięki o częstotliwości 40 kHz. Prędkość

dźwięku w wodzie wynosi 1 500 m/s. Jaką długość mają fale wzbudzanie w wodzie przez ten sonar? Porównaj tę długość z wielkością ryby.



Źródło: ContentPlus, licencja: CC BY 3.0.

Analiza zadania:

1. długość fali to odległość między grzbietami fali; oznaczamy ją grecką literą λ;
2. częstotliwość fali to liczba drgań w ciągu sekundy; oznaczamy ją literą *f*; jest równa odwrotności okresu;
3. w czasie równym okresowi fala przebywa drogę równą swojej długości;
4. fale rozchodzą się w wodzie ruchem jednostajnym.

   Dane:

   f = 40 kHz = 40 000 Hz,

   v = 1500 m/s.

   Szukane:

   λ = ?

   Obliczenia:

   Korzystając ze wzoru na drogę w ruchu jednostajnym, możemy zapisać:

   droga = prędkość · czas,

   czyli

   $\lambda = v \cdot T$,

   ale okres równy jest odwrotności częstotliwości ($T = \frac{1}{f}$),

   zatem długość fali

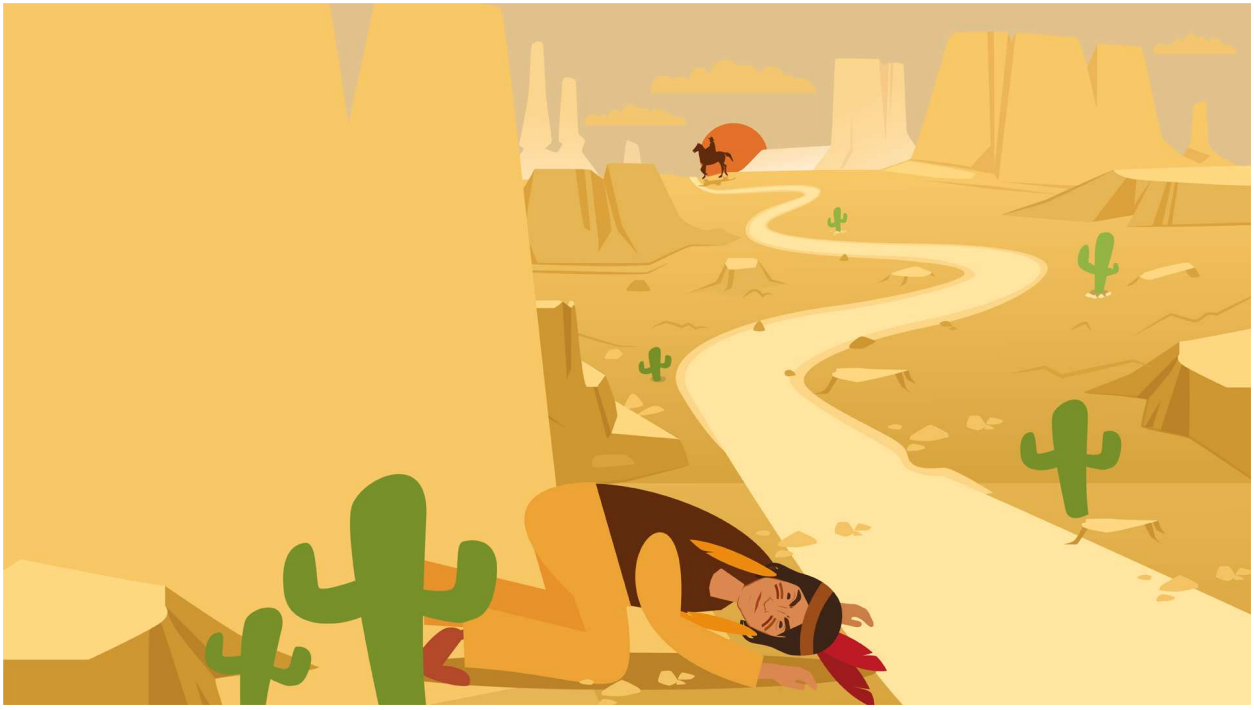
   $\lambda = v \cdot T = \frac{v}{f} = \frac{1\,500 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}}{40\,000\ \mathrm{Hz}} = 0{,}0375\ \mathrm{m} = 3{,}75\ \mathrm{cm} \approx 4\ \mathrm{cm}.$

   Odpowiedź:

Długość fali wzbudzanej przez sonar w wodzie wynosi około 4 cm. Jest to porównywalne z wielkością małej rybki.

Przykład 3

Stukot końskich kopyt to źródło dźwięku. Dźwięk ten może rozchodzić się zarówno w powietrzu, jak i w ziemi (skale, glebie). Szybkość rozchodzenia się dźwięku jest różna w różnych ośrodkach. W powietrzu wynosi 340 m/s, a w skałach wapiennych – 3 400 m/s. Obserwator może więc zarejestrować dźwięk docierający do niego przez skałę, a następnie przez powietrze. O ile później usłyszy on dźwięk rozchodzący się w powietrzu, jeśli jeździec znajduje się w odległości 1 kilometra od obserwatora?



Źródło: ContentPlus, licencja: CC BY 3.0.

Analiza zadania:
Znamy prędkość dźwięku w powietrzu – oznaczmy ją symbolem v_p, oraz prędkość dźwięku w skale – oznaczmy ją v_s.
Znamy długość drogi pokonywanej przez dźwięk – oznaczmy ją symbolem s.
Wiemy, że w jednorodnym ośrodku dźwięk rozchodzi się ruchem jednostajnym.
Dane:
$s = 1\,\text{km} = 1000\,\text{m}$,
$v_\text{p} = 340\,\text{m/s}$,
$v_\text{s} = 3400\,\text{m/s}$.
Szukane:
$\Delta t = ?$
Za pomocą wzoru na drogę w ruchu jednostajnym ($s = v \cdot T$) możemy obliczyć, jak długo biegnie dźwięk od jeźdźca do obserwatora najpierw przez skałę:

$s = v_{\mathrm{s}} \cdot t_{\mathrm{s}} / : v_{\mathrm{s}}$,
$t_s = \frac{s}{v_{\mathrm{s}}} = \frac{1\,000\ \mathrm{m}}{3\,400 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}} = 0{,}29\ \mathrm{s}$,
a następnie przez powietrze:
$s = v_{\mathrm{p}} \cdot t_{\mathrm{p}} / : v_{\mathrm{p}}$
$t_p = \frac{s}{v_{\mathrm{p}}} = \frac{1\,000\ \mathrm{m}}{340 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}} = 2{,}9\ \mathrm{s}$.
Różnica czasów wynosi więc:
$\Delta t = t_{\mathrm{p}} - t_{\mathrm{s}} = 2{,}9\ \mathrm{s} - 0{,}29\ \mathrm{s} = 2{,}61\ \mathrm{s}$.
Odpowiedź:
Dźwięk rozchodzący się w skałach dociera do obserwatora 10 razy szybciej niż przez powietrze i przy odległości 1 km będzie to o 2,6 sekundy wcześniej.

Polecenie 1

Na podstawie opisanego powyżej przykładu z Indianinem powiedz, czy wspomniany we wstępie filmowy Indianin korzysta ze znajomości fizyki podczas śledzenia ruchów przeciwnika?

Ćwiczenie 1

Jak zmieni się długość i częstotliwość fali przechodzącej z powietrza do ceglanej ściany? Prędkość fali w cegle jest 10 razy większa niż w powietrzu.

- ◯ Częstotliwość wzrośnie 10 razy, a długość fali zmaleje 10 razy.
- ◯ Częstotliwość nie zmieni się, a długość fali zmaleje 10 razy.
- ◯ Częstotliwość zmaleje 10 razy, a długość fali wzrośnie 10 razy.
- ◯ Ani częstotliwość, ani długość fali nie ulegną zmianie.
- ◯ Długość fali nie zmieni się, a częstotliwość zmaleje 10 razy.
- ◯ Częstotliwość nie zmieni się, a długość fali wzrośnie 10 razy.
- ◯ Długość fali nie zmieni się, a częstotliwość wzrośnie 10 razy.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 2

Struna gitary drga z częstotliwością 100 Hz. Które z poniższych twierdzeń jest prawdziwe, a które fałszywe?

	Prawda	Fałsz
Częstotliwość drgań tej struny to 1 kHz.	◯	◯
Okres drgań tej struny to 0,01 s.	◯	◯
Jeśli struna drgałaby z większą częstotliwością, to emitowany przez nią dźwięk rozchodziłby się z większą prędkością.	◯	◯
Częstotliwość drgań tej struny to 0,1 kHz.	◯	◯
Okres drgań tej struny to 0,1 s.	◯	◯
Mocniejsze szarpnięcie struny spowoduje wzrost amplitudy jej drgań.	◯	◯
Mocniejsze szarpnięcie struny spowoduje wzrost częstotliwości jej drgań.	◯	◯

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Podsumowanie

- Podstawowe zależności między wielkościami fizycznymi opisującymi ruch falowy:
  - **częstotliwość fali** równa jest odwrotności okresu drgań cząsteczek ośrodka, $f = \frac{1}{T}$, czyli $T = \frac{1}{f}$ Oznacza to, że znając okres drgań, zawsze możemy obliczyć częstotliwość i odwrotnie;
  - **długość fali** równa jest drodze przebytej przez falę w czasie równym okresowi tej fali, czyli:

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

Z tego równania możemy obliczyć jedną z trzech wielkości, gdy dwie pozostałe znamy.

- W ośrodku jednorodnym fala rozchodzi się ze stałą prędkością, czyli ruchem jednostajnym.
- Prędkość fali nie zależy ani od jej częstotliwości, ani od amplitudy fali, tylko od rodzaju (właściwości) ośrodka.
- Gdy fala przechodzi z jednego ośrodka do drugiego, to nie zmienia się jej częstotliwość, tylko prędkość i długość.

Praca domowa

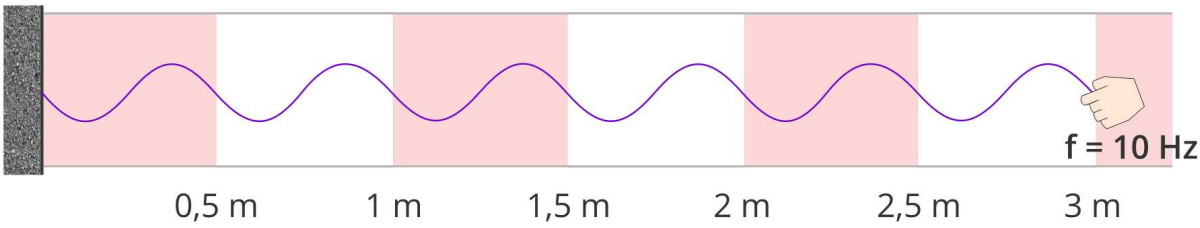
Polecenie 2.1

Skala głosu Violetty Villas rozciągała się od częstotliwości $f_1 = 130\ \mathrm{Hz}$ (małe c w skali muzycznej) do wartości $f_2 = 3\ 500\ \mathrm{Hz}$ (a czterokreślne w skali muzycznej). Oblicz największą i najmniejszą długość fali dźwiękowej powstającej w powietrzu na koncertach tej śpiewaczki.

Polecenie 2.2

Liść leżący na falującej w stawie wodzie wykonuje wahania w górę i w dół z częstotliwością 6 wahnięć w ciągu pół minuty. Fala przesuwa się po powierzchni stawu z szybkością 3 cm/s. Oblicz odległość między grzbietami tej fali.

Polecenie 2.3



Źródło: Krzysztof Jaworski, Vanderlindenma (https://commons.wikimedia.org), licencja: CC BY-SA 3.0.

Powyższy rysunek przedstawia falę wytworzoną na sznurze. Drgania odbywają się z częstotliwością 10 Hz. Oblicz prędkość, z jaką biegnie tak wzbudzona fala.

Polecenie 2.4

Nietoperz emituje falę ultradźwiękową, która w powietrzu osiąga długość 4 mm. Wiedząc, że dźwięk w powietrzu biegnie z szybkością 340 m/s, oblicz częstotliwość i okres fali emitowanej przez nietoperza.

Słowniczek

sonar (echosonda)

– urządzenie wykorzystujące fale dźwiękowe i ultradźwiękowe do pomiaru odległości, prędkości i wykrywania kształtu obiektów zanurzonych w wodzie, pływających po powierzchni wody lub będących powietrzu. Działanie polega na wysyłaniu fali w kierunku badanego obiektu, a następnie rejestrowaniu i analizowaniu cech fali odbitej od badanego obiektu; nazwa jest skrótem angielskiego określenia *„SOund Navigation And Ranging”* (tłum. nawigacja dźwiękowa i pomiar odległości).

Podsumowanie wiadomości o ruchu drgającym i falach

W tym dziale opisaliśmy dwa nowe rodzaje ruchu: ruch drgający i ruch falowy. Podaliśmy definicje wielkości charakteryzujących te ruchy. Przeanalizowaliśmy ruch ciężarka na sprężynie oraz ruch wahadła matematycznego jako przykłady ruchu drgającego. Zapoznaliśmy was z falami dźwiękowymi, ich charakterystyką i źródłami, czyli instrumentami muzycznymi. Wprowadziliśmy pojęcie ultra- i infradźwięków. Nauczyliśmy was wyznaczać okres w ruchu drgającym, wytwarzać dźwięki o większej lub mniejszej częstotliwości, korzystać z zależności między wielkościami opisującymi fale do obliczeń.

Ruch drgający, czyli drgania, nazywa się też niekiedy oscylacjami i stąd też wywodzi się określenie oscylator. Oznacza ono urządzenie lub układ fizyczny wykonujący ruch drgający lub też generujący rozmaitego rodzaju drgania. Oscylatory mechaniczne mają ogromny zakres zastosowań – mogą zarówno służyć do wykonywania precyzyjnych cięć w drewnie i metalu, jak i służyć do wbijania w ziemię wielometrowej długości stalowych elementów podczas budowy fundamentów wielkich budynków. Przykład tego ostatniego urządzenia można zobaczyć na zdjęciu powyżej. Jest ono w stanie wywiercić pionowy szyb o głębokości 50 metrów i średnicy ponad dwóch metrów

1. Ruch drgający i jego przykłady

Źródło: Andy Hay (https://www.flickr.com), licencja: CC BY 2.0.

- Ruch drgający to taki ruch, w którym wielkości opisujące go zmieniają cyklicznie swoje wartości.
- Ruch drgający odbywa się wokół punktu zwanego położeniem równowagi.
- Szczególnymi przykładami ruchu drgającego są: ruch wahadła matematycznego i ciężarka zawieszonego na sprężynie, które wykonują drgania harmoniczne.

2. Wielkości opisujące drgania

Źródło: Dilshan Jayakody (https://www.flickr.com), licencja: CC BY-SA 2.0.

- Wielkościami opisującymi ruch drgający są:
    - amplituda drgań A – największe wychylenie z położenia równowagi;
    - okres drgańT – czas trwania jednego pełnego drgania; jednostka: sekunda [s];
    - częstotliwość drgań – liczba drgań w jednostce czasu; jednostka: herc [Hz].

      Częstotliwość i okres drgań są związane zależnością: $f = \frac{1}{T}$.
- Wykresem zależności położenia danego punktu od czasu w ruchu harmonicznym jest sinusoida. Z takiego wykresu można odczytać amplitudę i okres drgań.

3. Przemiany energii w ruchu drgającym

Źródło: Paul Goyette (flickr ID: pgoyette) (https://commons.wikimedia.org), licencja: CC BY-SA 2.0.

- Ciało wykonujące ruch drgający posiada dwa rodzaje energii: energię kinetyczną i energię potencjalną.
- Dla wahadła matematycznego energia potencjalna to energia potencjalna grawitacji, a dla ciężarka na sprężynie – energia potencjalna sprężystości.
- Podczas drgania zmienia się zarówno wartość energii kinetycznej, jak i energii potencjalnej.
- Energia kinetyczna:
    - rośnie, gdy ciało drgające zbliża się do położenia równowagi;
    - maleje podczas oddalania się ciała od położenia równowagi;
    - osiąga największą wartość, gdy ciało przechodzi przez położenie równowagi;
    - przyjmuje wartość zero w punktach maksymalnego wychylenia z położenia równowagi.
- Energia potencjalna:
    - maleje, gdy ciało drgające zbliża się do położenia równowagi;
    - rośnie podczas oddalania się ciała od położenia równowagi;
    - osiąga największą wartość w punktach maksymalnego wychylenia z położenia równowagi;
    - przyjmuje wartość zero, gdy ciało przechodzi przez położenie równowagi.
- Suma energii kinetycznej i potencjalnej podczas drgania pozostaje stała i równa jest pracy wykonanej przez siły zewnętrzne podczas wytrącania ciała z położenia równowagi.

5. Wyznaczanie okresu drgań wahadła matematycznego

Źródło: Tomorrow Sp. z o.o., licencja: CC BY 3.0.

- Wyznaczanie okresu drgań wahadła matematycznego polega na zmierzeniu czasu trwania kilku lub kilkudziesięciu wahnięć i podzieleniu wyniku tego pomiaru przez liczbę wahnięć.
  $T = \frac{t_n}{n}$,
  gdzie:
  n – liczba wahnięć; t_n – czas trwania n wahnięć.
- Okres drgań wahadła matematycznego dla małych kątów wychylenia nie zależy od amplitudy drgań. Tę właściwość wahadła nazywamy izochronizmem.
- Okres drgań wahadła matematycznego zależy od jego długości, przy czym:
  - większej długości odpowiada większa wartość okresu drgań;
  - gdy długość wahadła wzrośnie cztery razy, to okres drgań wzrośnie dwa razy.
- Okres drgań wahadła matematycznego nie zależy od masy wahadła.

6. Wyznaczanie okresu drgań ciężarka na sprężynie

Źródło: Tomorrow Sp. z o.o., licencja: CC BY 3.0.

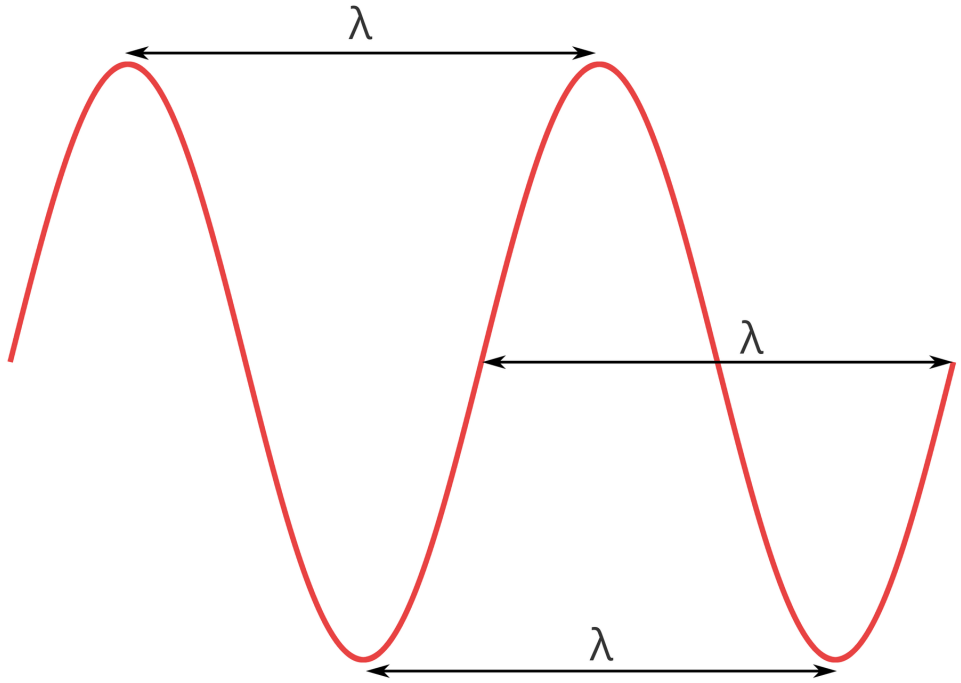
- Aby wyznaczyć częstotliwość drgań ciężarka na sprężynie, należy zmierzyć czas trwania kilku lub kilkudziesięciu drgań i podzielić liczbę drgań przez zmierzony czas.
  $f = \frac{n}{t_n}$
  gdzie:
  n – liczba drgań; t_n – czas trwania n drgań.
- Aby wyznaczyć okres drgań ciężarka na sprężynie, należy zmierzyć czas trwania kilku lub kilkudziesięciu drgań i podzielić zmierzony czasu przez liczbę drgań.
  $T = \frac{t_n}{n}$
- Okres drgań ciężarka na sprężynie zależy od jego masy, przy czym większej masie odpowiada większa wartość okresu drgań.

7. Fala mechaniczna

Źródło: Misty (https://commons.wikimedia.org), licencja: CC BY 2.0.

- **Fala mechaniczna** to drgania czasteczek rozchodzące się w ośrodku sprężystym.
- Źródłem fali jest ciało drgające, które przekazuje drgania cząsteczkom ośrodka.
- Gdy w ośrodku rozchodzi się fala, cząsteczki tego ośrodka wykonują ruch drgający; każda wokół swego położenia równowagi. Ruch ten odbywa się na małej przestrzeni.
- Fala mechaniczna to drgania rozchodzące się ruchem jednostajnym w ośrodku jednorodnym. Ruch fali jest możliwy wtedy, gdy cząsteczki ośrodka przekazują sobie wzajemnie drgania.

8. Wielkości opisujące ruch falowy

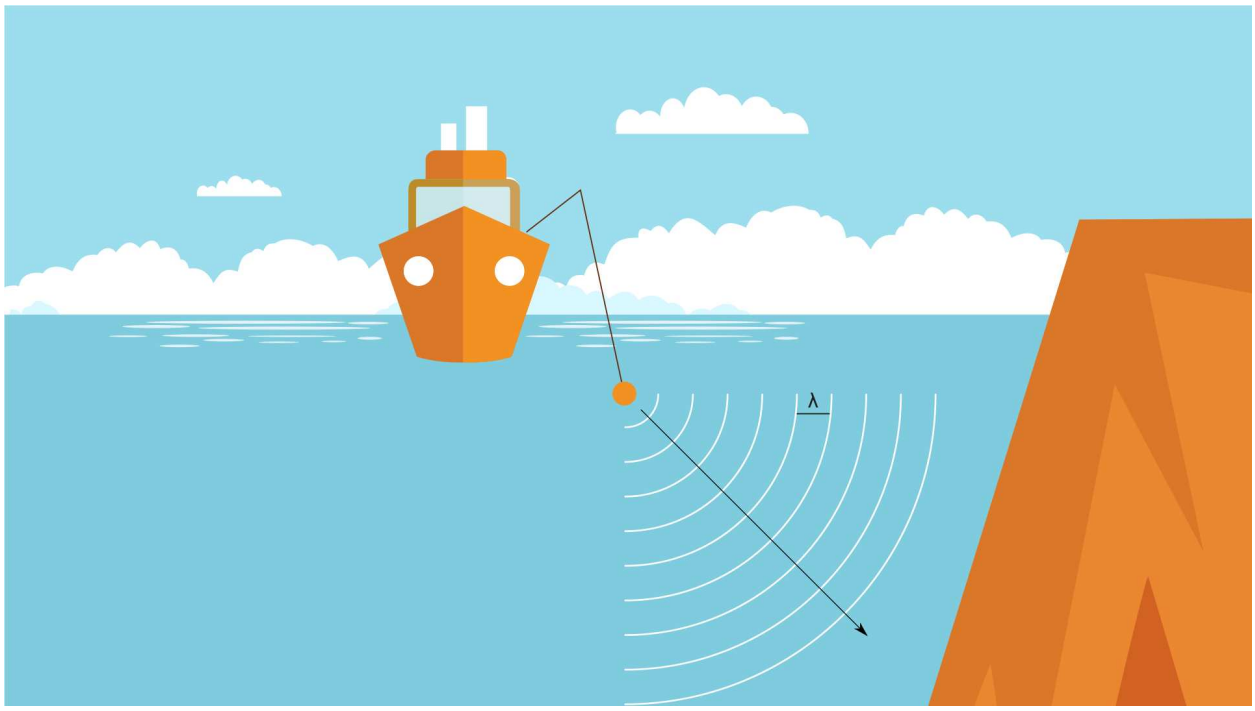


Źródło: Keytotime Krzysztof Jaworski (http:\\commons.wikimedia.org), public domain.

Wielkości charakteryzujące ruch falowy:

- **prędkość fali** (v) – prędkość, z jaką w ośrodku rozchodzi się zaburzenie wywołane drganiami źródła fali. Jej wielkość zależy od właściwości ośrodka; jego sprężystości i gęstości; jednostka – metr na sekundę $\left[\frac{m}{s}\right]$;
- **amplituda fali** (A) – amplituda drgań cząsteczek ośrodka, w którym rozchodzi się fala; jednostka – metr;
- **okres fali** (T) – okres drgań źródła fali, a jednocześnie okres drgań cząsteczek ośrodka, w którym rozchodzi się fala; jednostka – sekunda;
- **częstotliwość fali** (f) – częstotliwość drgań źródła fali, a jednocześnie częstotliwość drgań cząsteczek ośrodka, w którym rozchodzi się fala; jednostka – herc [Hz];
- **długość fali** (λ) (lambda) – odległość między dwoma sąsiednimi grzbietami (lub dwiema sąsiednimi dolinami) fali; jednostka – metr.

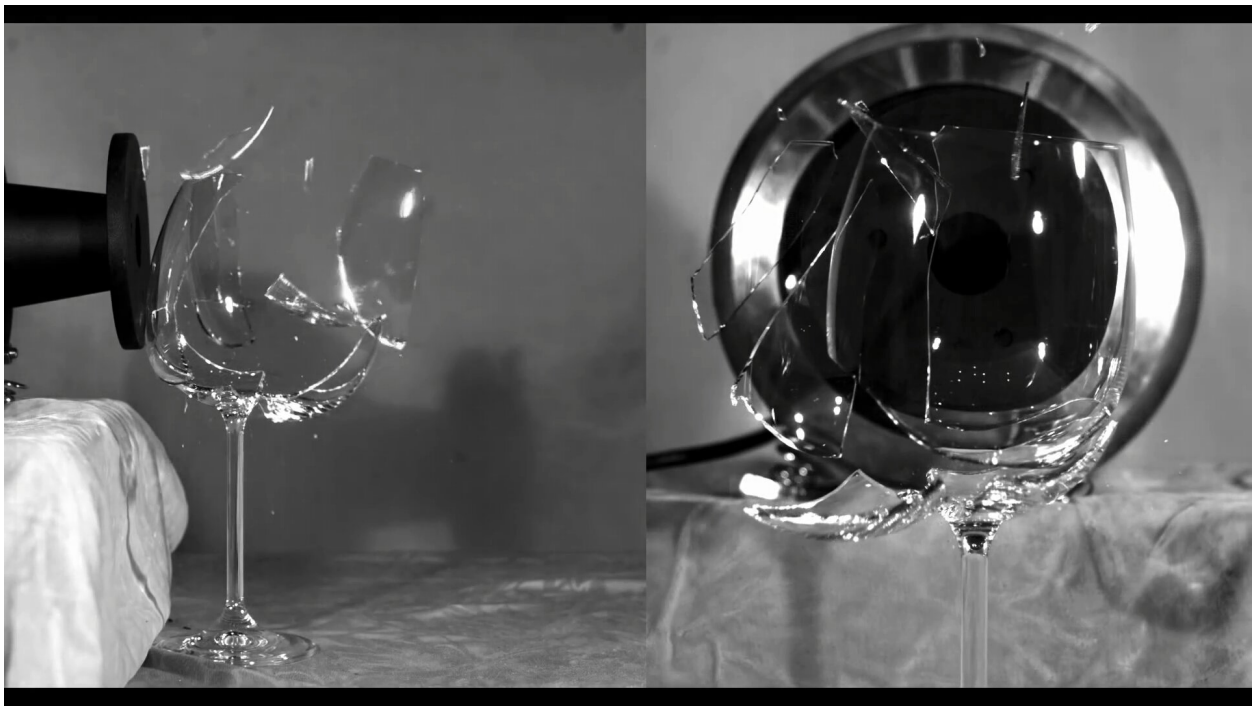
9. Zależności między okresem, częstotliwością, długością i prędkością fali



Źródło: ContentPlus, licencja: CC BY 3.0.

- Częstotliwość fali jest odwrotnością okresu – tak jak w opisie drgań, czyli:
  $f = \frac{1}{T}$, $T = \frac{1}{f}$.
- Długość fali to jednocześnie droga, jaką przebywa fala w ciągu jednego okresu drgań cząsteczek ośrodka.
  droga $=$ prędkość $\cdot$ czas, czyli:
  $s = v \cdot t$, $\lambda = v \cdot T$.

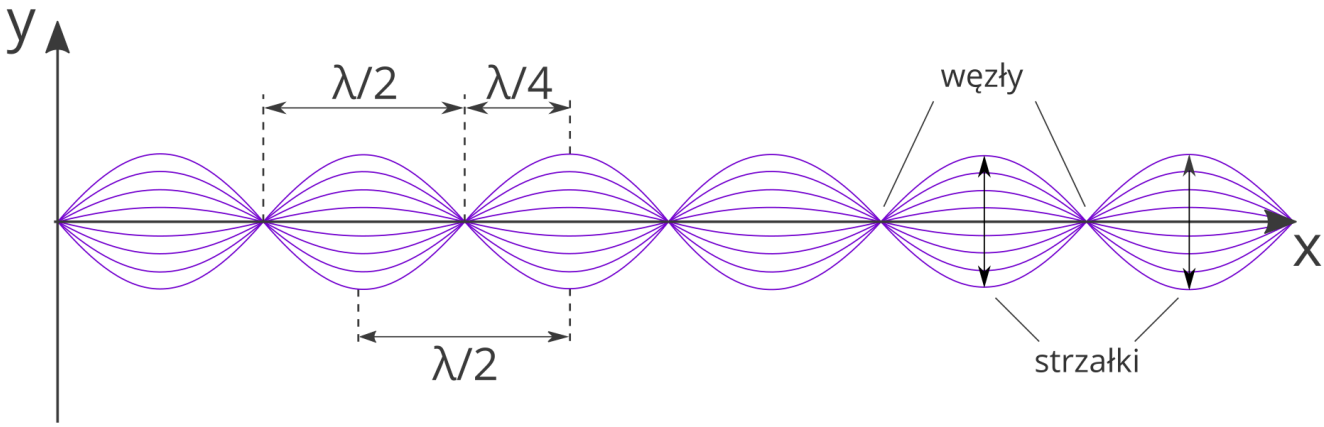
10. Cechy dźwięku



Źródło: Trevor Cox (https://www.youtube.com), licencja: CC BY 3.0.

- Dźwiękami nazywamy fale wytworzone przez ciała drgające z częstotliwością z zakresu od 16 Hz do 20 kHz; podany zakres ma charakter umowny, w rzeczywistości jest cechą indywidualna każdego człowieka.
- Dźwięk może być zarejestrowany przez ludzkie ucho, jeśli energia niesiona przez falę dźwiękową jest większa od **progu słyszalności,** a mniejsza od **granicy bólu**.
- Podstawowymi cechami dźwięku są:
    - wysokość – związana z częstotliwością fali: wyższy dźwięk – większa częstotliwość;
    - głośność – związana z amplitudą fali: większa amplituda – głośniejszy dźwięk;
    - barwa* – związana ze złożonością drgań źródła fali, pozwala rozróżniać brzmienie różnych instrumentów.

11. Fale stojące



Źródło: Krzysztof Jaworski, licencja: CC BY 3.0.

Fale stojące są wynikiem nałożenia się fal biegnących w przeciwne strony; składają się z:

- **węzłów** – miejsc, w których elementy ośrodka nie drgają;
- **strzałek** – miejsc, gdzie amplituda drgań elementów ośrodka jest maksymalna.

Odległość dwóch sąsiednich węzłów równa jest połowie długości fali biegnącej w ośrodku; odległość węzła od najbliższej strzałki równa jest $\frac{1}{4}$ długości fali biegnącej.

12. Instrumenty muzyczne

Źródło: Tomorrow Sp. z o.o., licencja: CC BY 3.0.

- Podstawowym elementem instrumentu muzycznego jest ciało drgające: struna, słup powietrza, membrana itp.
- W drgających elementach instrumentów (strunach, słupach powietrza, membranach) powstają fale stojące.
- Wysokość (częstotliwość) dźwięku emitowanego przez instrument zależy od najdłuższej (podstawowej) fali, jaka może powstać w elemencie drgającym, a ta związana jest z rozmiarami tego elementu.
- W instrumentach dętych większej długości piszczałki odpowiada mniejsza częstotliwość podstawowa, a tym samym niższy dźwięk.
- W instrumentach strunowych wysokość dźwięku zależy od:
    - długości struny: większa długość – niższy dźwięk;
    - grubości struny: cieńsza struna – wyższy dźwięk;
    - naciągu struny: większa siła naciągu – wyższy dźwięk.

13. Infradźwięki i ultradźwięki

Źródło: Joxerra aihartza (http:\\commons.wikimedia.org), licencja: CC BY-SA 3.0.

- Infradźwiękami nazywamy fale mechaniczne o częstotliwości mniejszej od 16 Hz.
- Źródłem ultradźwięków w naturze są: grzmoty, trzęsienia ziemi, erupcje wulkanów, wodospady, wiatr, zorze polarne.
- W budynkach infradźwięki mogą powstawać w przewodach wentylacyjnych oraz w wyniku drgań różnych maszyn i urządzeń biurowych.

- Infradźwięki mają niekorzystny wpływ na organizm człowieka.
- Ultradźwięki to fale mechaniczne o częstotliwości większej niż 20 kHz.
- Ultradźwięki są wytwarzane i rejestrowane przez niektóre zwierzęta.
- Sztucznie wytworzone w generatorach fale ultradźwiękowe znalazły liczne zastosowania w terapii i diagnostyce medycznej (USG), fizykoterapii, w technice (sonary) i nauce.
- Infradźwięki i ultradźwięki nie są rejestrowane przez ludzkie ucho, ale mogą być wysyłane i odbierane przez niektóre zwierzęta.

Zadania

> **Polecenie 1**
>
> Wahadło matematyczne wykonuje 10 pełnych wahnięć w ciągu 20 sekund. Oblicz częstotliwość wahań tego wahadła. Jaką drogę pokona kulka tego wahadła w tym czasie, jeśli wiadomo, że amplituda jego drgań wynosi 3 cm?

> **Polecenie 2**
>
> Fala ultradźwiękowa rozchodząca się w kości ma długość $\lambda = 2\ \mathrm{mm}$. Oblicz, jaka jest częstotliwość tej fali, jeśli dźwięk rozchodzi się w kości z prędkością $v = 4000 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$?

> **Polecenie 3**
>
> Naszkicuj dwie pary sinusoid: jedna para symbolizująca dwa dźwięki o tej samej wysokości, ale różniące się głośnością, i druga para odpowiadająca dźwiękom o tej samej głośności, ale różnej wysokości.

> **Polecenie 4**
>
> W instrukcji obsługi pewnej maszyny napisano: „Poziom natężenia dźwięku podczas pracy wynosi 130 dB”. Czy osoba obsługująca tę maszynę powinna używać ochraniacza słuchu? Uzasadnij odpowiedź.

Polecenie 5

* Struna fortepianu ma długość 2 metry i jest unieruchomiona na obu swoich końcach. Oblicz długość fali podstawowej powstającej w tej strunie. Oblicz trzy inne długości fal, które utworzą w tej strunie falę stojącą.

Polecenie 6

Częstotliwość drgań napiętej struny związana jest z długością fali biegnącej w strunie oraz prędkości fali w strunie: $f = \frac{v}{\lambda}$. Strojenie instrumentu polega na zmianie naprężenia struny, co pociąga za sobą zmianę wysokości dźwięku. Określ, która z wymienionych tu wielkości: długość fali czy prędkość fali (w strunie) zmienia się podczas strojenia? Odpowiedź uzasadnij.

Polecenie 7

Podczas przebudowy placu zabaw robotnicy podwyższyli konstrukcję, na której wisiała huśtawka, i zawiesili ją na nowych, dłuższych linach. Napisz, jak zmieniły się wielkości opisujące ruch huśtawki: okres wahań, częstotliwość, amplituda.

Test

Obejrzyj jeszcze raz poniższą animację.

Film dostępny pod adresem https://zpe.gov.pl/a/Dphwjki1p

Źródło: Marcin Sadomski, Kevin MacLeod (http://incompetech.com), Krzysztof Jaworski, Tomorrow Sp. z o.o., licencja: CC BY 3.0.

Ruch ciężarka na sprężynie

Ćwiczenie 1.1

Oceń prawdziwość poniższych zdań.

	Prawda	Fałsz
Gdy ciężarek porusza się w górę, jego prędkość maleje.	◯	◯
Ciężarek osiąga największą energię kinetyczną, gdy mija punkt O.	◯	◯
Ciężarek osiąga największą energię kinetyczną w punktach A_1 i A_2.	◯	◯
Droga przebyta przez ciężarek podczas jednego drgania jest 4 razy większa od amplitudy.	◯	◯
W punktach A_1 i A_2 energia kinetyczna ciężarka jest równa zero.	◯	◯

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 2

Młot pneumatyczny wykonuje 1 800 uderzeń na minutę. Ile wynosi częstotliwość pracy tego młota wyrażona w hercach?

- ◯ 1 740 Hz
- ◯ 10 800 Hz
- ◯ 1 860 Hz
- ◯ 1 800 Hz
- ◯ 30 Hz
- ◯ 0,0333 Hz
- ◯ 60 Hz

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 3

Odległość między skrajnymi wychyleniami kuli długiego wahadła matematycznego wynosi 1 m. Jaką wartość ma amplituda drgań tego wahadła? Wskaż poprawne odpowiedzi.

- [ ] 2 m
- [ ] 1 000 mm
- [ ] 1 m
- [ ] 50 cm
- [ ] 500 mm
- [ ] 200 cm
- [ ] 100 cm
- [ ] 0,5 m

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 4

Natężenie dźwięku zależy od

- [ ] długości fali dźwiękowej.
- [ ] amplitudy fali dźwiękowej.
- [ ] odległości od źródła fali.
- [ ] wysokości dźwięku.
- [ ] prędkości fali.
- [ ] częstotliwości fali dźwiękowej.
- [ ] okresu fali dźwiękowej.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 5

Fala biegnie po powierzchni wody z szybkością 5 m/s, a jej grzbiety docierają do brzegu co 2 s. Oblicz długość tej fali i wskaż prawidłowe odpowiedzi.

- [ ] 700 cm
- [ ] 7 m
- [ ] 1 000 cm
- [ ] 40 cm
- [ ] 0,4 m
- [ ] 10 m
- [ ] 2,5 m
- [ ] 250 cm

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 6

Przyporządkuj fale o podanej częstotliwości do odpowiedniej kategorii. Zwróć uwagę na jednostki.

Dźwięki

Ultradźwięki

Infradźwięki

Elementy niepasujące do żadnej kategorii

40 dHz | 100 cm | 40 kHz | 500 kHz | 100 dHz | 7 MHz | 7 kHz | 500 Hz | 7 Hz | 100 Hz | 10000Hz | 7 m | 100 kHz | 5 Hz | 40 Hz

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 7

Aby zwiększyć wysokość dźwięku emitowanego przez piszczałkę należy

- ◯ przenieść piszczałkę na większą wysokość.
- ◯ zmniejszyć długość słupa powietrza drgającego w piszczałce.
- ◯ zwiększyć długość słupa powietrza drgającego w piszczałce.
- ◯ mocniej dmuchać w piszczałkę.
- ◯ użyć wzmacniacza dźwięku.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 8

Izochronizm wahadła to

- [ ] zależność częstotliwości drgań od amplitudy drgań.
- [ ] niezależność okresu drgań od amplitudy drgań.
- [ ] niezależność częstotliwości drgań od amplitudy drgań.
- [ ] zależność amplitudy drgań od długości wahadła.
- [ ] zależność okresu drgań od amplitudy drgań.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 9

Dwa wahadła **o tej samej długości**, ale różnej masie wychylono z położenia równowagi - lżejsze o kąt 3 stopni, a masywniejsze o kąt 6 stopni i puszczono jednocześnie. Które z nich pierwsze osiągnie położenie równowagi?

- ◯ Pierwsze dotrze to, które wychylono o większy kąt.
- ◯ Pierwsze dotrze to, które wychylono o mniejszy kąt.
- ◯ Pierwsze dotrze to, które ma większą masę.
- ◯ Oba jednocześnie dotrą do położenia równowagi.
- ◯ Pierwsze dotrze to, które wychylono o mniejszy kąt.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 10

Prędkość dźwięku w powietrzu wynosi 340 m/s. Oblicz długość fali infradźwiękowej o częstotliwości 2 Hz.

- ◯ 680 m
- ◯ 680 cm
- ◯ 6,8 m
- ◯ 170 cm
- ◯ 170 m

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 11

Sygnał wysłany przez sonar w stronę morskiego dna wrócił do detektora po upływie 0,2 s. Szybkość dźwięku w wodzie wynosi 1 500 m/s. Oblicz głębokość morza i wskaż prawidłowe odpowiedzi.

- ☐ 7,5 km
- ☐ 150 cm
- ☐ 150 m
- ☐ 300 m
- ☐ 300 cm
- ☐ 0,15 km
- ☐ 7 500 m

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 12

Wskaż prawdziwe zdania.

- [ ] Drgania różniące się częstotliwością muszą różnic się też amplitudą.
- [ ] Dwa drgania mogą mieć taką samą częstotliwość i różne amplitudy.
- [ ] Drgania różniące się amplitudą różnią się jednocześnie okresem.
- [ ] Dwa drgania mogą mieć taką samą częstotliwość i różne okresy.
- [ ] Drgania mające jednakowe okresy drgań mają też jednakowe częstotliwości.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 13

Dobierz jednostkę do wielkości fizycznej.

długość fali	metr
częstotliwość	sekunda
okres fali	metr na sekundę
prędkość fali	herc

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Sprawdzian wiadomości o ruchu drgającym i falowym

Ćwiczenie 1

Przy produkcji kostki brukowej używa się stołu wibracyjnego, który podczas pracy wykonuje 1 400 drgań na minutę. Oblicz wartość częstotliwości tych drgań w hercach.

- ◯ 1 460 Hz
- ◯ 14 Hz
- ◯ 1 340 Hz
- ◯ 1 400 Hz
- ◯ 23,3 Hz
- ◯ 84 000 Hz

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 2

Oblicz długość fali dźwiękowej o częstotliwości 20 Hz biegnącej w stalowej szynie. Prędkość dźwięku w stali wynosi $5000 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$.

- [ ] 1 000 000 $\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$
- [ ] 25 m
- [ ] 0,25 km
- [ ] 250 $\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$
- [ ] 2,5 km
- [ ] 250 m
- [ ] 1 000 000 m

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 3

Oceń prawdziwość twierdzeń o ruchu falowym.

	Prawda	Fałsz
Częstotliwość ultradźwięków jest większa niż dźwięków słyszalnych przez człowieka.	◯	◯
W ruchu drgającym występuje tylko jeden rodzaj energii – energia kinetyczna.	◯	◯
Odległość między grzbietami fal na wodzie to długość fali.	◯	◯
Wysokość dźwięku zależy od jego głośności.	◯	◯
Jednostką okresu fali jest herc.	◯	◯
W badaniach USG wykorzystuje się infradźwięki.	◯	◯
Jeśli zmniejszymy długość struny gitary (bez zmiany jej naciągu), to zwiększy się wysokość dźwięku emitowanego przez tę strunę.	◯	◯

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 4

W piszczałce organowej powstaje fala stojąca typu węzeł-strzałka (na jednym końcu występuje węzeł, na drugim strzałka). Oblicz największą długość powstających fal dźwiękowych, jeżeli piszczałka ma długość 60 cm.

- [ ] 120 cm.
- [ ] 240 cm.
- [ ] 2,4 m.
- [ ] 1,2 m.
- [ ] 60 cm.
- [ ] 100 cm.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 5

Odległość między skrajnymi położeniami wahadła starego zegara wynosi 20 cm. Amplituda drgań tego wahadła wynosi

- [ ] 40 cm.
- [ ] 100 mm.
- [ ] 20 cm.
- [ ] 10 cm.
- [ ] 0,4 m.
- [ ] 200 mm.
- [ ] 0,2 m.
- [ ] 0,1 m.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Polecenie 1

Fala przemieszczająca się po powierzchni jeziora ma długość $4\ \mathrm{m}$. Oblicz okres drgań, jeśli wiadomo, że grzbiety tej fali przesuwają się po powierzchni wody z prędkością $v = 2\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$.

Polecenie 2

Ciężarek wiszący na sprężynie został pociągnięty w dół i puszczony. Opisz przemiany energii ciężarka podczas jednego pełnego drgania.

Wskazówka

Cały cykl podziel na cztery etapy i dla każdego z etapów napisz, jaki rodzaj energii rośnie, a jaki maleje, oraz w których momentach poszczególne rodzaje energii osiągają wartość zero, a w których wartość maksymalną.

Polecenie 3

W powietrzu rozchodzi się fala mechaniczna o długości $10\ \mathrm{cm}$ z prędkością o wartości równej $340\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$. Wykaż, że może to fala być fala dźwiękowa. Wykonaj w tym celu odpowiednie obliczenia i skorzystaj z cech dźwięków.

Źródła światła i jego prędkość. Zjawisko powstawania cienia i półcienia

W życiu spotykasz różne źródła światła – Słońce, żarówki i świetlówki, czasem świece i ognisko. Te źródła widzisz – mówimy, że wysyłają światło. Jak to się dzieje, że widzisz różne przedmioty? Ludzi, samochody, budynki? Jak rozchodzi się światło? Czy wszędzie dociera?

Słońce jest najważniejszym źródłem światła dla Ziemi i całego Układu Słonecznego. To światło jest nośnikiem energii umożliwiającej istnienie życia – a przynajmniej życia w takiej postaci, jaką znamy

Już potrafisz

- wymienić różne źródła światła;
- wskazać obszary cienia.

Nauczysz się

- wskazać lub wymienić przykłady źródeł światła;
- rozróżniać naturalne i sztuczne źródła światła;
- odróżniać punktowe i niepunktowe źródła światła;
- wyjaśniać powstawanie cienia i półcienia.

1. Dlaczego widzimy?

Gdy jest ciemno, nie rozróżniamy barw ani kształtów przedmiotów. Do tego, aby widzieć świat pięknym i kolorowym, potrzebne jest światło.

Abyśmy mogli cokolwiek zobaczyć, światło musi dotrzeć do naszego oka i wywołać wrażenie wzrokowe. Światło to może pochodzić bezpośrednio ze źródła światła. Widzimy także przedmioty, od których światło się odbiło.

Gdy zbliżamy rękę do żarówki, czujemy jej ciepło, podobnie w piękny słoneczny dzień, gdy zbyt długo opalamy się na plaży, możemy ulec oparzeniu. Jest to dowód na to, że światło przenosi energię (energię promienistą).

Wykorzystanie energii światła do procesu fotosyntezy

Energia ta wykorzystywana jest przez rośliny w procesie fotosyntezy.

Narząd wzroku – oko ludzkie

Energia ta jest także potrzebna do tego, aby wywołać w naszym oku wrażenia wzrokowe – czyli po to, byśmy widzieli.

Ćwiczenie 1

Zaznacz, które zdania są prawdziwe, a które fałszywe?

	Prawda	Fałsz
Widzimy źródła światła i przedmioty, od których odbiło się światło.	◯	◯
Widzimy tylko źródła światła.	◯	◯
Widzimy tylko przedmioty, od których odbiło się światło.	◯	◯
Widzimy przedmioty, które nie są źródłami światła i od których nie odbiło się światło.	◯	◯

Źródło: Dariusz Kajewski <Dariusz.Kajewski@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

2. Źródła światła

Mówimy, że niektóre ciała wysyłają (emitują) promieniowanie. Czym ono jest? Może to być wysłana fala albo strumień cząstek. O tym, jaką naturę ma promieniowanie, jakie własności i czy jest szkodliwe, dowiesz się podczas dalszej nauki.

Światło to pewien rodzaj promieniowania, które możemy odbierać zmysłem wzroku. Wszystkie ciała, które są źródłem emisji światła, nazywać będziemy źródłami światła.

> **Zapamiętaj!**
>
> Źródłem światła jest każde ciało emitujące promieniowanie świetlne.

Znane nam źródła światła możemy podzielić na dwie grupy:

- naturalne źródła światła;
- sztuczne źródła światła.

Do naturalnych źródeł światła należą między innymi:

- gwiazdy, w tym Słońce;
- wyładowania atmosferyczne;
- niektóre organizmy żywe (świetliki).

Sztuczne źródła światła to między innymi:

- żarówki elektryczne,
- rozgrzana stal,
- ognisko,
- świeca,
- diody LED.

> **Ciekawostka**
>
> Pierwotnym źródłem światła, związanym z odkryciem przez człowieka sposobu rozniecania ognia, było palące się drewno (ognisko). Dość szybko nasi przodkowie nauczyli się spalać tłuszcze roślinne i zwierzęce, dzięki czemu wynalezione zostały lampki oliwne.

Lampka oliwna

Po pewnym czasie człowiek nauczył się wytwarzać świece. Przełomem w technice sztucznego oświetlenia było skonstruowanie lampy naftowej. Dokonał tego w 1853 roku Polak – Ignacy Łukasiewicz.

Jego wynalazek zrewolucjonizował technikę oświetleniową. Ignacy Łukasiewicz kierował pracą pierwszych na świecie rafinerii ropy naftowej, która wydobywana była na Podkarpaciu w okolicach Krosna. Z biegiem czasu lampę naftową zaczęło stopniowo wypierać oświetlenie elektryczne. Pojawiła się pierwsza żarówka.

Ciekawostka

Organiczne diody elektroluminescencyjne (OLED).

Nowoczesnym źródłem światła są organiczne diody elektroluminescencyjne, które obecnie wykorzystuje się do produkcji matryc telewizorów. W przeciwieństwie do telewizorów opartych na technologii ciekłych kryształów (LCD) telewizory OLED nie wymagają tylnego podświetlenia matrycy, ponieważ diody organiczne same emitują różnokolorowe światło. Oprócz tego diody te są bardzo elastyczne, co między innymi stwarza możliwość ukrycia rozwijanego miniekranu np. w długopisie!

Urządzenia wykorzystujące technologię organicznych diod elektroluminescencyjnych (OLED)

3. Co nie jest źródłem światła?

Nie wszystkie przedmioty i obiekty, które wydają się świecić, są źródłami światła.

Wenus – Gwiazda Poranna

Często przed wschodem lub zaraz po zachodzie Słońca na niebie widoczna jest Wenus. To trzeci pod względem jasności obiekt na niebie (zaraz po Słońcu i Księżycu). Światło Wenus jest czasem tak silne, że przedmioty oświetlone nim rzucają cień. Jednak obiekt ten wcale nie jest źródłem światła! Wenus tak silnie odbija światło słoneczne, że wydaje się, iż jest gwiazdą. W rzeczywistości każda planeta, którą możemy obserwować na niebie, wydaje się świecić własnym światłem – jest to jednak odbite światło słoneczne. Planet nie możemy zaliczyć do źródeł światła, ponieważ nie emitują one światła, a jedynie je odbijają.

Księżyc nie jest źródłem światła, odbija jedynie światło słoneczne

Podobnie jest z Księżycem, który podczas pełni bardzo dobrze oświetla otaczający nas krajobraz i przedmioty. Księżyc także nie emituje światła, a jedynie odbija światło słoneczne.

> **Zapamiętaj!**
>
> Nie wszystkie obiekty, które wydają się emitować światło, są jego źródłami. Obiekty tego typu świecą światłem odbitym. Między innymi zaliczamy do nich Księżyc i planety, które nie emitują światła, a jedynie odbijają światło słoneczne.

Ćwiczenie 2

Przyporządkuj poniższe elementy do odpowiedniej kategorii.

Naturalne źródła światła

Sztuczne źródła światła

Elementy niepasujące do żadnej kategorii

gwiazdy | neony | świeca | planety | Słońce | błyskawice | żarówka | Księżyc

Źródło: Dariusz Kajewski <Dariusz.Kajewski@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

4. Rozchodzenie się światła

Zastanówmy się teraz, w jaki sposób światło rozchodzi się w przestrzeni. Światło to promieniowanie, które przemieszcza się w próżni z największą możliwą do osiągnięcia w przyrodzie prędkością (prędkością światła), która ma wartość $c \approx 300\ 000 \frac{\mathrm{km}}{\mathrm{s}}$. Podstawowe właściwości światła znane już były w starożytności. Grecy na podstawie obserwacji wysnuli wniosek, że światło w ośrodkach jednorodnych rozchodzi się po liniach prostych.

Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

Światło w ośrodkach jednorodnych rozchodzi się po liniach prostych

Na animacji pokazano zdjęcie wykonane w lesie. Widoczne liczne drzewa liściaste. W lewym górnym rogu przebijają się promienie słoneczne. Promienie mają kształt smug rozszerzających się ku dołowi. „Brzegi” smug są proste.

Spróbuj przeprowadzić doświadczenie, które potwierdzi to spostrzeżenie.

Doświadczenie 1

Udowodnić prostoliniowe rozchodzenie się światła.

Co będzie potrzebne

- pudełko po papierze ksero w formacie A4;
- kalka techniczna lub papier śniadaniowy (cienki) w formacie A4;
- czarna okleina lub farba;
- nożyczki lub nożyk do tapet;
- gruba igła.

Instrukcja

1. Wytnij w wieczku pudełka prostokąt, pozostawiając ok. 1,5 cm z każdej strony.
2. Od wewnętrznej strony wklej arkusz kalki technicznej.
3. Wnętrze drugiej części pudełka wyklej czarną matową folią samoprzylepną lub pomaluj na czarno.
4. W środku denka pudełka zrób otwór grubą igłą.
5. Nałóż przygotowane wieczko na pudełko i szczelnie je zaklej dookoła.
6. Zwróć pudełko otworem na jakieś źródło światła – co obserwujesz?

Podsumowanie

To, co zbudowaliśmy jest pierwowzorem aparatu fotograficznego. Jest to urządzenie służące do nanoszenia (rzutowania) obrazu trójwymiarowego na powierzchnię płaską, za pomocą którego można obserwować świat. Gdyby w miejscu czarnej powierzchni umieszczono kliszę fotograficzną lub matrycę światłoczułą z aparatu cyfrowego, to obraz ten można byłoby nawet utrwalić. Wykonane przez nas urządzenie, noszące łacińską nazwę camera obscura, działa, wykorzystując zasadę prostoliniowego rozchodzenia się światła.

Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

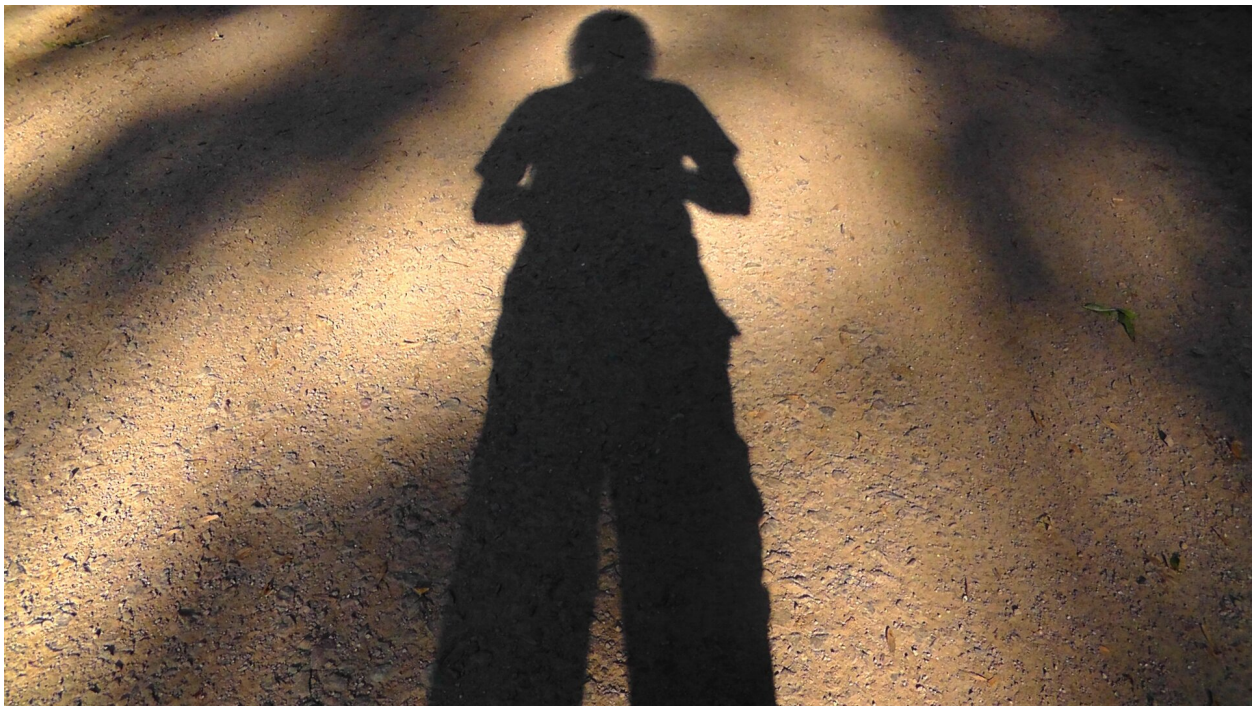
Rozchodzenie się światła w camera obscura

Camera obscura

Promień wychodzący z górnej części żarówki biegnie po linii prostej do otworka w pudełku. Wpada przez otwór do środka i trafia na ekran, tworząc obraz górnej części żarówki na dolnej części ekranu. Podobnie promień wychodzący z dolnej części żarówki biegnie do otworka pudełka i dalej, ku górnej części ekranu. W ten sposób powstaje odwrócony obraz żarówki lub innych przedmiotów.

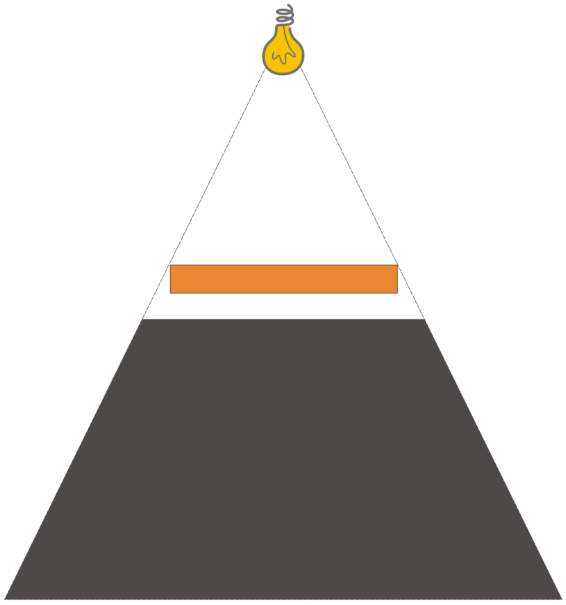
Polecenie 1

Podaj trzy przykłady świadczące o tym, że promienie światła rozchodzą się po liniach prostych.



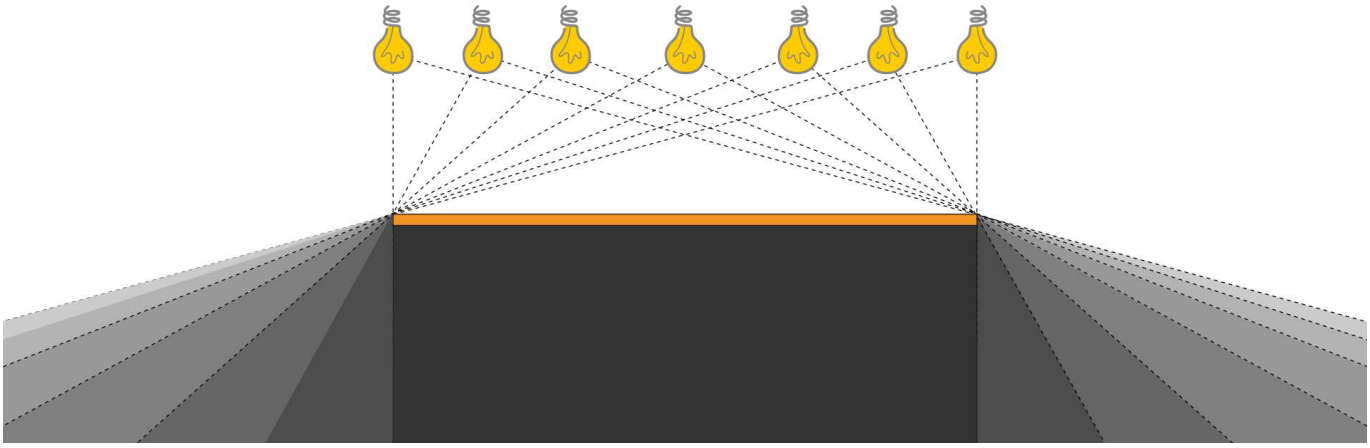
Cień rzucany przez ciało człowieka

Tam, gdzie znajduje się nieprzezroczysta przeszkoda, zatrzymywane są promienie świetlne i powstaje obszar cienia, czyli obszar, do którego nie dochodzą promienie świetlne.



Jak powstaje cień

Przypatrz się swojemu cieniowi, gdy oświetla cię światło słoneczne. Czy ma ostre krawędzie, czy też możesz zaobserwować pewien obszar, w którym cień jest „słabszy", a krawędzie cienia nieostre?
Efekt występowania obszaru „jaśniejszego" cienia nazywamy półcieniem. W jaki sposób on powstaje?



Powstawanie półcienia

Półcień powstaje wtedy, gdy mamy do czynienia z nieprzezroczystym przedmiotem oświetlanym rozciągłym źródłem światła. Cień bez półcienia powstaje tylko wówczas, gdy nieprzezroczysty przedmiot oświetlony jest punktowym źródłem światła.

Punktowe źródło światła to takie, którego rozmiary są zdecydowanie mniejsze od odległości od oświetlanego przedmiotu. Na przykład oddalona od nas o tysiące lat świetlnych gwiazda, mimo swojego ogromnego rozmiaru, może być traktowana jako punktowe źródło światła, ponieważ jej średnica w porównaniu z jej odległością od Ziemi jest bardzo mała.

Gdy mówimy o rozciągłych źródłach światła, mamy na myśli takie źródła, których rozmiary są stosunkowo duże w porównaniu z odległością od oświetlanego przedmiotu. Na przykład Słońce w porównaniu z odległością między nim a Ziemią ma na tyle duże rozmiary, że możemy traktować je jako rozciągłe źródło światła.
Świecąca żarówka elektryczna jest przykładem źródła światła, które możemy w zależności od jej odległości od oświetlanego przedmiotu traktować jako źródło rozciągłe– gdy jest blisko – lub punktowe – jeśli odległość dzieląca ją od oświetlanego przedmiotu jest wystarczająco duża.

Za oświetlonym przedmiotem powstaje cień. Ponieważ rozciągłe źródło światła oświetla przedmiot pod różnymi kątami, część promieni może oświetlić obszar za przedmiotem i tym sposobem powstaje cień nieco jaśniejszy od tego powstałego bezpośrednio za przedmiotem. Ten nieco jaśniejszy cień nazywany jest właśnie półcieniem. Gdy znajdziemy się w obszarze półcienia, widzimy fragment powierzchni źródła światła. Natomiast z obszaru cienia nie jesteśmy w stanie w ogóle zaobserwować źródła. Sytuacja taka występuje podczas zaćmień Słońca. Jeżeli znajdziesz się w stożku cienia Księżyca, to zaobserwujesz zakrytą tarczę Słońca. Jeżeli znajdziesz się w obszarze stożka półcienia Księżyca, to zobaczysz tzw. zaćmienie częściowe – część tarczy Słońca będzie przesłonięta tarczą Księżyca.

> **Zapamiętaj!**

> Powstawanie cienia i półcienia jest dowodem na prostoliniowe rozchodzenie się promieni świetlnych.

> **Polecenie 2**
>
> Podaj przykłady, dla których to samo źródło światła można potraktować raz jako punktowe, a innym razem jako rozciągłe.

Podsumowanie

- Jeżeli światło, które wyszło z jakiegoś ciała dotrze do naszego oka i wywoła w nim wrażenie świetlne, to powiemy, że widzimy to ciało. Światło to może pochodzić bezpośrednio z wysyłającego je źródła ale widzimy również przedmioty, od których światło się odbiło.
- Źródłem światła jest każde ciało emitujące promieniowanie świetlne.
- Znane nam źródła światła możemy podzielić na dwie grupy:
    - naturalne źródła światła (Słońce, gwiazdy, świetliki, niektóre stworzenia morskie, wyładowania atmosferyczne);
    - sztuczne źródła światła (żarówki elektryczne, neony, diody LED, ognisko).
- Źródła światła mogą być punktowe i rozciągłe.
    - O punktowym źródle światła mówimy wtedy, gdy możemy przyjąć, że promienie wychodzą z jednego punktu. Jest tak wtedy, gdy rozmiary źródła światła są wielokrotnie mniejsze od odległości dzielącej to źródło od oświetlanego przedmiotu.
    - Jeżeli rozmiary źródła są większe od oświetlanego przedmiotu (na przykład Słońce oświetlające Ziemię lub Księżyc), to mówimy o rozciągłych źródłach światła.
- Oprócz źródeł światła są jeszcze obiekty, które świecą światłem odbitym. Należą do nich do nich Księżyc i planety, które nie emitują światła, jedynie odbijają światło słoneczne.
- Podczas rozchodzenia sie światła występuje zjawisko powstawania cienia i półcienia – oba zjawiska są dowodem na to, że światło w ośrodkach jednorodnych rozchodzi się prostoliniowo.
- Obszar, do którego nie dochodzą promienie świetlne, nazywamy cieniem.
- Jeżeli nieprzezroczysty przedmiot jest oświetlany rozciągłym źródłem światła lub gdy przedmiot oświetlany jest kilkoma źródłami punktowymi, to oprócz cienia powstaje obszar półcienia, do którego dociera światło tylko z części źródła światła.

Praca domowa

Polecenie 3.1

Pewne nieprzezroczyste ciało, znajdujące się w określonej odległości od ekranu, oświetlono raz żarówką z punktowym żarnikiem, a drugi raz żarówką z żarnikiem rozciągłym. Co można powiedzieć na temat cienia i półcienia rzucanego przez to ciało? Zaprezentuj graficznie omówione sytuacje.

Polecenie 3.2

Wykonaj rysunek przedstawiający Słońce oraz Ziemię. Słońce jest znacznie większe od Ziemi. Narysuj obszar, do którego nie trafiają promienie słoneczne (obszar cienia) oraz obszar, do którego promienie trafiają tylko z części powierzchni Słońca (obszar półcienia).

Polecenie 3.3

Poszukaj w Internecie informacji na temat całkowitych i częściowych zaćmień Słońca i Księżyca. Przeanalizuj i porównaj znalezione interpretacje tych zjawisk.

Polecenie 3.4

Na podstawie czego poznasz, że znalazłeś się w obszarze półcienia rzucanego przez nieprzezroczyste ciało? Jak udowodnisz fakt, że znalazłeś się w obszarze cienia?

Słowniczek

lata świetlne

– odległość, jaką przebywa światło z prędkością około $300\ 000 \frac{\mathrm{km}}{\mathrm{s}}$ w czasie odpowiadającym podanej liczbie lat ziemskich.

obszar cienia

– obszar, do którego nie dochodzą promienie świetlne.

półcień

– powstaje zawsze, gdy mamy do czynienia z nieprzezroczystym przedmiotem oświetlanym rozciągłym źródłem światła. Do obszaru półcienia trafia tylko część promieni ze źródła i z obszaru półcienia widać tylko część źródła światła.

punktowe źródło światła

– źródło, którego rozmiary pozostają niezmienne niezależnie od odległości do oświetlanego przedmiotu.

rozciągłe źródło światła

– źródło, które jest stosunkowo duże w porównaniu z odległością między tym źródłem a oświetlanym przedmiotem.

źródło światła

– każde ciało wysyłające (emitujące) światło.

Zadania podsumowujące lekcję

Ćwiczenie 3

Uzupełnij tekst.

Jednym z nowoczesnych źródeł światła jest [ ] elektroluminescencyjna.

Źródło: Dariusz Kajewski <Dariusz.Kajewski@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 4

Które informacje są prawdziwe, a które fałszywe?

	Prawda	Fałsz
Rozciągle źródła światła mają rozmiary dużo mniejsze niż odległość między źródłem światła a oświetlanym przedmiotem.	◯	◯
Gwiazda może być traktowana jako punktowe źródło światła.	◯	◯
Punktowe źródło światła ma zawsze mniejsze rozmiary niż oświetlany przedmiot.	◯	◯

Źródło: Dariusz Kajewski <Dariusz.Kajewski@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Prawo odbicia światła. Powstawanie obrazu pozornego w zwierciadle płaskim. Rozproszenie światła

Jeśli nie wiesz, co jest po drugiej stronie lustra, zapytaj fizyka! Odpowie ci, że nie znajdziesz tam odwróconej kopii naszego świata, ale inny, równie tajemniczy świat fizyki. Wypowie wiele brzmiących jak zaklęcia nazw fizycznych, takich jak obraz pozorny, prawo odbicia światła i promień świetlny.

Choć obecnie bez luster, czyli szklanych zwierciadeł płaskich, nie wyobrażamy sobie życia, to ich historia nie jest szczególnie długa. Jednak samo zjawisko odbicia, które sprawia, że lustra mogą istnieć i działać, jest znane od wieków i równie fascynujące, jak one same

Już potrafisz

- opisać prostoliniowy bieg promieni światła;
- wskazać, które ciała są źródłami światła, a które świecą światłem odbitym;
- odróżnić punktowe i rozciągłe źródła światła;
- wyjaśnić zjawisko powstawania cienia i półcienia.

Nauczysz się

- podawać definicję kąta padania i odbicia;
- przytaczać treść prawa odbicia światła;
- konstruować obrazy w zwierciadle płaskim;
- podawać definicję obrazu pozornego;
- opisywać zjawisko rozproszenia światła.

1. Odbicie światła

Przeprowadź obserwację, która pozwoli ci zrozumieć mechanizm powstawania obrazu w wyniku odbicia promieni świetlnych, takiego jakie widzisz na powierzchni lustra lub tafli wody.

Obserwacja 1

Analiza zjawiska odbicia światła.

Co będzie potrzebne

- lusterko bez ramki;
- latarka z silnym światłem (może być ta wbudowana w telefon);
- grzebień;
- kartka papieru;
- linijka;
- ołówek;
- szeroki plaster lub srebrna taśma izolująca.

Instrukcja

1. Na ząbki grzebienia naklej taśmę, tak aby po środku została jedna lub dwie niezaklejone szczeliny.
2. Na kartce namaluj prostą prostopadłą do dłuższej krawędzi kartki.
3. Do tej samej krawędzi leżącej na biurku kartki przyłóż następnie w pionie lusterko odbijającą stroną.
4. Ustaw grzebień na blacie stołu wzdłuż przeciwległej do lusterka dłuższej krawędzi kartki, tak aby końcówki ząbków stały prostopadle do blatu.

5. Oświetl grzebień, uzyskując jeden lub dwa promienie światła przechodzące przez niezaklejone szczeliny.

6. Oświetl lusterko tak, aby światło latarki padało na punkt, w którym narysowana prosta spotyka się z powierzchnią lusterka.

7. Zmieniaj kąt, pod jakim oświetlasz lusterko, ustawiając grzebień pod różnymi kątami do kartki papieru – latarkę trzymaj zawsze tak, by światło padało prostopadle na grzebień.

8. Co dzieje się z promieniem światła odbitym przez lusterko?

Podsumowanie

Aby uniknąć niejednoznaczności w opisie obserwowanego przez nas zjawiska, powinniśmy najpierw poznać definicje kilku pojęć. W fizyce wszystkie gładkie powierzchnie, które odbijają światło, nazywa się zwierciadłami. Prosta prostopadła do powierzchni zwierciadła nosi nazwę normalnej. Światło latarki padało w punkcie, w którym prosta prostopadła (normalna) stykała się z powierzchnią zwierciadła. Kąt między promieniem padającym a prostopadłą nazywamy kątem padania. Promień padający odbija się od powierzchni zwierciadła i powstaje promień odbity. Kąt między promieniem odbitym a prostopadłą nazywamy kątem odbicia.

Obserwacja wykazała, że zmiana kąta, pod którym pada światło latarki na lusterko po przejściu przez grzebień pociąga za sobą zmianę kąta, pod którym padające światło się odbija. Gdy kąt padania rośnie, rośnie również kąt jego odbicia, gdy maleje – kąt odbicia także maleje.

Jeżeli w szkole znajdują się tzw. stoliki optyczne, to spróbujcie wspólnie z nauczycielem wykonać pomiary kąta padania i kąta odbicia. Zobaczycie wtedy, że słuszne jest prawo odbicia, o którym dowiecie się więcej w dalszej części podręcznika.

1.1 Prawo odbicia

Zmieniając kąt padania światła, jednocześnie zmieniamy kąt jego odbicia. Kąt padania i kąt odbicia wraz z prostą prostopadłą leżą w tej samej płaszczyźnie i są sobie równe.

Zasób interaktywny dostępny pod adresem https://zpe.gov.pl/a/D1DVhc9NF

Prawo odbicia światła

Prawo: Prawo odbicia

Kąt odbicia jest równy kątowi padania. Promień padający i promień odbity oraz prostopadła do powierzchni zwierciadła w punkcie padania leżą w tej samej płaszczyźnie.

Polecenie 1

Zastanów się, w jakich sytuacjach wykorzystujesz prawo odbicia światła? Zapisz te przykłady.

Polecenie 2

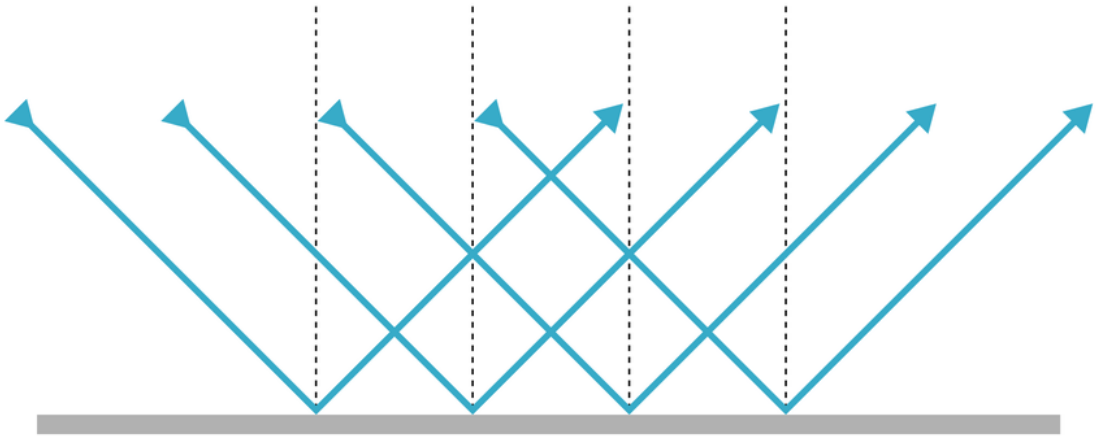
Promień światła pada pod kątem 40° na zwierciadło płaskie. Zwierciadło obrócono o kąt 20° zgodnie z ruchem wskazówek zegara. Uzasadnij, że kąt odbicia po obrocie zwierciadła będzie wynosił 60° lub 20° w zależności od tego, jak pada promień na zwierciadło.

Polecenie 3

Dwa zwierciadła płaskie ustawiono względem siebie pod kątem 90°. Na jedno z nich pada promień światła pod kątem 30°. Narysuj dalszy bieg promienia światła w tym układzie luster.

2. Zwierciadło płaskie

Zwierciadła płaskie są płaskimi powierzchniami odbijającymi promienie świetlne, wykonanymi zwykle z metalu lub szkła pokrytego dodatkową warstwą aluminium lub srebra.
Dlaczego zwierciadła tak dobrze odbijają światło?



Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

Odbicie światła od powierzchni zwierciadła płaskiego

Zwierciadło płaskie

Powierzchnia zwierciadła jest niemal idealnie płaska; padające na nią równoległe promienie światła odbijają się dokładnie tak, że są nadal równoległe. Dzięki temu jesteśmy w stanie zobaczyć w zwierciadle obraz, który tak zaskakująco wiernie odwzorowuje każdy szczegół przedmiotu.

> **Ciekawostka**
>
> Gładką powierzchnię w dawnych czasach uzyskiwano przez polerowanie metalu – tak robiono np. w starożytnym Egipcie, Chinach czy Cesarstwie Rzymskim.

Powierzchnia wypolerowanego metalu od starożytności aż do dziś pełni rolę lustra

Później powierzchnię szkła zaczęto pokrywać cienką warstwą srebra lub innego metalu. Obecnie najlepsze zwierciadła uzyskuje się poprzez napylenie bardzo cienkiej (mającej grubość kilku lub kilkunastu atomów) warstwy metalu – najczęściej glinu.

> **Polecenie 4**
>
> Podaj trzy przykłady praktycznego zastosowania zwierciadeł płaskich.

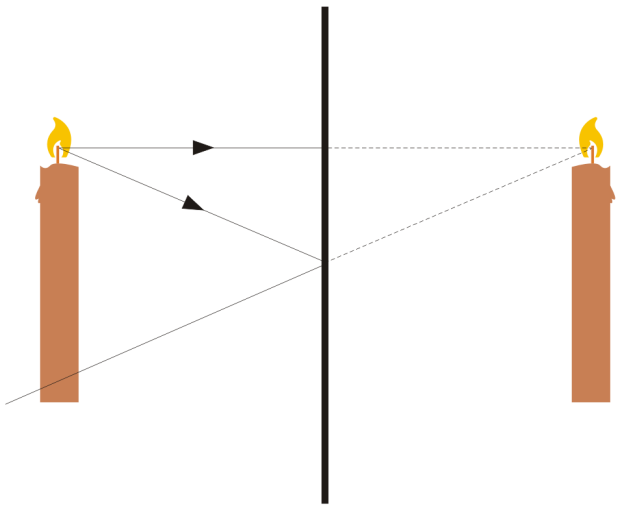
2.1 Powstawanie obrazu w zwierciadle płaskim

Odbicie w zwierciadle płaskim

Gdy obserwujesz w lustrze własne odbicie, możesz odnieść wrażenie, że z jego drugiej strony spogląda na ciebie twoja wierna kopia. Co więcej, znajduje się po jego drugiej stronie w takiej samej odległości co ty i powtarza wszystkie gesty, które wykonujesz. Obraz i przedmiot są symetryczne. Obraz powstający w zwierciadle płaskim jest – jak mówią fizycy – **prosty**. Jest on również **równy przedmiotowi co do wielkości** – nie został ani powiększony, ani pomniejszony. Nie zawsze tak jest – w zwierciadłach, które nie są płaskie, powstający obraz może być odwrócony, powiększony lub pomniejszony w stosunku do przedmiotu – tym zajmiemy się w następnych rozdziałach.

2.2 Konstrukcja obrazu w zwierciadle płaskim

Aby wyznaczyć konstrukcyjnie obraz punktu w zwierciadle płaskim, musisz skorzystać minimum z dwóch promieni świetlnych wychodzących z punktu leżącego przed zwierciadłem. Pierwszy prostopadły do powierzchni zwierciadła odbija się od zwierciadła i powraca taką samą drogą, jaką przybył. Jego przedłużenie pozwoli ci na wyznaczenie prostej, na której powinien znaleźć się obraz. Drugi zostaje wysłany pod pewnym kątem do powierzchni zwierciadła i zgodnie z prawami fizyki odbija się od niej pod takim kątem, pod jakim pada. Odbite promienie rozbiegają się. Gdy jednak trafią do oka, powstanie wrażenie, jakby oba promienie wychodziły z wnętrza zwierciadła, z jakiegoś punktu, który znajduje się po drugiej stronie. Oczywiście, że takiego punktu tam w rzeczywistości nie ma. Punkt, o którym mówimy, to obraz pozorny punktu znajdującego się przez zwierciadłem. Obraz taki powstaje w punkcie przecięcia się przedłużeń promieni odbitych od zwierciadła. Widać to dokładnie na poniższej ilustracji:

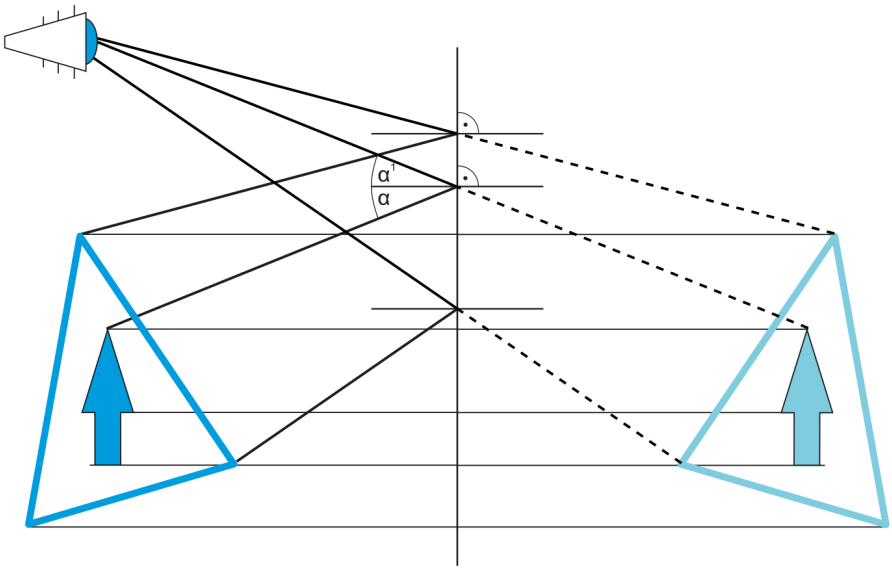


Konstrukcja obrazu pozornego płomienia świecy

> **Zapamiętaj!**

> Obraz pozorny powstaje za zwierciadłem w miejscu, gdzie przecinają się przedłużenia promieni odbitych. Promienie w rzeczywistości nie wychodzą z tego punktu, ale zdają się z niego wychodzić. W rezultacie obserwator widzi w lustrze obraz punktu dokładnie w miejscu przecinania się przedłużeń promieni odbitych – stąd bierze się wrażenie oglądania świata po drugiej stronie lustra.

W podobny sposób tworzymy obrazy bardziej złożonych przedmiotów. W przypadku figur opisaną powyżej konstrukcję należy powtórzyć dla każdego z jej wierzchołków. Przeanalizuj bieg promieni na poniższej ilustracji, wskaż promienie padające na zwierciadło i odbite od niego oraz przedłużenia promieni odbitych



Konstrukcja obrazu figury w zwierciadle płaskim

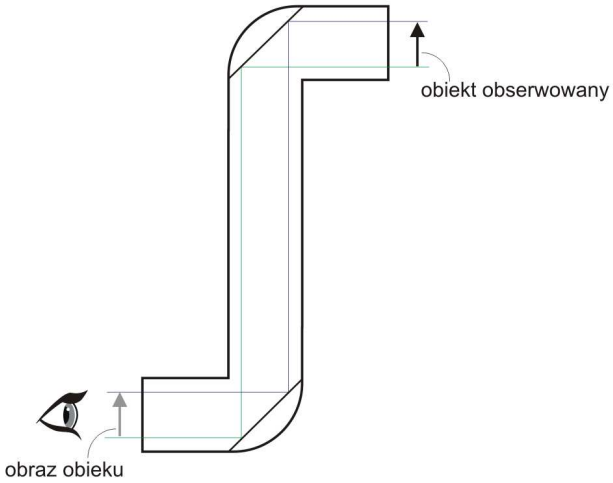
> **Polecenie 5**
>
> Przeprowadź samodzielnie konstrukcję obrazu rombu w zwierciadle płaskim.

3. Wykorzystanie zwierciadeł płaskich

Zwierciadła płaskie znalazły szerokie zastosowanie zarówno w życiu codziennym, jak i w wielu urządzeniach.

Lusterko wsteczne w samochodzie

Lusterko wsteczne w samochodzie podnosi bezpieczeństwo jazdy. Dzięki niemu możemy prawidłowo ocenić, w jakiej odległości za naszym pojazdem znajdują się pozostali uczestnicy ruchu drogowego. Należy jednak zauważyć, że często rolę lusterka wstecznego pełnią zwierciadła wypukłe, ale ich przeznaczenie jest takie samo.
W urządzeniach zwykle zwierciadła płaskie stosowane są do zmiany kierunku biegu promieni świetlnych. Jan Heweliusz wynalazł peryskop, którego ważnym elementem jest układ zwierciadeł płaskich.



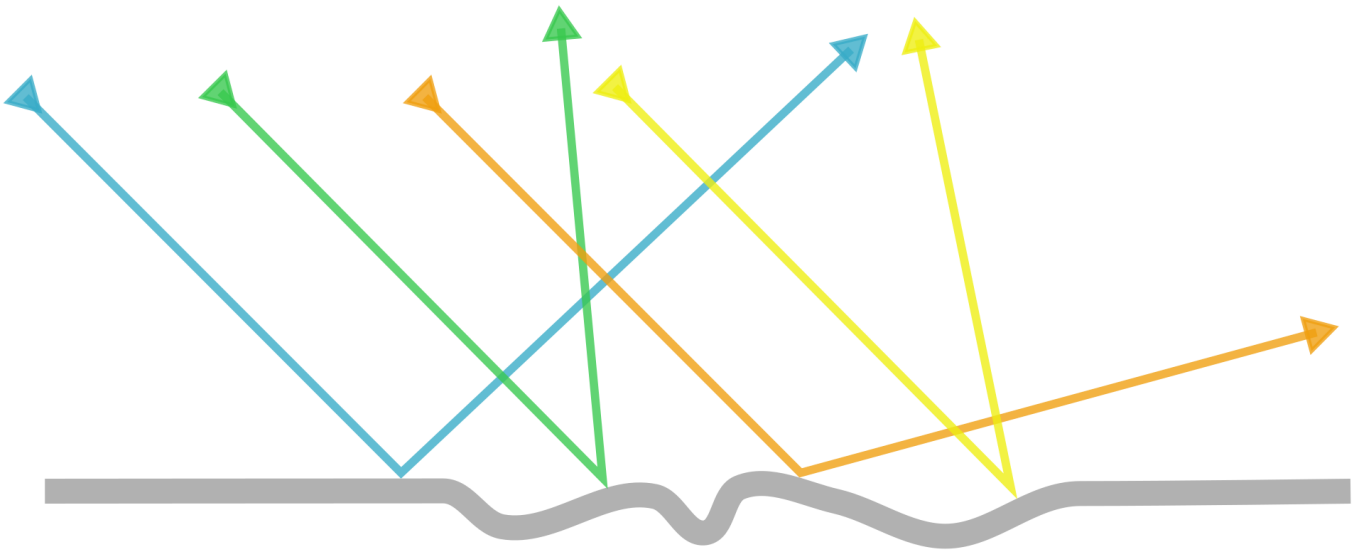
Zasada działania peryskopu

Peryskop w swojej pierwotnej wersji wykorzystywał układ zwierciadeł, który pozwalał na powstawanie w naszym oku obrazów przedmiotów znajdujących się za przeszkodami.

> **Ciekawostka**
>
> Potoczna nazwa jednego z typów aparatów fotograficznych, czyli „lustrzanka”, nawiązuje do płaskiego zwierciadła (lustra) będącego istotnym elementem jego konstrukcji.

4. Rozpraszanie światła

To, że możesz oglądać obraz w lustrze, wynika ze sposobu, w jaki światło jest odbijane od jego powierzchni. Większość promieni odbitych trafia do naszego oka, gdzie na siatkówce tworzony jest odwrócony obraz przedmiotu. Co by się jednak stało, gdyby powierzchnia lustra była chropowata? W takiej sytuacji doszłoby do rozproszenia światła.

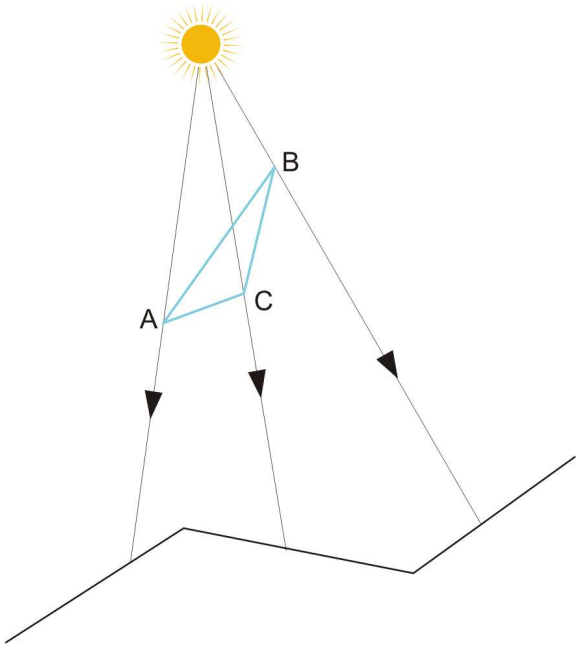


Powierzchnia przedmiotów, na których światło ulega rozproszeniu, jest chropowata

Promienie odbite, ze względu na nierówności płaszczyzny zwierciadła, zgodnie z prawem odbicia podążałyby w zupełnie różnych kierunkach, nie trafiając w ogóle lub tylko w części do naszego oka. Obraz przedmiotu byłby wówczas niewidoczny lub rozmyty.

Rozproszenie światła następuje również podczas przejścia promienia przez obszar, w którym występują na przykład pyłki kurzu lub kropelki wody (mgła). Warto wiedzieć, że światło rozprasza się także na atomach i cząsteczkach gazów wchodzących w sklad atmosfery Ziemi. Jednak w przypadku rozpraszania światła w atmosferze ziemskiej efekt jest ciekawszy – najsilniej rozpraszane są promienie o barwie niebieskiej – stąd bierze się niebieska barwa nieba. Światło Słońca podczas zachodu ulega silnemu rozproszeniu i do naszych oczu przechodzi głównie światło o barwie czerwonej i pomarańczowej – dlatego zachodzące Słońce ma barwę czerwono-pomarańczową. Zagadnienia te możesz poznać dokładniej podczas nauki w szkole ponadgimnazjalnej i na studiach wyższych, ale podziwiać zachodzące Słońce możesz już teraz.

Polecenie 6



Źródło: ContentPlus, licencja: CC BY 3.0.

Narysuj bieg promieni odbitych w przypadku „chropowatego” zwierciadła płaskiego (rysunek powyżej). Narysuj obraz trójkąta ABC w tym zwierciadle. Czy jest to możliwe? Swoją odpowiedź uzasadnij.

Podsumowanie

- Jednym z podstawowych praw optyki geometrycznej jest **prawo odbicia**. Głosi ono, że kąt odbicia jest równy kątowi padania. Promień padający i promień odbity oraz normalna do powierzchni zwierciadła leżą w tej samej płaszczyźnie.
- Zwierciadła płaskie są płaskimi powierzchniami odbijającymi, wykonanymi zwykle z metalu lub szkła pokrytego dodatkową warstwą z aluminium lub srebra.
- Obraz utworzony w zwierciadle płaskim jest prosty i pozorny. Obraz prosty to taki, który w stosunku do przedmiotu nie jest odwrócony. Obraz pozorny powstaje za zwierciadłem w miejscu, gdzie przecinają się przedłużenia promieni odbitych. Promienie nie wychodzą z tego punktu, ale zdają się z niego wychodzić. W rezultacie obserwator widzi obraz punktu dokładnie w miejscu przecinania się przedłużeń promieni odbitych – z jego perspektywy jest to obszar po drugiej stronie lustrzanej tafli.
- Utworzony w zwierciadle płaskim obraz jest równy przedmiotowi, to znaczy nie jest ani powiększony, ani pomniejszony w stosunku do przedmiotu.

- Zwierciadła płaskie znalazły szerokie zastosowanie jako istotne elementy instrumentów optycznych, począwszy od lusterek samochodowych, luster domowych, aparatów fotograficznych, a skończywszy na laserach.
- Rozproszenie światła polega na zmianie kierunku rozchodzenia się promieni światła. Jeśli równoległa wiązka promieni światła pada na zwierciadło płaskie, to po odbiciu pozostaje równoległa. Jednak gdy powierzchnia zwierciadła nie jest wystarczająco gładka, wiązka obita ulega rozproszeniu. Kierunki promieni odbitych przestają być równoległe, stają się przypadkowe.

Praca domowa

Polecenie 7.1

Jaki musi być kąt padania promienia, aby pomiędzy promieniem padającym a odbitym utworzył się kąt prosty?

Polecenie 7.2

Kąt pomiędzy płaszczyzną zwierciadła a promieniem padającym wynosi 30°. Oblicz kąt odbicia oraz kąt pomiędzy promieniem padającym a odbitym.

Polecenie 7.3

Dlaczego widzimy strumień światła przechodzący przez mgłę równolegle do naszej twarzy, a nie widzimy go w czystym i przejrzystym powietrzu?

Zadania podsumowujące lekcję

Ćwiczenie 1

Zaznacz prawidłowe stwierdzenia.

- [ ] Promień padający i promień odbity razem z normalną leżą na tej samej płaszczyźnie.
- [ ] Kąt odbicia znajduje się między powierzchnią zwierciadła a promieniem odbitym.
- [ ] Kąt odbicia i kąt padania są zawsze równe.

Źródło: Dariusz Kajewski <Dariusz.Kajewski@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 2

Uzupełnij lukę.

Gdy praktycznie wszystkie równoległe padające promienie światła odbijają się od powierzchni i dalej biegną równolegle, mamy pewność, że promienie odbiły się od [ ].

chropowatej powierzchni | zwierciadła płaskiego | dowolnej powierzchni

Źródło: Dariusz Kajewski <Dariusz.Kajewski@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Słowniczek

kąt odbicia

– kąt pomiędzy promieniem odbitym a prostą prostopadłą (normalną) do powierzchni odbicia.

kąt padania

– kąt pomiędzy promieniem padającym a prostą prostopadłą (normalną) do powierzchni odbicia.

normalna

– prosta prostopadła do powierzchni zwierciadła poprowadzona w punkcie padania promienia światła. Padający promień, prosta normalna i promień odbity leżą w jednej płaszczyźnie.

obraz odwrócony

– obraz przedmiotu, który jest w stosunku do niego odwrócony.

obraz pozorny

– obraz pozorny powstaje za zwierciadłem w miejscu, gdzie przecinają się przedłużenia promieni odbitych. Promienie nie wychodzą z tego punktu, ale zdają się z niego wychodzić. Obserwator widzi obraz punktu dokładnie w miejscu przecinania się przedłużeń promieni odbitych.
obraz prosty

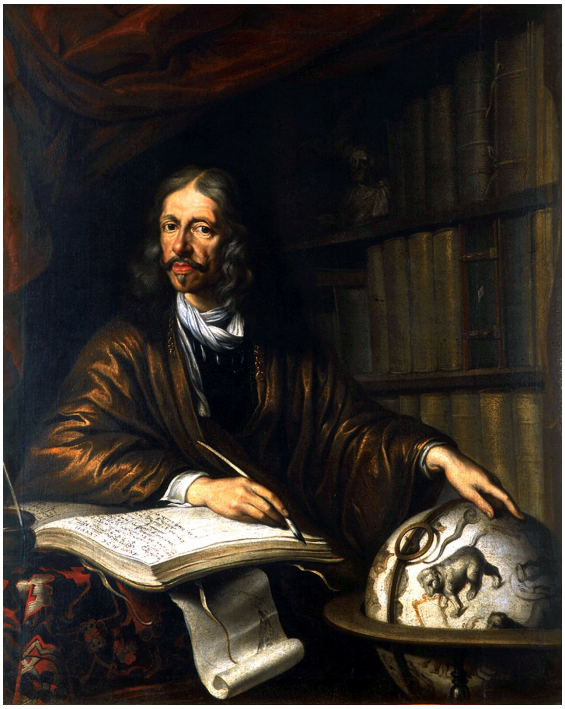
– obraz przedmiotu, który nie jest w stosunku do niego odwrócony.
peryskop

– przyrząd optyczny, który składa się z dwóch zwierciadeł (pryzmatów) i pozwala obserwować przedmioty poza polem widzenia obserwatora.
rozproszenie światła

– polega na zmianie kierunku rozchodzenia się promieni światła. Jeśli równoległa wiązka promieni światła pada na zwierciadło płaskie, to po odbiciu pozostaje równoległa. Jednak gdy powierzchnia zwierciadła nie jest wystarczająco gładka, wiązka obita ulega rozproszeniu. Kierunki promieni odbitych przestają być równoległe, stają się przypadkowe.
zwierciadła płaskie

– płaskie powierzchnie odbijające, wykonane zwykle z metalu lub szkła pokrytego dodatkową warstwą z aluminium lub srebra.

Biogram



Jan Heweliusz, gdański astronom i matematyk, konstruktor peryskopu

Jan Heweliusz

28.01.1611–28.01.1687

W pierwszej połowie lat czterdziestych XVII wieku Heweliusz prowadził systematyczne teleskopowe obserwacje Księżyca. W swoim dziele *Selenografia, czyli opisanie Księżyca* przedstawił budowę skonstruowanych przez siebie przyrządów astronomicznych, za pomocą których sporządził szczegółowe mapy powierzchni Księżyca. Pierwszy w historii zagraniczny członek londyńskiego *Royal Society*.

Ognisko i ogniskowa zwierciadła wklęsłego. Konstrukcja obrazów wytworzonych przez zwierciadła wklęsłe

Wiecie, jak wygląda wasze odbicie w lustrze, ale jak wyglądałoby, gdybyście stanęli przed wielkim zwierciadłem, którego powierzchnia odbijająca jest wewnętrzną częścią sfery? Czy potrafilibyście geometrycznie skonstruować powstały obraz, tak jak to robiliśmy w przypadku zwierciadła płaskiego?

Zwierciadło wklęsłe to szczególny rodzaj zwierciadła odbijający światło w specyficzny sposób. Ma ono bardzo szeroki zakres zastosowań i stanowi kluczowy element wielu różnych urządzeń. Stosuje się je m.in. w reflektorach samochodowych (o ściśle określonym kształcie) do uzyskiwania skupionej wiązki światła.

Już potrafisz

- podać definicję zwierciadła płaskiego i przytoczyć przykłady jego zastosowania;
- podać treść prawa odbicia;
- wykorzystać prawo odbicia do geometrycznej konstrukcji obrazu w zwierciadle płaskim;
- podać definicję obrazu prostego i pozornego;
- opisać zjawisko rozproszenia światła przy odbiciu od chropowatej powierzchni.

Nauczysz się

- podawać definicję zwierciadła wklęsłego;
- podawać definicję podstawowych parametrów układu optycznego zwierciadła wklęsłego, takich jak oś optyczna, promień, ognisko i ogniskowa;
- wymieniać zastosowania zwierciadła wklęsłego;

- opisywać obrazy powstające w zwierciadle wklęsłym, przy różnych odległościach przedmiotu od niego;
- konstruować obrazy przedmiotu przy jego różnych odległościach od zwierciadła.

1. Zwierciadła wklęsłe

Gdy obserwujesz uważnie wewnętrzną powierzchnię metalowej łyżki lub chochli bądź też szklany reflektor latarki, możesz zauważyć, że są one wklęsłe i dobrze odbijają padające promienie świetlne. Są one przykładem zwierciadeł wklęsłych.

Przykłady zwierciadeł wklęsłych

Powierzchnia zwierciadeł wklęsłych jest częścią wewnętrznej powierzchni sfery lub innej bryły obrotowej. Zwierciadła latarek i reflektorów samochodowych mają zwykle kształt powierzchni parabolicznych.

Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

Sposób tworzenia powierzchni zwierciadła wklęsłego o kształcie paraboloidy

filmik prezentujący reflektor samochodowy, nie widać szczegółów konstrukcji tylko jak świeci. Animacja przedstawiająca obrót paraboli wokół osi symetrii (prosta pozioma przechodząca przez punkt F). Krzywa obraca się i tworzony jest kształt paraboloidy. powstała paraboloida przecinana jest w płaszczyźnie rysunku, połowa odpada, widać przekrój. Na parabolę pada wiązka promieni równoległych do osi symetrii i po odbiciu skupiają się w jednym punkcie F. To samo co w poprzedniej scenie ale w odwrotnym kierunku. statyczny rys. wzorcowy. Linie bez strzałek.

Gdy zaczniesz obracać wokół średnicy okrąg, wówczas otrzymasz sferę (powierzchnię kuli). Gdy „odetniesz” jej fragment i sprawisz, by jej wewnętrzna część bardzo dobrze

odbijała światło, wówczas uzyskasz wklęsłe zwierciadło kuliste (sferyczne).

Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

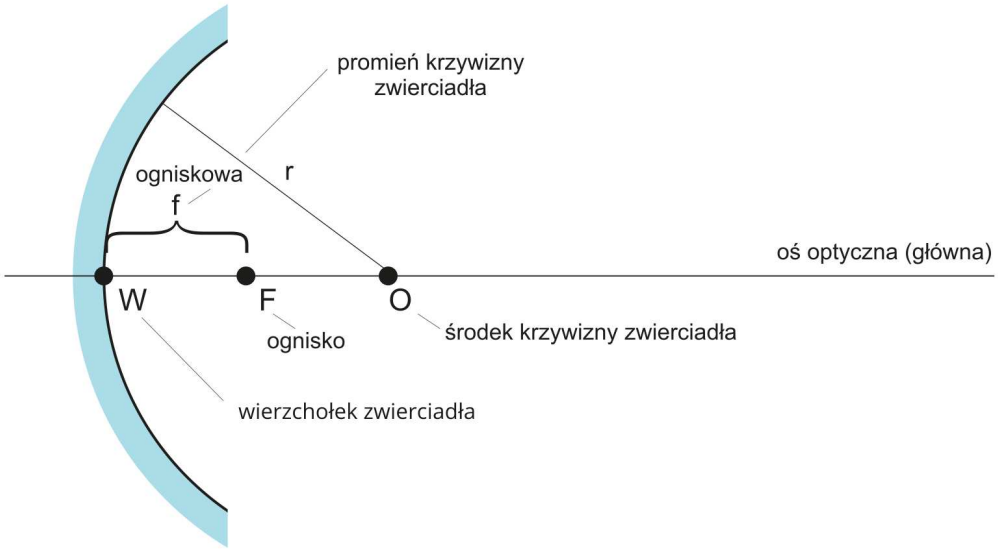
Zwierciadło kuliste

Scena przedstawia wycieniowaną kulę. Animowany nóż odcina część kuli wzdłuż pionowej płaszczyzny z lewej strony. ¾ kuli odpada i znika, pozostaje ¼ z lewej i widać że jest pusta i srebrzysta wewnątrz. Pojawia się paraboloida i obie powierzchnie się nakładają. Widać, ze blisko środka praktycznie się pokrywają natomiast dalsze obszary się rozjeżdżają. Do rysunku z poprzedniej sceny dorysowywane jst kilka promieni blisko osi optycznej, które odbijają się (zgodnie z prawami odbicia) i skupiają w jednym punkcie.

Aby omówić cechy zwierciadeł wklęsłych, bieg promieni oraz nauczyć się konstruować obrazy w zwierciadłach wklęsłych, będziemy posługiwać się zwierciadłem parabolicznym, ponieważ w takim zwierciadle promienie odbite od zwierciadła skupiają się w ognisku.

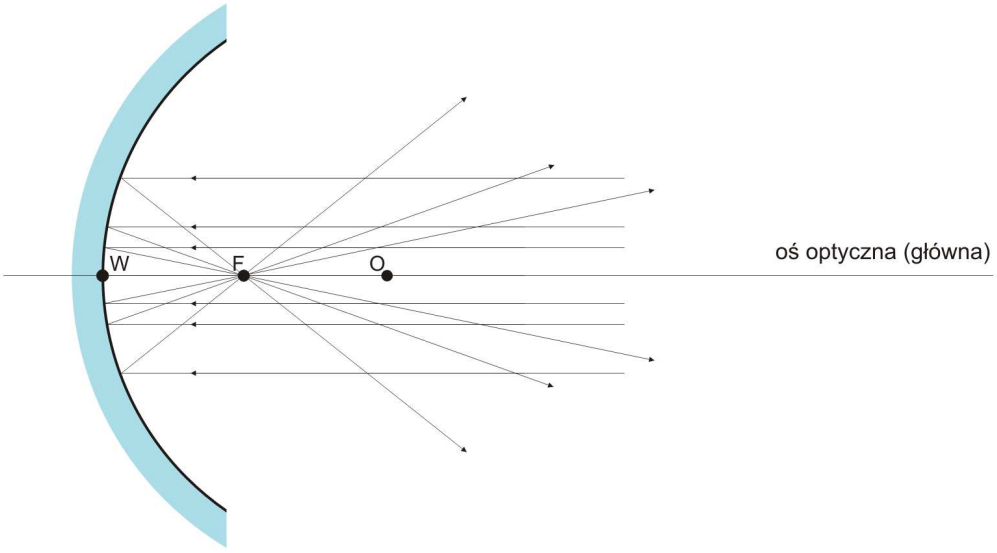
2. Pojęcia i wielkości opisujące zwierciadło kuliste wklęsłe

Do opisu i wyjaśnienia powstawania obrazu przy użyciu zwierciadła kulistego wklęsłego potrzebne będą pewne pojęcia. Ich ilustrację możemy zobaczyć na poniższym rysunku:



Źródło: ContentPlus.

Jednym z parametrów opisujących zwierciadło wklęsłe jest promień krzywizny zwierciadła nazywamy promieniem krzywizny zwierciadła.
Oś optyczna to prosta przechodząca przez środek krzywizny zwierciadła (O), pokrywająca się z jego osią symetrii. Promień krzywizny to również odcinek między punktem O a punktem, w którym oś optyczna przechodzi przez powierzchnię zwierciadła (niekiedy nazywany wierzchołkiem zwierciadła).
Ognisko zwierciadła (F) jest punktem geometrycznym, gdzie przecinają się wszystkie promienie odbite od powierzchni zwierciadła wklęsłego, które padały na niego przed odbiciem równolegle do jego osi optycznej. Ognisko leży dokładnie w połowie promienia krzywizny zwierciadła.



Ognisko zwierciadła to punkt, w którym przecinają wszystkie promienie, biegnące przed odbiciem równolegle do osi optycznej zwierciadła

Ponieważ punkt F nazywa się ogniskiem zwierciadła, to długość odcinka łączącego ten punkt z powierzchnią zwierciadła (W), wzdłuż osi optycznej, nazywamy odległością ogniskową zwierciadła.
Między ogniskową (f) a promieniem krzywizny (r) zwierciadła kulistego wklęsłego istnieje następująca zależność:

$$f = \frac{r}{2}$$

Jednostką ogniskowej f w układzie SI jest metr.

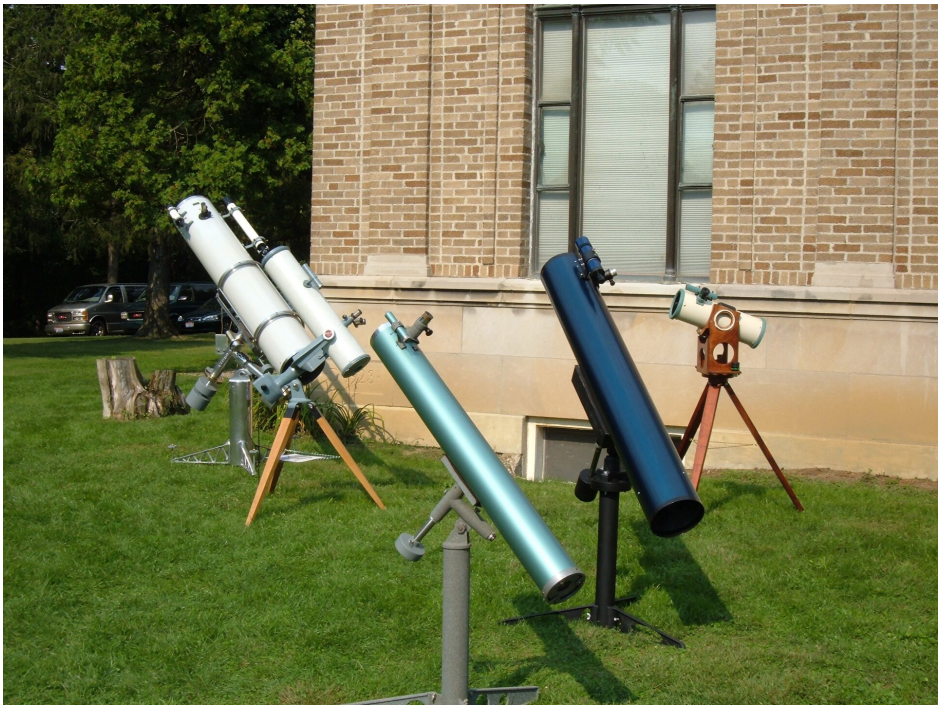
> **Ciekawostka**
>
> Kuchnia słoneczna.
> W krajach, gdzie nie ma energii elektrycznej lub dostęp do niej jest utrudniony, dostęp do energii słonecznej jest zaś praktycznie nieograniczony, stosuje się zwierciadła wklęsłe.

Kuchnia słoneczna, czyli sposób na obiad prawie za darmo

Korzystając z faktu, że promienie słoneczne biegnące równolegle do osi optycznej przecinają się po odbiciu od zwierciadła w jednym punkcie – jego ognisku, możemy wykorzystać ich energię do przygotowania potraw. Wystarczy, że w ognisku zwierciadła umieścimy garnek pokryty ciemną emalią, a będzie on pochłaniał energię promieniowania świetlnego i podgrzewał jedzenie. Taka kuchenka jest wystarczająca do tego, aby zagotować wodę i ugotować dowolną potrawę. W okolicach równika energia promieniowania słonecznego jest na tyle duża, że z pewnością jesteśmy w stanie nawet coś upiec.

Ciekawostka

Teleskop.



Źródło: domena publiczna, dostępny w internecie: https://pl.m.wikipedia.org/wiki/Plik:Newtonian_Telescopes.jpg.

Gdyby nie zwierciadła wklęsłe, nie bylibyśmy w stanie prowadzić obserwacji nieba i badać ciał niebieskich oddalonych od nas o miliony lat świetlnych.

Zadania teleskopów to:

- zbieranie większej ilości światła – powierzchnia obiektywu jest wiele razy większa od powierzchni źrenicy oka, co pozwala na oglądanie ciał bardzo odległych, od których tego światła przychodzi niezwykle mało;
- zwiększanie odległości kątowej pomiędzy obiektami lub fragmentami obiektów, co pozwala na zobaczenie ich struktury.

Teleskop zwierciadlany, przyrząd zaprojektowany przez Izaaka Newtona i używany do dziś, składa się ze zwierciadła wklęsłego, skupiającego dobiegające do niego promienie. Padają one potem na kolejne zwierciadło (płaskie) zmieniające kierunek biegu promieni świetlnych do okularu, a potem do naszego oka. Teleskopy tego typu używane są zarówno przez astronomów amatorów, jak i w największych obserwatoriach astronomicznych świata. Największe pojedyncze zwierciadła teleskopów na świecie mają średnice nieco powyżej 8 metrów. Większe teleskopy mają średnice przewyższające 10 m, ale składają się z wielu segmentów. ma mieć średnicę 39 m i składać się będzie z prawie 800 luster. Budowany obecnie Ekstremalnie Wielki Teleskop ma mieć średnicę 39 m i składać się będzie z prawie 800 luster.

3. Powstawanie obrazu w zwierciadłach wklęsłych

Jak powstaje obraz w zwierciadle wklęsłym kulistym? Zmieniając odległość zwierciadła od przedmiotów, uzyskujesz różne obrazy – odwrócone, proste, pomniejszone, powiększone... lub czasami nie jesteś w stanie uzyskać żadnego obrazu.
Na pytanie, jak powstaje obraz w tego typu zwierciadłach, znajdziesz odpowiedź, posługując się poniższą aplikacją.

Zasób interaktywny dostępny pod adresem https://zpe.gov.pl/a/D6XJuCKJs

Obraz w zwierciadle wklęsłym

Zapamiętaj!

Promień świetlny jest linią, wzdłuż której rozchodzi się światło. W celu geometrycznej konstrukcji obrazu, między innymi w zwierciadłach, posługujemy się tzw. promieniami konstrukcyjnymi. W zwierciadle kulistym wklęsłym będą to:

1. promień równoległy do osi optycznej, który po odbiciu przechodzi przez ognisko zwierciadła F. Bieg tego promienia wynika z definicji ogniska;
2. promień zgodny z promieniem krzywizny zwierciadła, przechodzący przez środek krzywizny zwierciadła O, po odbiciu biegnie tym samym torem. Wynika to z faktu, że kąt padania na powierzchnię zwierciadła jest równy zero;
3. promień przechodzący przez ognisko zwierciadła F po odbiciu od zwierciadła biegnie równolegle do osi optycznej. Podobnie jak w punkcie 1) wynika to z definicji ogniska.

Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

Źródło: Tommorow Sp. z o. o..

Grafika obrazu w zwierciadle wklęsłym. Następnie rysunki przedstawiające schematycznie możliwe sposoby odbicia się konkretnych punktów w zwierciadle.

Doświadczenie 1

Analiza sposobu powstawania obrazów w zwierciadle kulistym wklęsłym.

Instrukcja

Umieść po kolei przedmiot:

1. W ognisku zwierciadła.
2. Za środkiem krzywizny zwierciadła.
3. Między środkiem krzywizny zwierciadła a ogniskiem.
4. Między ogniskiem a powierzchnią zwierciadła.

Czy i jaki obraz powstaje przy każdym położeniu?

Podsumowanie

Jak widzisz, w zależności od położenia przedmiotu powstaje jego różny obraz obserwowany w zwierciadle kulistym wklęsłym. Może to być obraz pozorny (powstający za powierzchnią zwierciadła) lub rzeczywisty (powstający przed powierzchnią zwierciadła), pomniejszony lub powiększony, prosty lub odwrócony.
Obraz punktu powstaje w miejscu, gdzie się przetną promienie po odbiciu od zwierciadła (obraz rzeczywisty) lub w tam, gdzie przetną się przedłużenia promieni odbitych (obraz pozorny – podobnie jak w zwierciadle płaskim).

Cechy obrazu w zwierciadłach kulistych wklęsłych

Położenie przedmiotu (x)	**Położenie obrazu (y)**	**Cechy obrazu powstałego w zwierciadle wklęsłym**
odległość przedmiotu mniejsza od ogniskowej $$\mathrm{x} < \mathrm{f}$$	obraz za zwierciadłem	pozorny, prosty, powiększony
odległość przedmiotu równa się ogniskowej $$\mathrm{x} = \mathrm{f}$$	po odbiciu promienie świetlne biegną równolegle do siebie	brak obrazu
odległość przedmiotu jest większa od ogniskowej i mniejsza od podwójnej ogniskowej $\mathrm{f} < \mathrm{x} < 2f$ lub $\mathrm{f} < \mathrm{x} < \mathrm{r}$	$\mathrm{y} > \mathrm{r}$	rzeczywisty, odwrócony, powiększony
odległość przedmiotu równa jest podwójnej ogniskowej $\mathrm{x} = 2f$ lub $\mathrm{x} = \mathrm{r}$	$\mathrm{y} = \mathrm{r}$	rzeczywisty, odwrócony, ma takie same rozmiary jak przedmiot

odległość przedmiotu większa od podwójnej ogniskowej $x > 2f$ lub $x > r$	$f < y < r$	rzeczywisty, odwrócony, pomniejszony

Ciekawostka

Zwierciadło wypukłe.
W tym podrozdziale poznaliście zwierciadła wklęsłe. Ale nie jest to jedyny typ zwierciadeł o krzywej powierzchni, od której odbija się światło. Zapewne nie raz zdarzyło ci się przeglądać w bombce choinkowej. Jest to także zwierciadło. Jeżeli bombka ma kształt kuli, to jest to zwierciadło kuliste wypukłe.

Odbicie w bombce choinkowej jako przykład odbicia w zwierciadle kulistym wypukłym

Nie tylko powierzchnia bombki choinkowej może być zwierciadłem wypukłym, może nim być równie dobrze sferyczna część chochli lub łyżki.

Polecenie 1

Na kartce papieru narysuj oś optyczną, zaznacz środek krzywizny O i z tego punktu zakreśl przy pomocy cyrkla łuk okręgu. Zaznacz położenie ogniska F. Niech przedmiotem, którego obraz będziesz konstruował, stanie się odcinek AB (prostopadły do osi optycznej, punkt A leży na tej osi). Następnie umieść ten „przedmiot" na rysunku po kolei w odległości $\mathrm{x} > \mathrm{r}$; $\mathrm{x} = \mathrm{r}$; $r > \mathrm{x} > \mathrm{f}$; $\mathrm{x} = \mathrm{f}$; $x < f$ i dla każdego przypadku wykonaj konstrukcję obrazu punktu A. Na końcu sprawdź, czy otrzymane obrazy spełniają relacje podane w tabelce powyżej.

4. Powiększenie

Obraz otrzymany za pomocą zwierciadła wklęsłego może być mniejszy od przedmiotu, większy od niego lub być takiej samej wielkości. Mówimy, że obraz może mieć różne powiększenie.

Zapamiętaj!

Powiększenie p definiujemy jako stosunek wysokości powstałego obrazu h_2 do wysokości przedmiotu h_1.

$$p = \frac{h_2}{h_1}$$

Nazywamy je powiększeniem liniowym, jest ono wielkością bezwymiarową.

Polecenie 2

Oblicz wysokość przedmiotu, jeśli jego obraz powstały w zwierciadle wklęsłym kulistym ma 5 cm wysokości, a powiększenie wynosi 0,5?

Podsumowanie

- Zwierciadło kuliste wklęsłe jest zwierciadłem, którego powierzchnia odbijająca promienie świetlne jest wewnętrzną powierzchnią części kuli.
- Układ optyczny zwierciadła kulistego (sferycznego) wklęsłego opisuje:

    - oś optyczna – prosta przechodząca przez środek krzywizny zwierciadła, czyli przez środek sfery, z której powstało, łącząca środek krzywizny zwierciadła z jego wierzchołkiem;
    - promień krzywizny zwierciadła – odcinek między środkiem krzywizny zwierciadła a punktem, w którym oś optyczna przechodzi przez powierzchnię zwierciadła;
    - ognisko zwierciadła – punkt na osi optycznej, w którym przecinają się promienie odbite od zwierciadła, które były przed odbiciem równoległe do osi optycznej. Punkt ten leży w połowie promienia krzywizny zwierciadła;
    - ogniskowa – długość odcinka położonego na osi optycznej i łączącego ognisko z powierzchnią zwierciadła.
- Ogniskową f z promieniem zwierciadła wklęsłego r kulistego łączy związek $f = \frac{r}{2}$. Jednostką ogniskowej f w układzie SI jest metr.
- Promień świetlny jest linią, wzdłuż której rozchodzi się światło. W celu geometrycznej konstrukcji obrazu, między innymi w zwierciadłach, posługujemy się tzw. promieniami konstrukcyjnymi. W zwierciadle kulistym wklęsłym będą to:
    - promień równoległy do osi optycznej, który po odbiciu przechodzi przez ognisko zwierciadła F;
    - promień zgodny z promieniem krzywizny zwierciadła, przechodzący przez środek krzywizny zwierciadła O, po odbiciu powraca tym samym torem, którym przybył;
    - promień przechodzący przez ognisko zwierciadła F, po odbiciu opuszcza zwierciadło torem równoległym do osi optycznej.
- Zwierciadła wklęsłe znalazły zastosowanie jako reflektory w lampach samochodowych, latarkach, antenach i teleskopach astronomicznych.
- Powiększenie (p) definiujemy jako stosunek wysokości powstałego obrazu przedmiotu (h_2) do wysokości przedmiotu (h_1).
  $p = \frac{h_2}{h_1}$
- Powiększenie jest wielkością bezwymiarową.

Praca domowa

> **Polecenie 3.1**
>
> Wykonaj konstrukcję obrazu przedmiotu znajdującego się pomiędzy środkiem zwierciadła a ogniskiem.

> **Polecenie 3.2**
>
> Jaki obraz powstaje w zwierciadle wklęsłym kulistym, gdy przedmiot umieścimy między ogniskiem a wierzchołkiem zwierciadła?

Polecenie 3.3

Uzasadnij, dlaczego kąt padania i kąt odbicia promienia biegnącego wzdłuż promienia krzywizny mają wartości równe zero.

Polecenie 3.4

Poszukaj w Internecie informacji o budowie różnych teleskopów zwierciadlanych.

Słowniczek

bryła obrotowa

– bryła geometryczna powstała wskutek obrotu figury płaskiej wokół pewnej osi.

ognisko zwierciadła

– punkt na osi optycznej, w którym skupiają się promienie odbite od zwierciadła, które biegły przed odbiciem równolegle do osi optycznej. Punkt ten leży w połowie promienia krzywizny zwierciadła.

ogniskowa zwierciadła

– odległość ogniska od zwierciadła.

oś optyczna

– prosta przechodząca przez środek krzywizny zwierciadła, czyli przez środek sfery, z którego powstało, oraz przez wierzchołek zwierciadła.

powiększenie

– stosunek (p) wysokości powstałego obrazu (h_2) do wysokości przedmiotu (h_1). Jest to wielkość bezwymiarowa. Obraz powiększony ma powiększenie $\mathrm{p} > 1$, obraz pomniejszony ma powiększenie $\mathrm{p} < 1$.

promień krzywizny zwierciadła

– odcinek między środkiem krzywizny zwierciadła a punktem, w którym oś optyczna przebija powierzchnię zwierciadła.

zwierciadło wklęsłe

– część wewnętrznej, gładko wypolerowanej powierzchni sfery, elipsoidy lub innej bryły obrotowej, wykonanej zwykle z metalu lub szkła pokrytego cienką warstwą metalu.

Zadania podsumowujące lekcję

Ćwiczenie 1

Przeczytaj uważnie poniższe zdania i zaznacz, które są zgodne z prawdą, a które nie.

	Prawda	Fałsz
Odbicie światła od zakrzywionych powierzchni wykorzystujemy między innymi w latarkach i reflektorach.	◯	◯
Latarka równie dobrze działałaby, gdyby zamiast powierzchni wklęsłej do odbicia światła użyto zwierciadła płaskiego.	◯	◯
Gdy użyjemy w latarce wypukłej powierzchni w celu odbicia światła, otrzymamy dokładnie taki sam efekt, co w przypadku odbicia od powierzchni wklęsłej.	◯	◯

Źródło: Dariusz Kajewski <Dariusz.Kajewski@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 2

Dopasuj odpowiednie nazwy parametrów układu optycznego zwierciadła wklęsłego kulistego do ich definicji.

Promień krzywizny	Punkt, w którym skupiają się promienie równolegle do osi optycznej po odbiciu od zwierciadła.
Ogniskowa	Odcinek łączący ognisko z powierzchnią zwierciadła, leżący na osi optycznej.
Oś optyczna	Promień sfery, której fragmentem jest powierzchnia zwierciadła.
Ognisko	Prosta przechodząca przez środek krzywizny zwierciadła, leżąca na promieniu krzywizny.

Źródło: Dariusz Kajewski <Dariusz.Kajewski@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 3

Uzupełnij zdanie.

Do konstrukcji obrazów w zwierciadłach kulistych wklęsłych [ ].

muszą zostać wzięte pod uwagę co najmniej trzy promienie

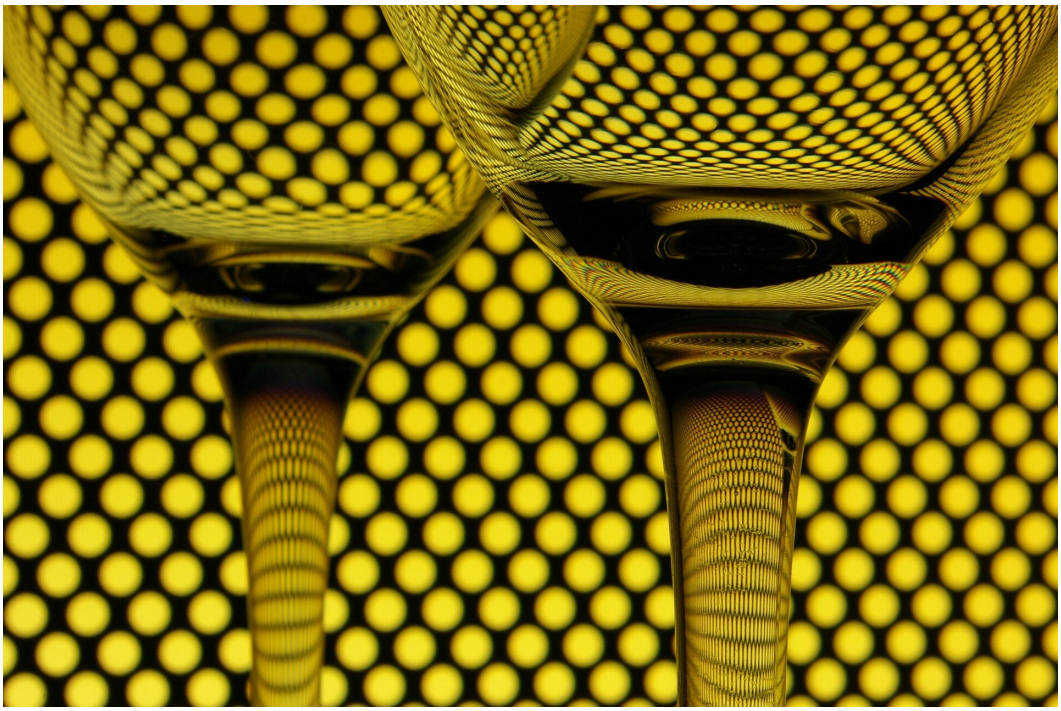
wystarczy dokładnie jeden promień

wystarczą dwa promienie

Źródło: Dariusz Kajewski <Dariusz.Kajewski@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Zjawisko załamania światła. Bieg promieni w soczewce skupiającej i rozpraszającej

Gdy obserwujesz łyżeczkę przez boczną ściankę szklanki z herbatą, masz wrażenie, że jest ona większa i w górnej części jakby złamana. Próbując wyłowić leżący na dnie basenu przedmiot, zwykle nie znajdujesz go dokładnie tam, gdzie tego oczekiwałeś. Są to przykłady, w których spotykasz się ze zjawiskiem załamania światła. Czy potrafisz je wykorzystać praktycznie?



Światło przechodząc przez granice pomiędzy różnymi ośrodkami (powietrze, szkło, wodę itd.), ulega załamaniu. Dlatego też tak dziwnie wygląda świat oglądany przez gruby kawałek wygiętego szkła – na przykład nóżkę kieliszka

Już potrafisz

- sformułować prawo odbicia;
- wykorzystać zjawisko odbicia światła do konstrukcji obrazu w zwierciadle płaskim i wklęsłym;
- wymienić cechy obrazu powstałego w zwierciadle płaskim i wklęsłym;
- wyjaśnić, co jest powodem rozpraszania światła.

Nauczysz się

- podawać definicję zjawiska załamania światła i wymieniać przyczyny jego powstawania;
- podawać definicję rozszczepienia światła i wyjaśniać zjawisko tęczy;
- korzystać z przyrządów optycznych, takich jak pryzmat i soczewka;

- klasyfikować soczewki ze względu na ich kształt;
- podawać przykłady zastosowania soczewek.

1. Zjawisko załamania światła

Obserwacja 1

Obserwacja zjawiska załamania światła na granicy dwóch ośrodków.

Co będzie potrzebne

- wskaźnik laserowy;
- przezroczysty pojemnik z wodą;
- odświeżacz powietrza w sprayu.

Instrukcja

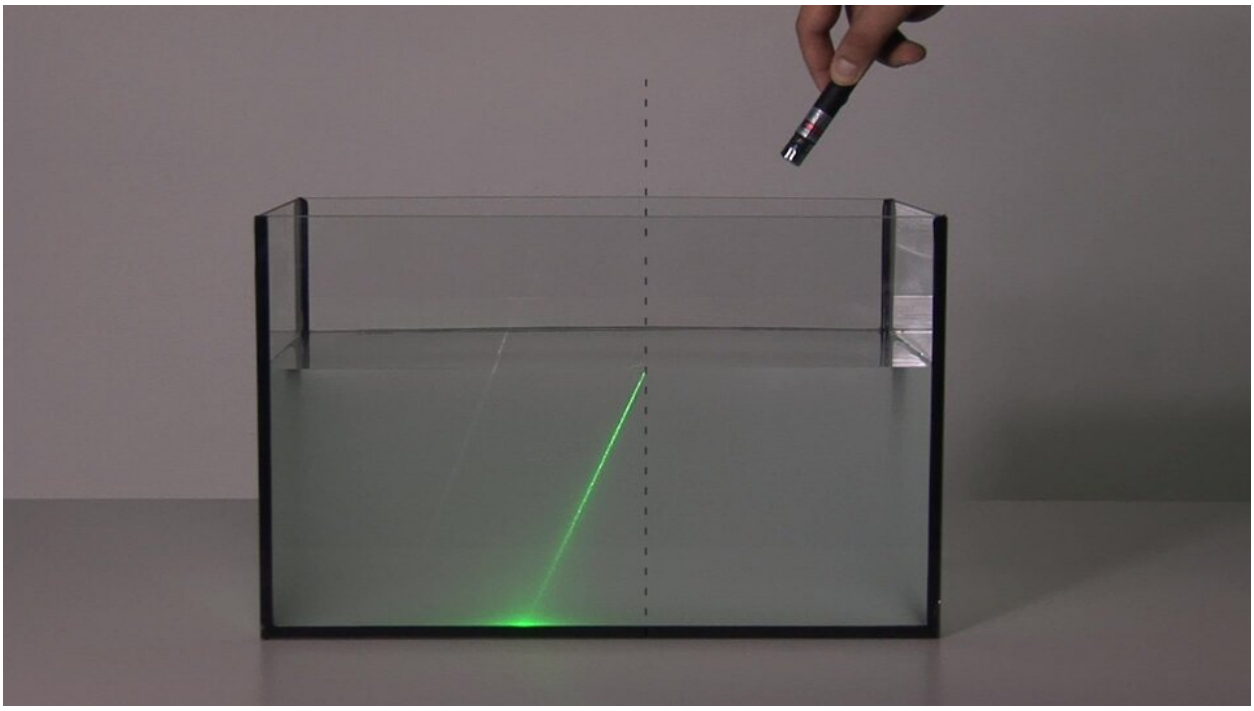
1. Nad powierzchnią wody rozpyl odświeżacz powietrza.
2. Skieruj światło ze wskaźnika na powierzchnię wody.
3. Zmieniaj kąt padania promienia lasera na powierzchnię wody – zwróć szczególną uwagę na bieg promienia lasera na granicy dwóch ośrodków (powietrza i wody).

Podsumowanie

Zarówno w powietrzu, jak i wodzie promień światła laserowego jest prostoliniowy. Jednak na granicy dwóch ośrodków (w naszym przypadku powietrza i wody) możemy zauważyć, że promień lasera wyraźnie zmienia kierunek biegu. Zjawisko takie nazywamy załamaniem światła.

Zapamiętaj!

Zjawisko zmiany kierunku rozchodzenia się światła na granicy dwóch ośrodków przezroczystych nazywamy załamaniem światła.



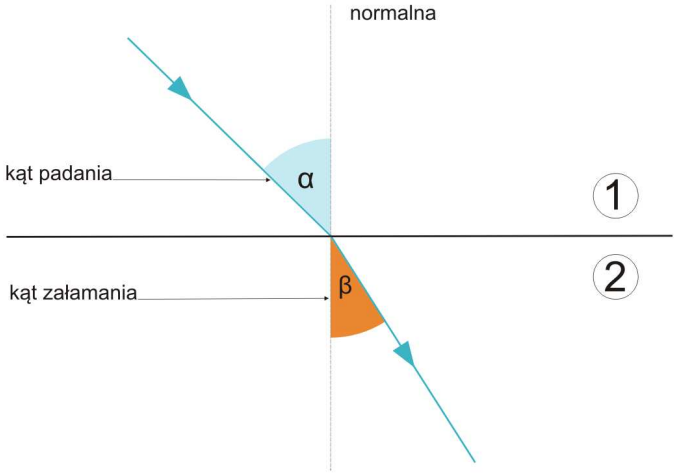
Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

Kąt padania i kąt załamania w zjawisku załamania światła

Widoczne akwarium z promieniem lasera przechodzącym z powietrza do wody (skośnie). Zaznaczona normalna do powierzchni przechodząca przez punkt, w którym światło wpada do wody (czarna, przerywana). Zaznacza się na kolorowo (żółty) wspomniany kąt. Zaznacza się na kolorowo (pomarańczowy) wspomniany kąt. Demonstrator zmniejsza kąt padania Wypełnienie kąta dostosowuje się odpowiednio. Automatycznie zmniejsza się kąt załamania Wypełnienie kąta dostosowuje się odpowiednio. Demonstrator zwiększa kąt padania. Wypełnienie kąta dostosowuje się odpowiednio. Automatycznie zwiększa się kąt załamania Wypełnienie kąta dostosowuje się odpowiednio.

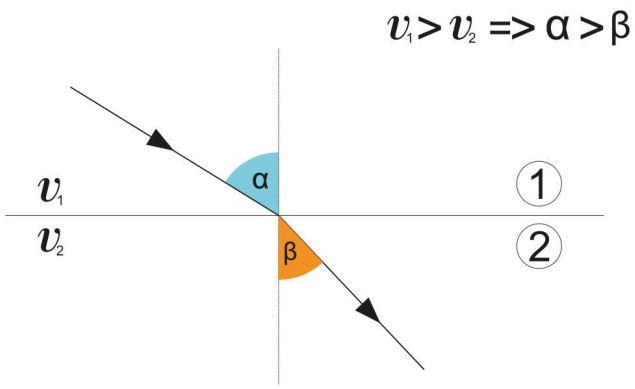
Zapamiętaj!

Kąt pomiędzy kierunkiem promienia padającego a prostą prostopadłą do powierzchni (normalną) w punkcie padania nazywamy kątem padania.
Kąt załamania to kąt pomiędzy prostą prostopadłą do powierzchni (normalną) w punkcie załamania światła a kierunkiem promienia załamanego.
Promień padający, normalna i promień załamany leżą w jednej płaszczyźnie.



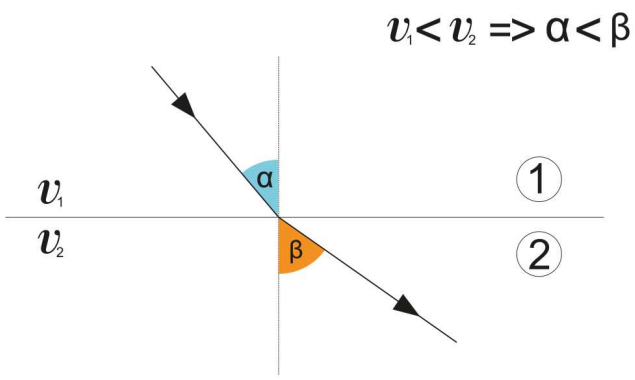
Kąt padania i załamania

Przyczyną zjawiska załamania jest zmiana prędkości rozchodzenia się światła przy przejściu z jednego ośrodka do drugiego. Jeżeli prędkość rozchodzenia się światła w pierwszym ośrodku jest większa niż w tym, do którego światło przechodzi, wówczas kąt załamania (β) jest mniejszy od kąta padania (α).



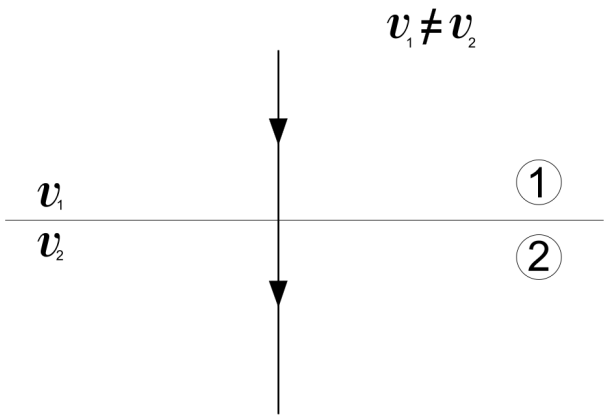
Jeżeli prędkość rozchodzenia się światła w pierwszym ośrodku (v_1), jest większa niż w drugim (v_2), wówczas kąta padania (α) jest większy od kąta załamania (β)

Gdy prędkość rozchodzenia się światła w pierwszym ośrodku jest mniejsza niż prędkość rozchodzenia się światła w drugim ośrodku, do którego światło przechodzi, wówczas kąt załamania jest większy od kąta padania.



Jeżeli prędkość rozchodzenia się światła w pierwszym ośrodku (v_1), jest mniejsza niż w drugim (v_2), wówczas kąta padania (α) jest mniejszy od kąta załamania (β)

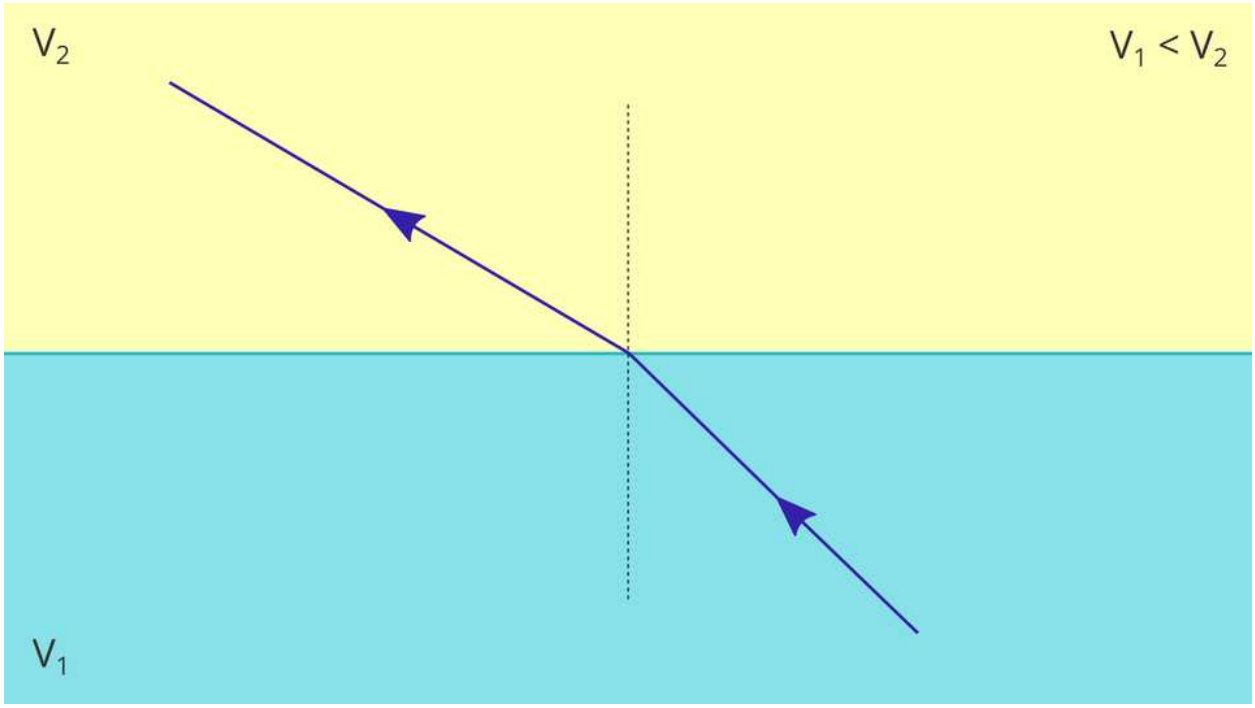
W przypadku gdy kąt padania promienia światła na granicę dwóch ośrodków wynosi 0°, mimo tego, że prędkości rozchodzenia się światła są różne, kierunek biegu promienia nie ulega zmianie.



W przypadku gdy kąt padania wynosi zero stopni, nie zachodzi zjawisko załamania światła

Kiedy promień światła pada na granicę dwóch ośrodków, to przy pewnych kątach padania występuje zjawisko całkowitego wewnętrznego odbicia. Aby mogło do tego dojść, światło powinno przechodzić z z ośrodka pierwszego, w którym prędkość rozchodzenia się światła

jest mniejsza, do ośrodka drugiego, w którym ta prędkość jest większa – np. z wody lub szkła do powietrza.



Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

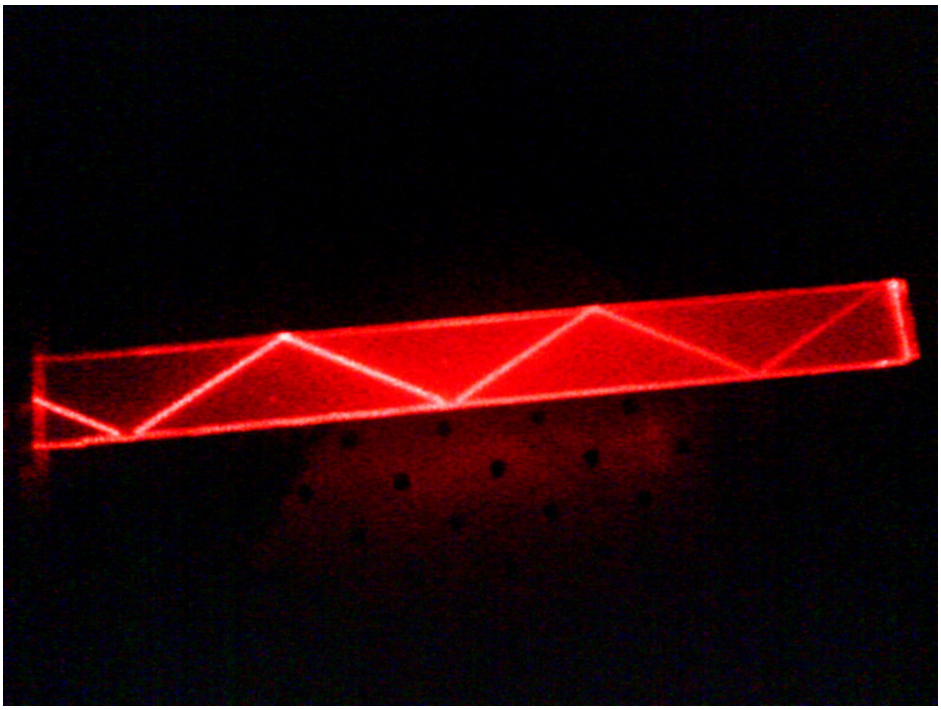
Promień świetlny padający na granicę dwóch ośrodków może ulec całkowitemu wewnętrznemu odbiciu, gdy światło przechodzi z ośrodka, w którym prędkość rozchodzenia się światła v_1 jest mniejsza do ośrodka, w którym prędkość rozchodzenia się światła v_2 jest większa ($v_1 < v_2$).

Całkowite wewnętrzne odbicie

Niekiedy spotkasz się z pojęciem ośrodka gęstszego optycznie lub rzadszego optycznie. Oznacza to, że w tym pierwszym światło rozchodzi się z prędkością o mniejszej wartości, a w tym drugim o większej. Nie ma to nic wspólnego z gęstością substancji ośrodka, wyrażaną w $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. Przykładem są takie substancje jak woda i gliceryna – ta druga substancja ma gęstość większą niż woda $\left(1260\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$. Prędkość światła wynosi w glicerynie $203\ 000\frac{\text{km}}{\text{s}}$, a prawie $225\ 000\frac{\text{km}}{\text{s}}$ w wodzie. Z kolei benzyna ma gęstość wynoszącą ok. 0,7 gęstości wody, a prędkość światła w niej ma wartość $214\ 000\frac{\text{km}}{\text{s}}$, czyli mniej niż w wodzie. Podobna relacja jest dla wody i kwasu solnego.

> **Zapamiętaj!**
>
> Przy przejściu z ośrodka, w którym prędkość rozchodzenia się światła jest mniejsza, do ośrodka, w którym prędkość światła jest większa, może dojść do zjawiska całkowitego wewnętrznego odbicia. Zwiększaniu kąta padania towarzyszy jednoczesny wzrost kąta załamania. Przy wartościach większych od pewnego kąta, zwanego kątem granicznym (

α_{gr}), promienie światła nie przechodzą do drugiego ośrodka, lecz ulegają całkowitemu wewnętrznemu odbiciu.

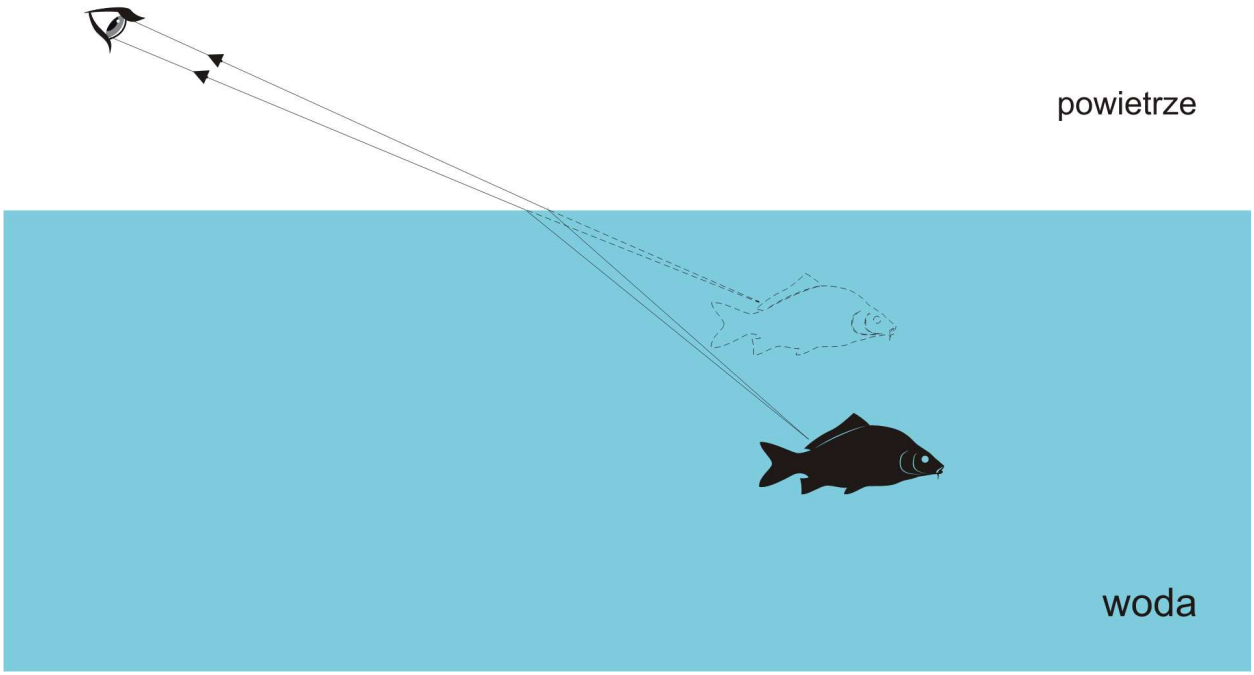


Wielokrotne całkowite wewnętrzne odbicie promienia lasera w bloku pleksi

*Prawo załamania światła...

Ciekawostka

Dlaczego nawet w płytkiej wodzie, pomijając nasze zdolności łowieckie, nie jesteśmy w stanie upolować ryby przy pomocy zaostrzonego patyka?

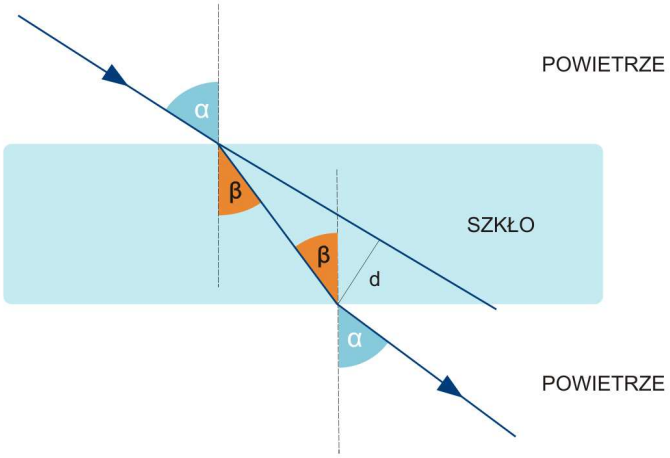


Załamanie światła bywa kłopotliwe dla rybaków

Gdy obserwujesz rybę pływającą pod powierzchnią wody, odnosisz wrażenie, że znajduje się ona na przedłużeniu promieni wpadających do twojego oka. Tak jednak nie jest, ponieważ światło opuszczając wodę, uległo załamaniu na granicy woda – powietrze. Ryba znajduje się zupełnie w innym miejscu, niż ją widzisz.

2. Załamanie światła w płytce płasko-równoległej

Płytka płasko-równoległa jest optycznie jednorodnym i przezroczystym dla promieni świetlnych blokiem materiału (szkło, pleksi), który ma co najmniej dwie płaskie i równoległe względem siebie powierzchnie. Gdy światło przechodzi przez płytkę płasko-równoległą, ulega dwukrotnemu załamaniu – raz przy wejściu, a drugi raz przy wyjściu z płytki. Promień po wyjściu z płytki biegnie dalej równolegle do toru promienia padającego, zatem nie ulega odchyleniu.

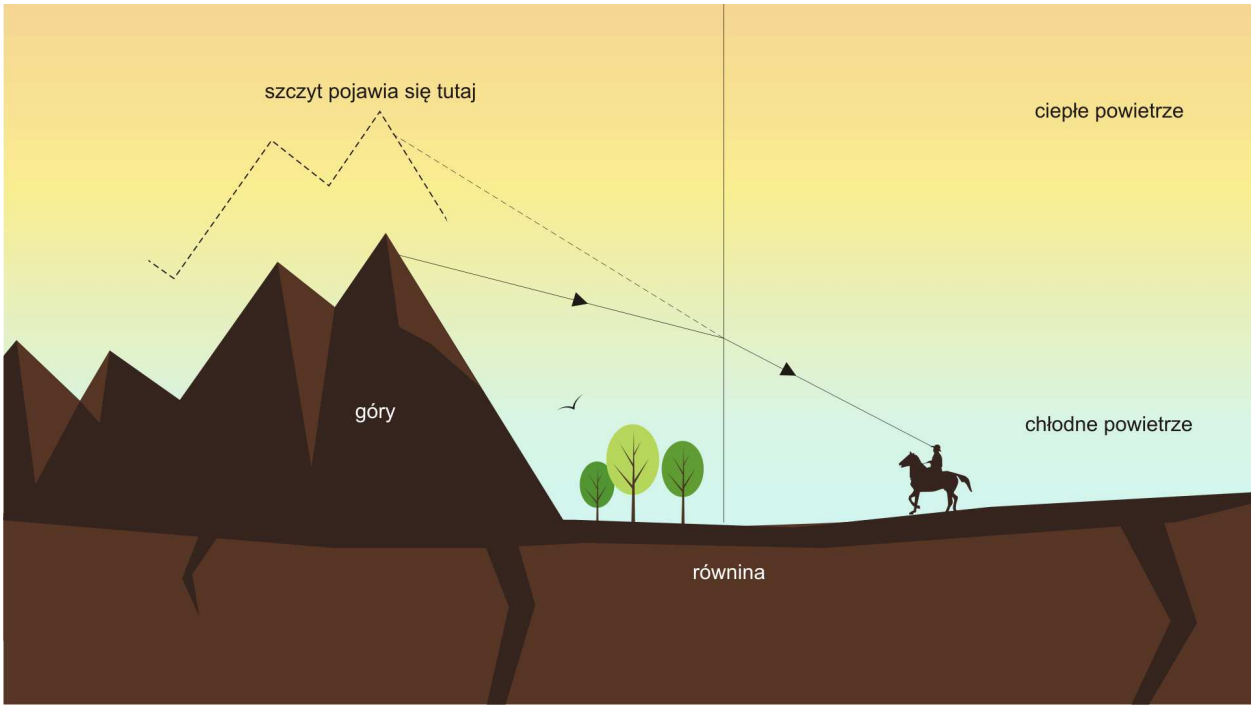


Bieg promienia światła przed i po przejściu przez płytkę płasko-równoległą jest równoległy

Płytki płasko-równoległe znalazły zastosowanie praktyczne, a zrozumienie biegu promienia świetlniego w niej pozwoliło na wyjaśnienie pewnych występujących w przyrodzie zjawisk.

Ciekawostka

Na czym polega fatamorgana?



Jak powstaje miraż czyli fatamorgana?

Ilustracja powyżej przedstawia zasadę powstawania tzw. mirażu górnego powyżej linii horyzontu. Promień idący z wierzchołka góry ulega załamaniu na granicy dwóch ośrodków; pierwszy stanowi nagrzane powietrze o mniejszej gęstości, drugi – chłodniejsze powietrze (o większej gęstości) znajdujące się bliżej powierzchni ziemi. Przedłużenie promieni światła wpadających do oka obserwatora wywołuje wrażenie, że przedmiot, w tym przypadku wierzchołek góry, swobodnie unosi się w powietrzu.

Miraż górny powstały powyżej linii horyzontu

Polecenie 1

Uzupełnij relacje kąta załamania do kąta padania, wpisując znak „<” lub „ >”.

Relacje kąta załamania do kąta padania

Przejścia światła do.../ z...	**Prędkość rozchodzenia się światła**	**Kąt padania** α	**Kąt załamania** β
powietrze/szkło	powietrze $300\ 000 \frac{\mathrm{km}}{\mathrm{s}}$	67	β < 67
	szkło $170\ 000 \frac{\mathrm{km}}{\mathrm{s}}$		
szkło/ woda	szkło $170\ 000 \frac{\mathrm{km}}{\mathrm{s}}$	50	β 50
	woda $225\ 000 \frac{\mathrm{km}}{\mathrm{s}}$		
szkło/powietrze	szkło $170\ 000 \frac{\mathrm{km}}{\mathrm{s}}$	20	β 20
	powietrze $300\ 000 \frac{\mathrm{km}}{\mathrm{s}}$		
lód/szkło	lód $230\ 000 \frac{\mathrm{km}}{\mathrm{s}}$	40	β 40

Przejścia światła do.../ z...	Prędkość rozchodzenia się światła	Kąt padania α	Kąt załamania β
	szkło $170\ 000 \frac{\mathrm{km}}{\mathrm{s}}$		
diament/ kwarc	diament $124\ 000 \frac{\mathrm{km}}{\mathrm{s}}$	20	β 20
	kwarc $194\ 000 \frac{\mathrm{km}}{\mathrm{s}}$		

Źródło danych: .

Polecenie 2

Przy jakich przejściach podanych wyżej możliwe będzie wystąpienie zjawiska całkowitego wewnętrznego odbicia? Uzasadnij odpowiedź.

3. Załamanie światła w soczewkach

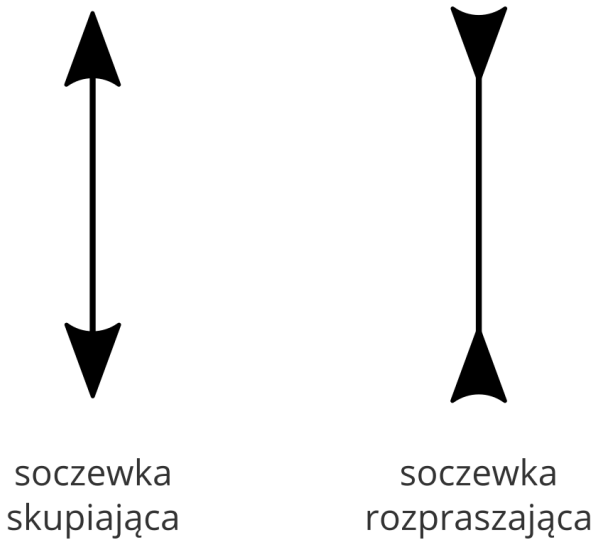
Soczewka jest specjalnie oszlifowaną bryłą z przezroczystego materiału, która została ograniczona powierzchniami kulistymi, parabolicznymi lub walcowymi.

Klasyfikacja soczewek ze względu na kształt ograniczających je powierzchni

Soczewki najczęściej wykonane są ze szkła, tworzywa sztucznych, niektórych minerałów (kwarc, szafir), a także parafiny.

> **Polecenie 3**
>
> Wśród soczewek wymienionych na powyższej ilustracji zabrakło jednego typu. Jakiego? Narysuj przekrój takiej soczewki.

Zadaniem soczewki jako prostego urządzenia optycznego jest załamywanie przechodzącego przez nią światła. Soczewki mogą zarówno skupiać, jak i rozpraszać światło. Odpowiednio nazywamy je soczewkami skupiającymi oraz rozpraszającymi.



Symbole soczewek skupiającej i rozpraszającej

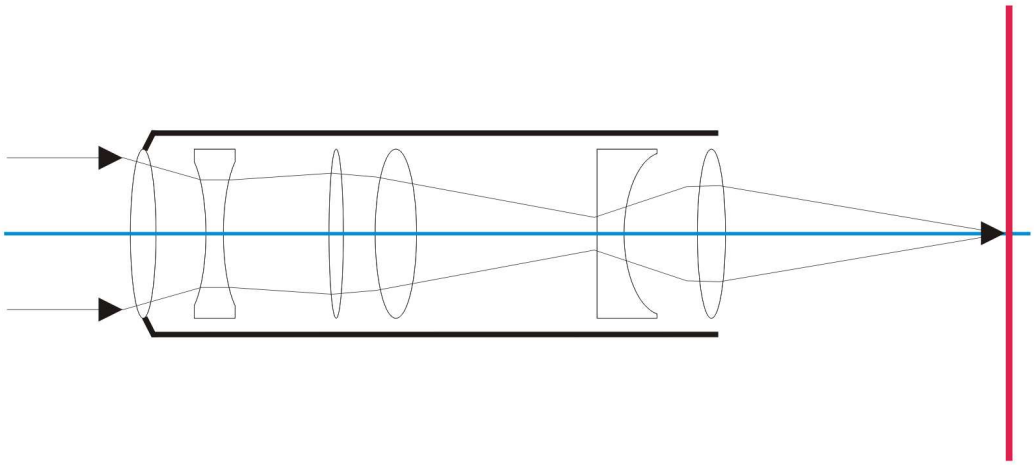
Przykładem soczewki skupiającej jest soczewka dwuwypukła, rozpraszającej – dwuwklęsła. W przypadku soczewek przeznaczonych do stosowania w otoczeniu gazowym (czyli w powietrzu, a nie np. pod wodą) soczewki skupiające są cieńsze przy krawędziach i grubsze na środku, a soczewki rozpraszające odwrotnie – cieńsze w środku niż na brzegach.

> **Polecenie 4**
>
> Zastanów się, czy gdyby soczewka wykonana z materiału, w którym światło miałoby taką samą prędkość jak w wodzie, została zanurzona w wodzie, załamywałaby promienie świetlne?

4. Zastosowanie soczewek

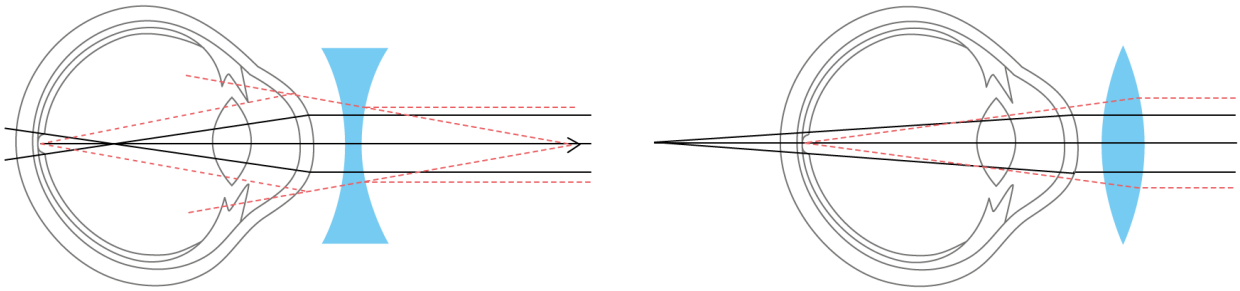
Soczewki ze względu na swoje własności znalazły szerokie zastosowanie jako elementy złożonych układów optycznych. Omówienie ich zastosowania zacznijmy jednak od układu optycznego, z którego większość z nas korzysta na co dzień, a mianowicie – **oka**.

Wzorując się na budowie oka, skonstruowano aparat fotograficzny, którego **obiektyw** jest złożony z kilku, a nawet kilkunastu soczewek.



Obiektyw aparatu fotograficznego może liczyć nawet kilkanaście soczewek

Okulary mają za zadanie korygować wady wzroku, takie jak krótkowzroczność, dalekowzroczność czy astygmatyzm poprzez odpowiednie skupienie lub rozproszenie promieni światła.



Oko krótkowzroczne
(soczewka rozpraszająca)

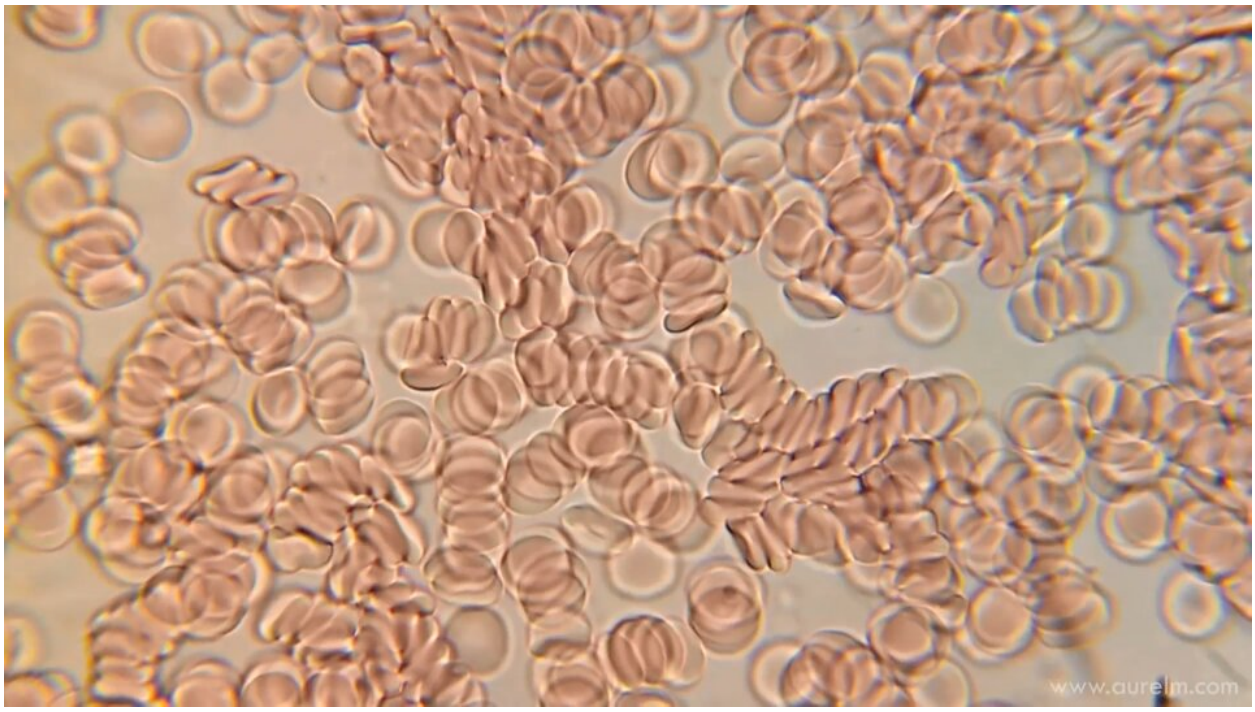
Oko dalekowzroczne
(soczewka skupiająca)

Szkła okularów korekcyjnych w zależności od wady wzroku są soczewkami skupiającymi lub rozpraszającymi

Lupa jest prostym przyrządem optycznym, który pozwala na uzyskanie co najmniej trzykrotnie powiększonych obrazów przedmiotów. Lupa jest zwykłą soczewką skupiającą. Wykorzystujemy ją np. w filatelistyce lub numizmatyce, drukarstwie, jubilerstwie czy też zegarmistrzostwie.

Lupa jako nieodzowny atrybut detektywa

Mikroskop optyczny jest kolejnym przyrządem, w którym wykorzystujemy soczewki. Zadaniem mikroskopu jest obserwacja pod dużym powiększeniem blisko położonych przedmiotów o niewielkich rozmiarach.

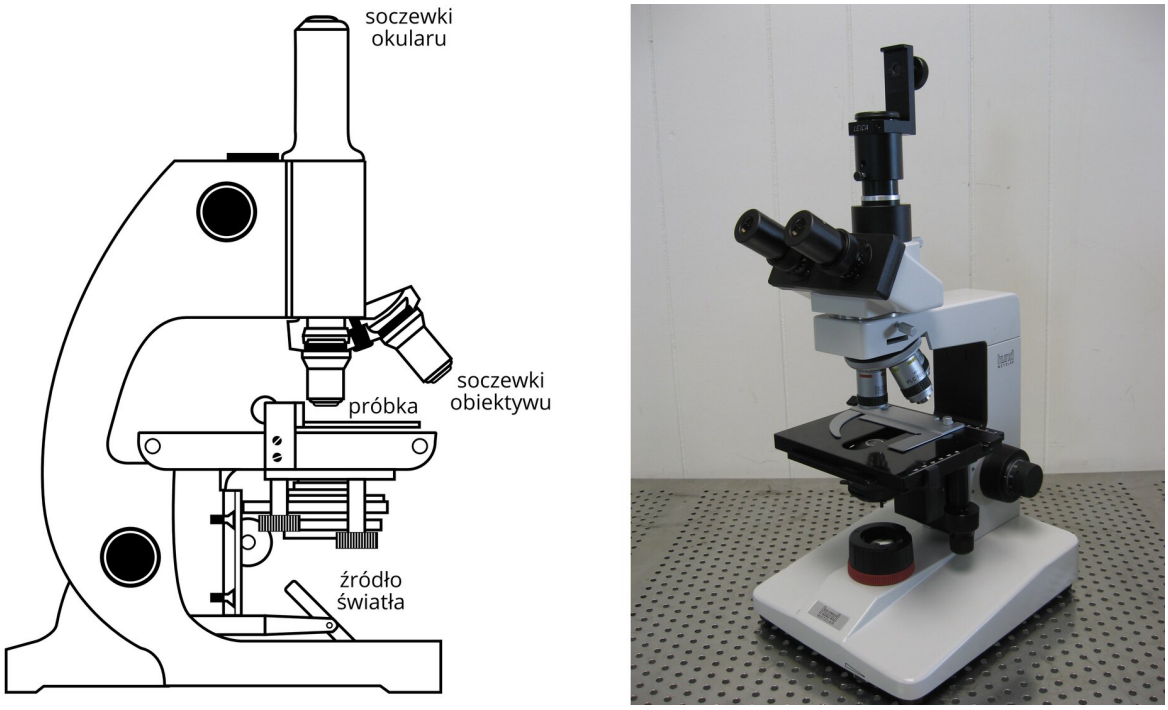


Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

Mikroskop optyczny znalazł szerokie zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu i nauki, w tym w biologii

Obserwacje mikroskopowe

W mikroskopie stosujemy układ dwóch soczewek – obiektyw i okular. Ich odpowiednie zestawienie pozwala uzyskiwać nawet 1500-krotne powiększenia. Aby zrozumieć, jak wielkie jest to powiększenie, wyobraźmy sobie, że obserwujemy przedmiot o długości 1 cm. W mikroskopie jego obraz mógłby mieć rozmiar aż 15 m.



Budowa mikroskopu optycznego

Teleskop soczewkowy (refraktor) jest rzadko już dziś stosowanym przyrządem astronomicznym, złożonym w całości z soczewek. Podobnie jak luneta, zbudowana po raz pierwszy przez Galileusza w 1609 r. składa się ona z tubusu, w którym znajduje się skupiająca soczewka obiektywu i rozpraszająca soczewka okularu.

Dzięki takiej lunecie Galileusz odkrył, że Księżyc posiada góry i kratery oraz obszary, które badacz zinterpretował jako morza. Przy jej pomocy odkrył także cztery księżyce Jowisza.

Obecnie do obserwacji astronomicznych używamy tzw. reflektorów, w których do zbierania światła wykorzystuje się zestawy zwierciadeł i wspomagających je soczewek.

> **Polecenie 5**
>
> Podaj trzy inne niewymienione w tym rozdziale zastosowania soczewek.

Podsumowanie

- Załamaniem światła na granicy dwóch ośrodków przezroczystych nazywamy zmianę kierunku rozchodzenia się światła na granicy tych ośrodków.
- Kąt zawarty pomiędzy kierunkiem promienia padającego a prostopadłą do powierzchni w punkcie padania promienia światła nazywamy kątem padania.
- Kąt załamania to kąt pomiędzy prostopadłą do powierzchni padania w punkcie załamania światła a kierunkiem promienia załamanego.
- Promień padający, prosta prostopadła (normalna) do powierzchni, na którą pada promień i promień załamany leżą w jednej płaszczyźnie.
- Przyczyną zjawiska załamania jest zmiana prędkości rozchodzenia się światła przy przejściu z jednego ośrodka do drugiego. Jeżeli prędkość rozchodzenia się światła w drugim ośrodku jest mniejsza niż w tym, z którego światło przychodzi, wówczas kąt załamania (β) jest mniejszy od kąta padania (α). Mówimy, że promień załamuje się do normalnej.
- Jeżeli prędkość rozchodzenia się światła w drugim ośrodku jest większa niż w pierwszym, wówczas kąt załamania (β) jest większy od kąta padania (α). Mówimy, że promień załamuje się od normalnej.
- W przypadku gdy kąt padania promienia światła na granicę dwóch ośrodków wynosi 0°, mimo tego, że prędkości rozchodzenia się światła są różne, jego tor nie ulega zmianie.
- Przy przejściu światła z ośrodka, w którym prędkość rozchodzenia się go jest mniejsza, do ośrodka, w którym prędkość światła jest większa, może dojść do zjawiska całkowitego wewnętrznego odbicia. Zwiększaniu kąta padania towarzyszy jednoczesny wzrost kąta załamania. Przy wartościach większych od pewnego kąta, zwanego kątem granicznym (α_{gr}), promienie światła przestają przechodzić do drugiego ośrodka, lecz ulegają całkowitemu wewnętrznemu odbiciu.
- Płytka płasko-równoległa jest optycznie jednorodnym i przezroczystym dla promieni świetlnych blokiem materiału (szkło, pleksi), który ma co najmniej dwie płaskie i równoległe względem siebie powierzchnie. Gdy światło przechodzi przez płytkę płasko-równoległą, ulega dwukrotnemu załamaniu – raz przy wejściu, a drugi raz przy wyjściu z płytki. Promień po wyjściu z płytki biegnie dalej równolegle do toru promienia padającego.
- Soczewka jest ciałem przezroczystym, które zostało ograniczone powierzchniami kulistymi, parabolicznymi lub walcowymi.
- Soczewki mogą zarówno skupiać, jak i rozpraszać światło. Odpowiednio nazywamy je soczewkami skupiającymi lub rozpraszającymi.
- Soczewki znalazły szerokie zastosowanie w układach optycznych takich przyrządów jak:
    - obiektyw;
    - lupa;

    - mikroskop optyczny;
    - teleskop soczewkowy;
    - okulary.
- Zasadniczym elementem budowy oka człowieka (również kręgowców i niektórych bezkręgowców) jest soczewka oczna, w której powstaje obraz obserwowanych przedmiotów na siatkówce.

> **Praca domowa**
>
> > **Polecenie 6.1**
> >
> > Podaj dwa warunki, przy których światło przechodzące przez granice dwóch ośrodków nie ulega załamaniu.
>
> > **Polecenie 6.2**
> >
> > Mamy kilka soczewek. Podaj kryterium, które pozwoli odróżnić, która z nich stosowana w otoczeniu gazowym (np. w powietrzu) jest soczewką skupiającą, a która rozpraszającą.

Słowniczek

> **całkowite wewnętrzne odbicie**
>
> – zjawisko obserwowane niekiedy przy przejściu z ośrodka, w którym prędkość rozchodzenia się światła jest mniejsza do ośrodka, w którym prędkość światła jest większa. Zwiększaniu kąta padania towarzyszy jednoczesny wzrost kąta załamania. Przy wartościach większych od pewnego kąta, zwanego kątem granicznym (α_{gr}), promienie światła przestają przechodzić do drugiego ośrodka i ulegają całkowitemu odbiciu.

> **kąt załamania**
>
> – kąt zawarty pomiędzy prostopadłą do powierzchni w punkcie załamania światła a kierunkiem promienia załamanego.

> **lupa**
>
> – prosty przyrząd optyczny składający się zwykle z jednej soczewki skupiającej, który pozwala obserwować kilkukrotnie powiększony pozorny obraz przedmiotu.

mikroskop optyczny

– przyrząd optyczny składający się z obiektywu i okularu, którego zadaniem jest obserwacja z dużym powiększeniem blisko położonych przedmiotów o niewielkich rozmiarach.

soczewka rozpraszająca

– soczewka rozpraszająca padające na nią światło.

soczewka skupiająca

– soczewka skupiająca padające na nią światło.

załamanie światła

– zjawisko zmiany kierunku rozchodzenia się światła na granicy dwóch ośrodków przezroczystych.

Zadania podsumowujące lekcję

Ćwiczenie 1

Przeczytaj poniższe zdania i uzupełnij luki.

Gdy prędkość rozchodzenia się światła w pierwszym ośrodku jest większa od prędkości rozchodzenia się światła w ośrodku, do którego przechodzi, to kąt padania w stosunku do kąta załamania jest [ ]. Gdy prędkość rozchodzenia się światła w pierwszym ośrodku jest mniejsza od prędkości rozchodzenia się światła w ośrodku, do którego przechodzi, to kąt padania w stosunku do kąta załamania jest [ ].

Źródło: Dariusz Kajewski <Dariusz.Kajewski@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 2

Przeczytaj poniższe zdanie i uzupełnij lukę, wybierając poprawne stwierdzenie z listy.

Soczewki o charakterze skupiającym w powietrzu mają taki kształt, że ich grubość [ ].

jest większa na brzegach niż w środku. | jest taka sama na brzegach jak w środku. | jest większa w środku niż na ich brzegach.

Źródło: Dariusz Kajewski <Dariusz.Kajewski@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Konstrukcja obrazów powstających przy użyciu soczewek

Wiesz już, że soczewki są ciałami przezroczystymi skupiającymi lub rozpraszającymi światło. Jakie są jednak cechy obrazów powstających przy użyciu soczewek i czy podobnie jak dzieje się to w przypadku zwierciadeł, potrafisz je konstruować?

Tradycyjna soczewka dwuwypukła (taka jak stosowana w szkłach powiększających), zbliżona do oglądanego obiektu, powiększa go, a z daleka tworzy obraz odwrócony

Już potrafisz

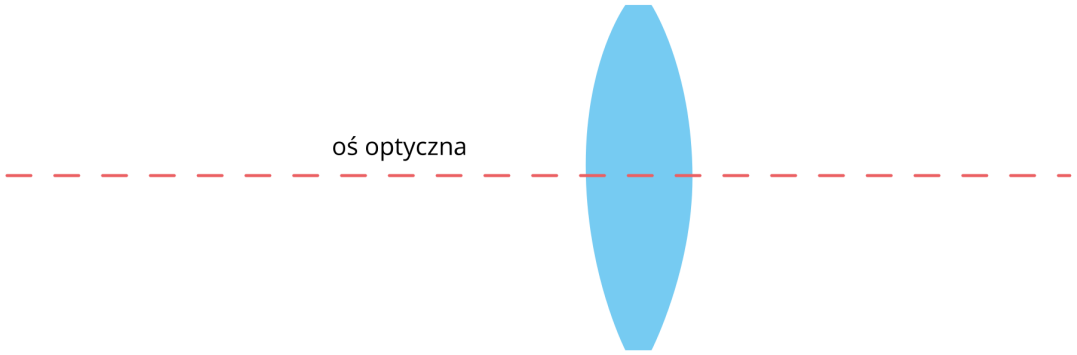
- podać treść prawa odbicia światła;
- wymienić warunki, które muszą być spełnione, aby doszło do załamania światła;
- konstruować obrazy przedmiotów w zwierciadłach płaskich i wklęsłych;
- określić cechy obrazów powstałych w zwierciadłach płaskich i wklęsłych;
- podać definicję soczewki;
- klasyfikować soczewki ze względu na ich kształt i właściwości optyczne;
- podać przykłady przyrządów i układów optycznych wykorzystujących soczewki.

Nauczysz się

- konstruować obrazy powstające za pomocą soczewek wklęsłych i wypukłych;
- wymieniać cechy obrazów powstających w soczewkach;
- zapisywać i stosować równanie soczewki;

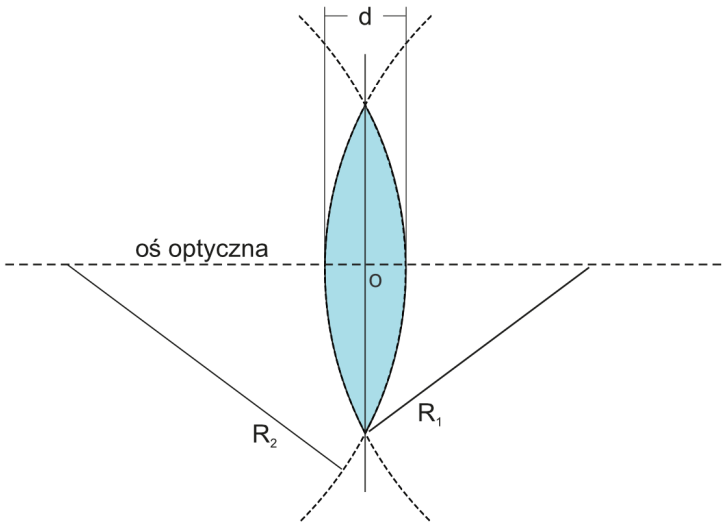
1. Parametry układu optycznego soczewki

Podstawowym zadaniem soczewek w układach optycznych jest symetryczne względem ich osi optycznej skupianie bądź też rozpraszanie padających na nie promieni światła.
W przypadku soczewki dwuwypukłej lub dwuwklęsłej oś optyczna to linia łącząca środki sfer ograniczających soczewkę. Oś ta stanowi jednocześnie oś symetrii soczewki.



Oś optyczna soczewki dwuwypukłej

Na osi optycznej leży środek soczewki – można go wyznaczyć graficznie, jak przedstawiono na poniższym rysunku.

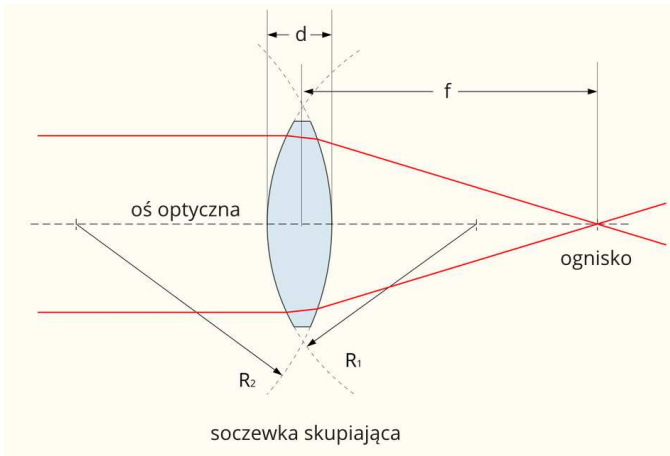


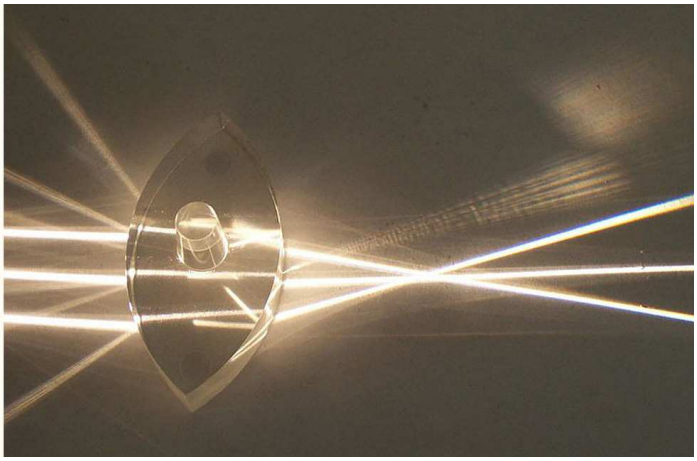
Sposób wyznaczenia środka soczewki dwuwypukłej

Światło podczas przejścia przez soczewkę ulega dwukrotnie załamaniu – raz, gdy wchodzi do soczewki, drugi raz, gdy ją opuszcza.

> **Polecenie 1**
>
> Wyjaśnij, dlaczego światło podczas wchodzenia i wychodzenia z soczewki ulega załamaniu?

Gdy promienie świetlne biegnące równolegle do osi optycznej przejdą przez soczewkę skupiającą, przecinają się w jednym punkcie leżącym na osi optycznej. Punkt ten nazywamy ogniskiem soczewki i oznaczamy literą *F*. Odległość tego punktu od środka *S* soczewki nazywamy ogniskową *f*.

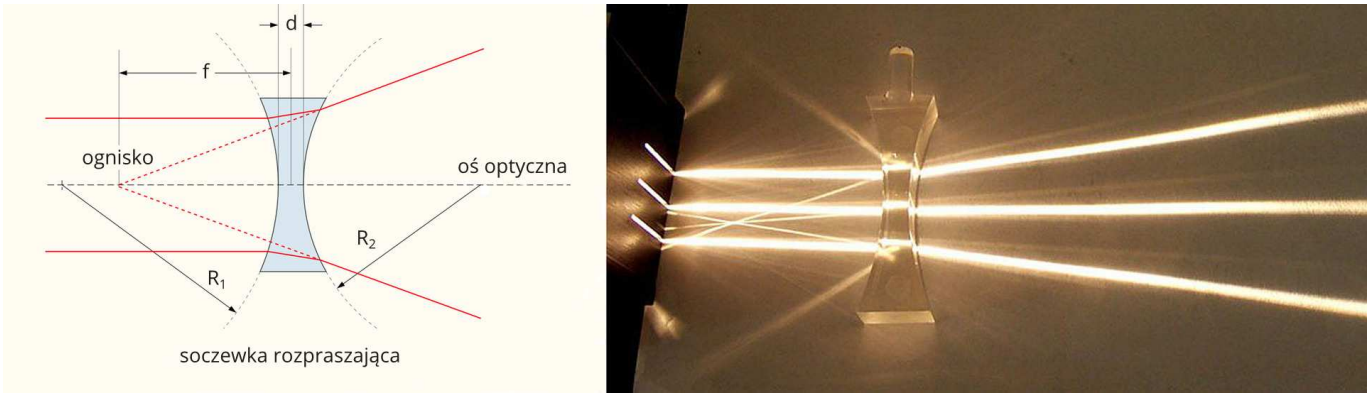




Ognisko F i ogniskowa f soczewki skupiającej

> **Zapamiętaj!**
>
> **Ogniskiem (F)** soczewki skupiającej nazywamy punkt, w którym przecinają się wszystkie promienie wiązki światła po przejściu przez soczewkę, które przed wejściem do niej biegły równoległe do jej osi optycznej.
>
> **Ogniskową (f)** soczewki nazywamy odległość ogniska (F) od środka soczewki (S).

W przypadku soczewek rozpraszających, wiązka padającego światła jest rozbieżna – promienie po przejściu przez soczewkę rozpraszają się w taki sposób, że ich przedłużenia przecinają się w jednym punkcie. Jest to tzw. ognisko pozorne soczewki rozpraszającej. Znajduje sie ono po tej samej stronie soczewki, z której biegły promienie.



Ognisko pozorne w soczewce rozpraszającej

2. Jak powstaje obraz przy użyciu soczewek skupiających?

Aby przekonać się o tym, jakie obrazy otrzymujemy przy użyciu soczewek skupiających, przeprowadźmy doświadczenie.

Doświadczenie 1

Obserwacja obrazów powstających przy użyciu soczewki.

Co będzie potrzebne

- latarka;
- kawałek czarnego kartonika większy niż szkiełko latarki;
- nożyczki;
- taśma klejąca;
- duża lupa;
- biały kartonik (ekran).

Instrukcja

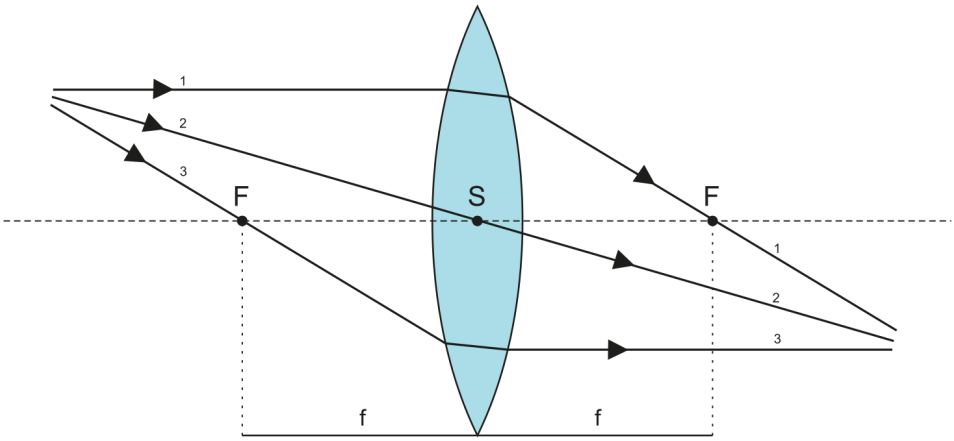
1. W czarnym kartoniku wytnij strzałkę.
2. Za pomocą taśmy klejącej przyklej czarny kartonik do szkiełka latarki.
3. Ustaw lupę, latarkę i ekran na osi optycznej lupy.
4. Zmieniaj położenie latarki i ekranu tak, aby uzyskać ostre obrazy.

Podsumowanie

Zmieniając wzajemne położenie ekranu i latarki względem lupy, uzyskiwałeś różne obrazy – raz powiększone, raz pomniejszone, odwrócone i proste. Jak zauważyłeś, soczewka skupiająca

wcale nie musi powiększać obserwowanego przedmiotu. Dlaczego tak się dzieje?

Podobnie jak w przypadku zwierciadeł, w odpowiedzi na pytanie postawione w podsumowaniu doświadczenia pomocne okażą się konstrukcje geometryczne obrazów wykorzystujące charakterystyczne dla soczewek promienie.



Promienie wykorzystywane do konstrukcji obrazu w soczewkach skupiających

Zapamiętaj!

W przypadku gdy musimy skonstruować obraz powstający przy użyciu soczewek skupiających, zwykle wybieramy dwa z trzech wymienionych poniżej promieni:

1. promień równoległy do osi optycznej – po przejściu przez soczewkę przechodzi przez ognisko;
2. promień przechodzący przez ognisko – po przejściu przez soczewkę wychodzi równoległy do osi optycznej;
3. promień przechodzący przez środek soczewki – po przejściu przez soczewkę jego kierunek (tor) nie ulega zmianie.

To ostatnie zdanie jest prawdziwe w odniesieniu do soczewek cienkich, a takich będziemy używać w naszych doświadczeniach. Pomijamy wtedy grubość soczewki i rysujemy ją w postaci odcinka zakończonego strzałkami.

Obraz punktu powstaje na przecięciu się co najmniej dwóch promieni lub ich przedłużeń.

Zestawienie położenia obrazu w zależności od położenia przedmiotu oraz cech powstających obrazów znajduje się w poniższej tabelce.

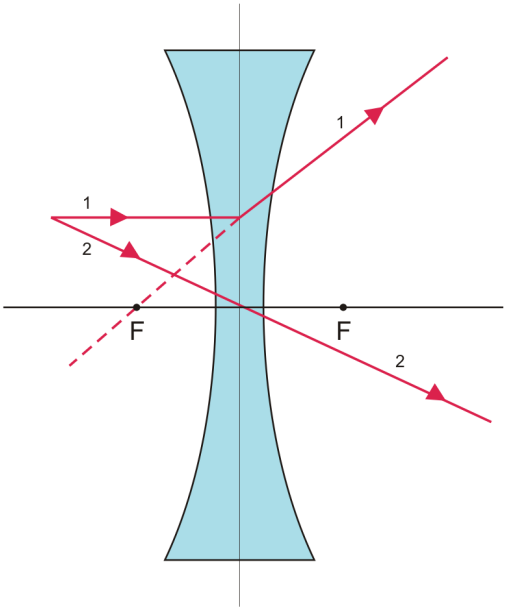
Cechy obrazu powstałego w soczewce skupiającej

Położenie przedmiotu x	**Położenie obrazu** y	**Cechy obrazu**
$\mathrm{x} > 2f$	$\mathrm{f} < \mathrm{y} < 2f$	odwrócony, rzeczywisty, pomniejszony
$\mathrm{x} = 2f$	$\mathrm{y} = 2f$	odwrócony, rzeczywisty, takiej samej wielkości
$2\mathrm{f} > \mathrm{x} > \mathrm{f}$	$\mathrm{y} > 2f$	odwrócony, rzeczywisty, powiększony
$\mathrm{x} = \mathrm{f}$	promienie po przejściu przez soczewkę są w stosunku do siebie równoległe	brak obrazu
$\mathrm{x} < \mathrm{f}$	obraz powstaje po tej samej stronie, po której znajduje się przedmiot	prosty, pozorny, powiększony

> **Zapamiętaj!**
>
> Obraz rzeczywisty punktu powstaje w miejscu przecięcia się promieni załamanych w soczewce. Często jednak dzieje się tak, że promienie załamane są rozbieżne. Wtedy zawsze przecinają się ich przedłużenia i powstaje wówczas obraz pozorny. W przypadku gdy promienie załamane są w stosunku do siebie równoległe, obraz w ogóle nie powstanie.

3. Jak powstaje obraz przy użyciu soczewki rozpraszającej? Ognisko pozorne

W przypadku soczewki rozpraszającej konstrukcja obrazu wygląda nieco inaczej. Wiązka promieni równolegle padających na soczewkę po jej opuszczeniu jest rozbieżna. Jak już wspominaliśmy, przecięciu ulegają wówczas jedynie przedłużenia promieni załamanych w tzw. ognisku pozornym.



Promienie wykorzystywane do konstrukcji obrazu w soczewkach rozpraszających

Zapamiętaj!

W celu przeprowadzenia konstrukcji obrazu w soczewce rozpraszającej (tak samo jak w skupiającej) wystarczą dwa promienie:

1. promień padający równolegle do osi optycznej – po przejściu przez soczewkę biegnie tak, że jego przedłużenie przechodzi przez ognisko pozorne;
2. promień przechodzący przez środek soczewki – po przejściu przez soczewkę nie zmienia kierunku biegu.

Zapamiętaj!

W soczewkach rozpraszających powstający obraz jest zawsze prosty, pomniejszony i pozorny.

Polecenie 2

Narysuj na kartce oś optyczną, a na niej schematycznie soczewkę skupiającą. Zaznacz po obu jej stronach ogniska (w jednakowej odległości od soczewki). Wykonaj konstrukcje obrazu dla odległości przedmiotu: $\mathrm{x} > 2f, \mathrm{x} = 2f, 2\mathrm{f} > \mathrm{x} > \mathrm{f}, \mathrm{x} = \mathrm{f}, 0 < \mathrm{x} < \mathrm{f}$. Zapisz cechy obrazu powstającego za każdym razem.

Polecenie 3

Podaj, w jakiej odległości od soczewki skupiającej należy umieścić przedmiot, aby uzyskać obraz powiększony, prosty i rzeczywisty. Skorzystaj z wyników uzyskanych przy wykonywaniu polecenia 2.

Podsumowanie

- Ogniskiem (F) soczewki skupiającej nazywamy punkt, w którym przecinają się promienie światła po przejściu przez soczewkę, które przed wejściem do niej były równoległe do osi optycznej.
- Ogniskową (f) soczewki nazywamy odległość ogniska (F) od środka soczewki (S).
- W przypadku gdy musimy skonstruować obraz w soczewkach skupiających, zwykle wybieramy dwa z trzech wymienionych poniżej promieni:
    - promień równoległy do osi optycznej – po przejściu przez soczewkę przechodzi przez ognisko;
    - promień przechodzący przez ognisko – po przejściu przez soczewkę wychodzi równoległy do osi optycznej;
    - promień przechodzący przez środek soczewki – po przejściu przez soczewkę nie ulega odchyleniu (charakterystyczne dla cienkich soczewek).
- Cechy obrazu powstałego w soczewkach skupiających zależą od odległości przedmiotu od soczewki.
- Obrazy rzeczywiste powstają w miejscu przecięcia się promieni załamanych. Często jednak dzieje się tak, że promienie załamane są rozbieżne. Wtedy jednak przecinają się ich przedłużenia, powstaje wówczas obraz pozorny. W przypadku gdy promienie po wyjściu z soczewki są w stosunku do siebie równoległe, obraz w ogóle nie powstanie.
- W przypadku soczewki rozpraszającej konstrukcja obrazu wygląda inaczej w porównaniu z soczewkami skupiającymi. Wiązka promieni biegnących równolegle do osi optycznej po przejściu przez soczewkę jest zawsze rozbieżna. Przecięciu ulegają wówczas przedłużenia promieni załamanych w punkcie leżącym na osi optycznej, nazywanym ogniskiem pozornym.
- Aby dokonać konstrukcji obrazu w soczewce rozpraszającej wystarczą dwa promienie:
    - promień padający równolegle do osi optycznej – po przejściu przez soczewkę jego przedłużenie przechodzi przez ognisko pozorne;
    - promień przechodzący przez środek soczewki – po przejściu przez soczewkę promień nie ulega odchyleniu.

- W soczewkach rozpraszających obraz, który powstaje, jest zawsze prosty, pomniejszony i pozorny.

Praca domowa

Polecenie 4.1

Narysuj na kartce oś optyczną, a na niej schematycznie soczewkę rozpraszającą. Zaznacz po obu jej stronach ogniska pozorne (w jednakowej odległości od soczewki). Wykonaj konstrukcje obrazu dla odległości przedmiotu: $\mathrm{x} > 2f, \mathrm{x} = 2f, 2\mathrm{f} > \mathrm{x} > \mathrm{f}, \mathrm{x} = \mathrm{f}, 0 < \mathrm{x} < \mathrm{f}$. Zapisz cechy obrazów powstających za każdym razem.

Polecenie 4.2

W tym rozdziale dowiedziałeś się, że promień świetlny padający (pod dowolnym kątem) na środek soczewki nie ulega odchyleniu. Naszkicuj grubą soczewkę skupiającą i narysuj promień padający w pobliżu środka soczewki. Jak pobiegnie promień dalej? Jak wpłynie na sytuację to, że soczewka będzie cienka? Wskazówka: przeanalizuj jeszcze raz przejście światła przez płytkę płasko-równoległą.

Słowniczek

ognisko pozorne soczewki

– punkt przecięcia się przedłużeń promieni załamanych po przejściu przez soczewkę rozpraszającą.

ognisko soczewki

– punkt, w którym po przejściu przez soczewkę przecinają się wszystkie promienie biegnące równolegle do osi optycznej tej soczewki.

ogniskowa soczewki

– odległość ogniska (F) od środka soczewki (S).

oś optyczna soczewki

– linia przechodząca przez środki sfer ograniczających soczewkę.

Zadania podsumowujące lekcję

Ćwiczenie 1

Przeczytaj uważnie zdania i uzupełnij luki.

Prosta przechodząca przez środki sfer ograniczających soczewkę to _____.
Długość odcinka łączącego środek soczewki z ogniskiem to _____. Punkt leżący na osi optycznej, w którym przecinają się wszystkie promienie równoległe do osi optycznej, po przejściu przez soczewkę to _____.

Źródło: Dariusz Kajewski <Dariusz.Kajewski@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 2

Przeczytaj poniższe zdania i zaznacz, które są zgodne z prawdą, a które nie.

	Prawda	Fałsz
Gdy obserwowany przedmiot znajduje się w ognisku soczewki, wówczas powstaje obraz odwrócony o tych samych rozmiarach co przedmiot.	○	○
Gdy przedmiot znajduje się w odległości równej podwojonej ogniskowej soczewki skupiającej, wówczas powstaje obraz odwrócony o tych samych rozmiarach co przedmiot.	○	○
Gdy przedmiot znajduje się w odległości większej od podwojonej ogniskowej od środka soczewki, wówczas powstały obraz jest pomniejszony i prosty.	○	○

Źródło: Dariusz Kajewski <Dariusz.Kajewski@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Wady wzroku – krótkowzroczność i dalekowzroczność oraz ich korekcja

Prawa optyki mogą być wykorzystane w medycynie, a szczególnie w usuwaniu wad wzroku – to dzięki nim okulary poprawiają jakość widzenia.

Źródło: Ken Teegardin, Flickr, CC BY SA, https://www.flickr.com/photos/teegardin/5547069087/sizes/o/, licencja: CC BY 3.0.

Już potrafisz

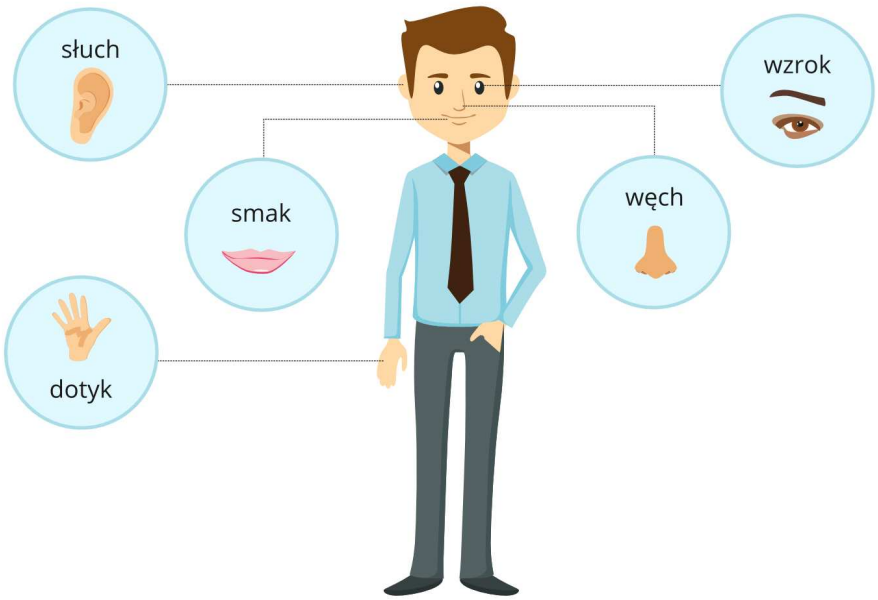
- dokonać klasyfikacji soczewek ze względu na ich kształt i właściwości optyczne;
- podać definicję parametrów układu optycznego soczewek;
- konstruować obrazy przedmiotów w soczewkach skupiających i rozpraszających;
- podawać cechy obrazów.

Nauczysz się

- opisywać oko jako przyrząd optyczny;
- wyjaśniać mechanizm powstawania obrazu przedmiotu na siatkówce oka;
- podawać cechy powstałego obrazu przedmiotu;
- w jaki sposób proste przyrządy optyczne, np. okulary, mogą korygować takie wady wzroku, jak daleko- i krótkowzroczność.

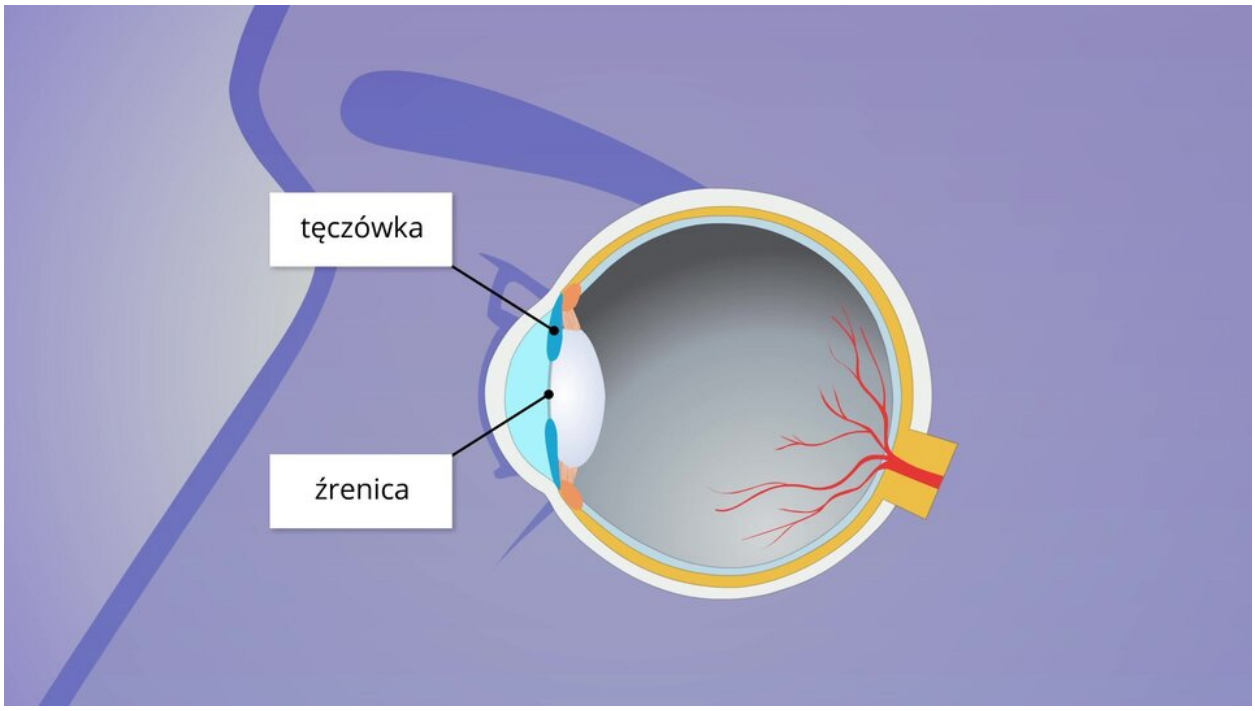
1. Dlaczego widzimy?

Człowiek posiada pięć zmysłów: smak, węch, słuch, dotyk i wzrok. Ich zadaniem jest zapewnienie kontaktu z otaczającym go środowiskiem.



Pięć zmysłów człowieka

Podstawowym organem narządu wzroku jest oko. Promienie wychodzące ze źródła, po przejściu przez rogówkę, soczewkę oczną i ciało szkliste, ulegają załamaniu i ostatecznie skupiają się na siatkówce oka, która pełni funkcję warstwy światłoczułej. Obraz powstały na siatkówce jest pomniejszony, rzeczywisty i odwrócony. Komórki nerwowe siatkówki za pomocą fotoreceptorów przetwarzają padające światło na impulsy elektryczne, które poprzez nerw wzrokowy przesyłane są do mózgu (do płatu potylicznego kory mózgowej). Tam następuje odwrócenie i interpretacja obrazu. Należy pamiętać, że każde pojedyncze oko z pary widzi obserwowany przedmiot inaczej, mózg łącząc wytworzone przez nie niezależne obrazy, zapewnia trójwymiarowość widzenia.



Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

Proces widzenia

Budowa oka

Ciekawostka

Oko niektórych kałamarnic może osiągnąć średnicę aż 27 cm.

Źródło: Bristol ridin (https://www.flickr.com), licencja: CC BY 2.0.

Możemy spotkać także oczy o bardzo małych rozmiarach, na przykład u ślimaka.

Źródło: Guido (https://www.flickr.com), licencja: CC BY-SA 2.0.

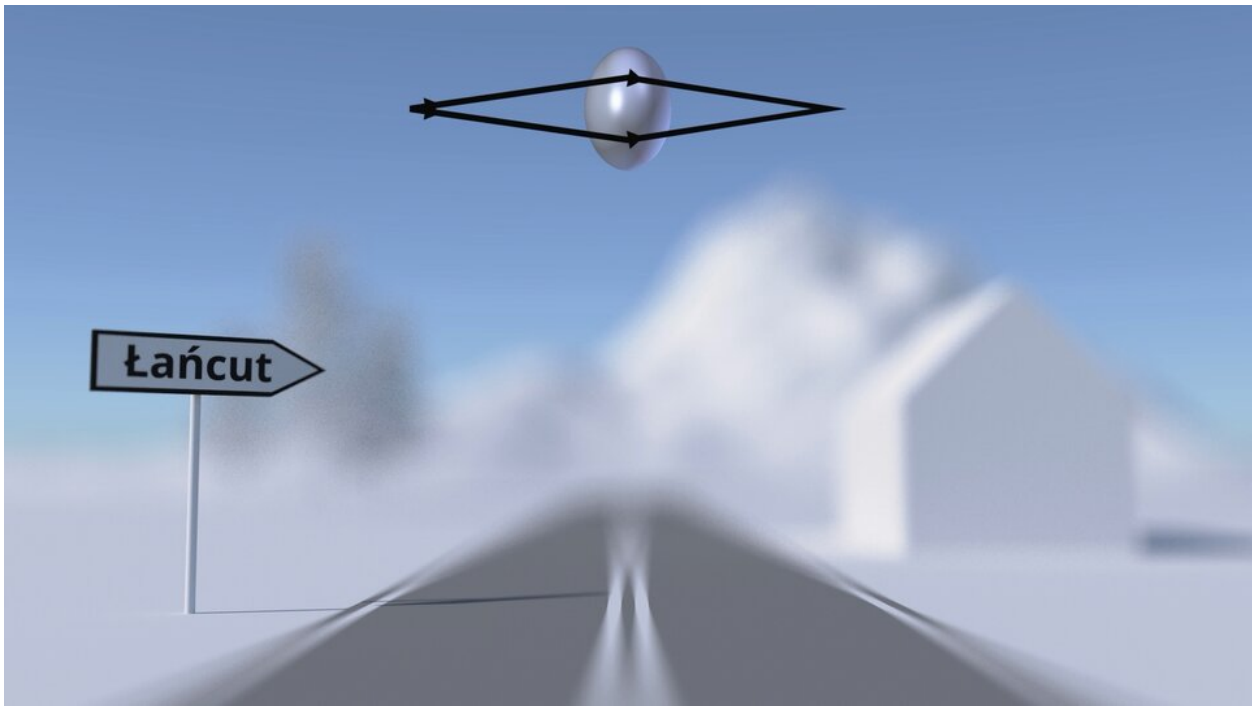
Zwykle jednak każde oko posiada soczewkę (są wyjątki, np. nie wszystkie ślimaki mają soczewki oczne), która pozwala załamywać i skupiać promienie światła, a tym samym wytwarzać obraz przedmiotu przez mózg zwierzęcia.

Polecenie 1

Wymień wszystkie narządy zmysłów człowieka.

2. Akomodacja i odległość dobrego widzenia

Nasze oko ma zadziwiającą zdolność – soczewka oka może zmieniać swoją ogniskową poprzez zmianę swojego kształtu. Każde zdrowe oko ludzkie widzi ostro przedmioty znajdujące się w odległości od ok. 20 cm do nieskończoności, np. gwiazdy na niebie.



Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

Akomodacja oka polega zarówno na zmianie kształtu soczewki ocznej, jak i jej odległości od siatkówki

Akomodacja oka ludzkiego

Niestety, oko nie jest w stanie widzieć ostro jednocześnie kilku przedmiotów, z których każdy znajduje się w innej odległości od obserwatora. Widzimy więc ostro te przedmioty, na których skupiamy swój wzrok. Soczewka dopasowuje wówczas swój kształt i odległość, tak aby długość ogniskowej pokrywała się z odległością pomiędzy środkiem soczewki a siatkówką, co gwarantuje powstanie ostrego obrazu przedmiotu.

> **Zapamiętaj!**
>
> Zdolność zmiany długości ogniskowej przez soczewkę nazywamy akomodacją oka.

Gdy chcemy coś przeczytać lub obejrzeć, mając zdrowe oczy, często nieświadomie ustawiamy przedmiot, na który patrzymy, w odległości ok. 25 cm od naszych oczu. Jest to tzw. odległość dobrego widzenia dla zdrowego oka ludzkiego.

Ćwiczenie 1

Uporządkuj w kolejności elementy oka ludzkiego, przez które przebiega promień świetlny od chwili, gdy wpada do oka aż po utworzenie obrazu.

źrenica

ciało szkliste

soczewka

siatkówka

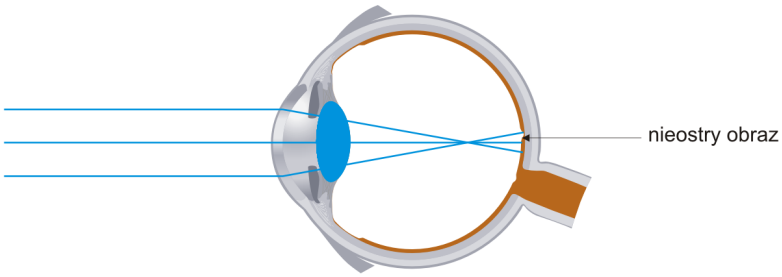
rogówka

Źródło: Dariusz Kajewski <Dariusz.Kajewski@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

3. Wady wzroku

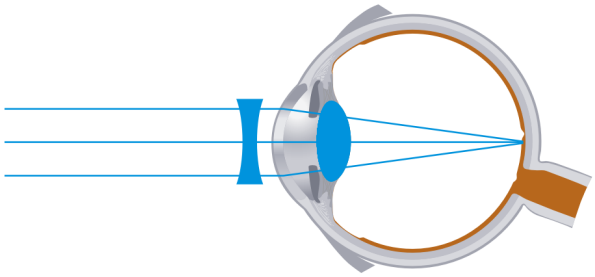
Niestety, nie każdy ma zdrowe oczy – czasami choroby oczu są uwarunkowane genetycznie, a czasami nabywa się je na skutek braku należytej ostrożności, np. w wyniku czytania przy słabym oświetleniu lub patrzenia zbyt blisko i zbyt długo na ekran monitora lub telewizora. Wady wzroku wiążą się najczęściej ze zmianami w budowie gałki ocznej, uszkodzeniem rogówki lub utratą zdolności akomodacyjnych oka. Omówimy teraz dwie najpopularniejsze wady wzroku, które można skorygować, stosując okulary lub soczewki kontaktowe.

Krótkowzroczność to wada związana z nieodpowiednim załamaniem światła przez soczewkę (zbyt wypukłą) lub oddaleniu się siatkówki od soczewki (wydłużona gałka oczna). Obraz odległego przedmiotu powstaje przed siatkówką i jest interpretowany przez mózg jako niewyraźny i zatarty.



Krótkowzroczność

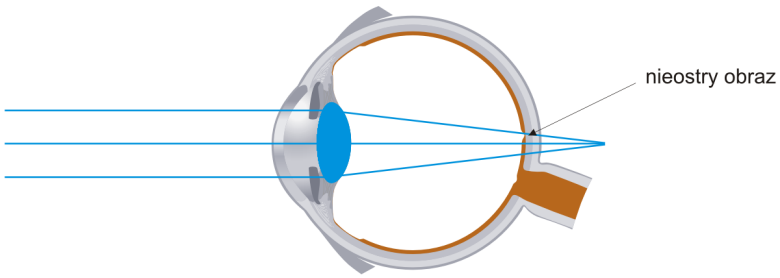
Osoby cierpiące na tę wadę wzroku widzą wyraźnie przedmioty znajdujące się blisko – stąd nazwa wady, czyli krótkowzroczność, a osobę z taką wadą nazywamy krótkowidzem. Krótkowzroczność korygujemy poprzez używanie okularów z soczewkami rozpraszającymi. Powoduje to, że ognisko układu soczewek znajduje się na siatkówce.



Korekcja krótkowzroczności przy użyciu soczewki rozpraszającej

Dalekowzroczność (nadwzroczność) to wada związana z nieprawidłowym załamaniem światła przez soczewkę (zbyt spłaszczoną) lub zbyt dużym zbliżeniem się soczewki do

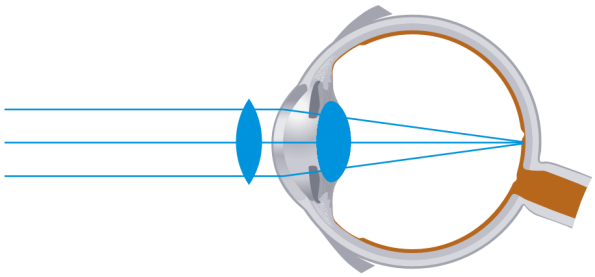
siatkówki (skrócona gałka oczna). Ostry obraz odległego przedmiotu powstawałby za siatkówką; ten, który powstaje na siatkówce, jest interpretowany przez mózg jako nieostry.



Dalekowzroczność

Przyczyną tej wady jest skrócona gałka oczna lub zbyt płaska soczewka. Wówczas powstaje obraz za siatkówką, co utrudnia ostre widzenie przedmiotów bliskich. Do korekcji tej wady stosuje się soczewki wypukłe.

Osoby cierpiące na tę wadę wzorku widzą wyraźnie przedmioty znajdujące się daleko od nich – stąd nazwa wady, czyli dalekowzroczność, a osobę z taką wadą nazywa się dalekowidzem. Czasami, gdy wada nie jest duża, osoby daleko widzące, aby zobaczyć wyraźnie przedmiot, odsuwają go na jak największą od siebie odległość. Wadę tę korygujemy za pomocą okularów lub szkieł kontaktowych, których podstawowym elementem jest soczewka skupiająca.

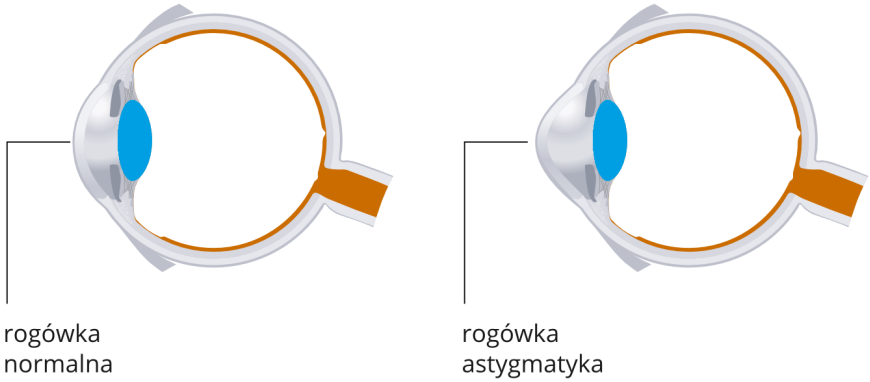


Korekcja dalekowzroczności z pomocą soczewki skupiającej

Soczewka skupiająca okularów lub szkieł kontaktowych wstępnie skupia promienie światła padające na oko. W rezultacie ponownie ich skupienie przez soczewkę oka powoduje powstanie obrazu na siatkówce.

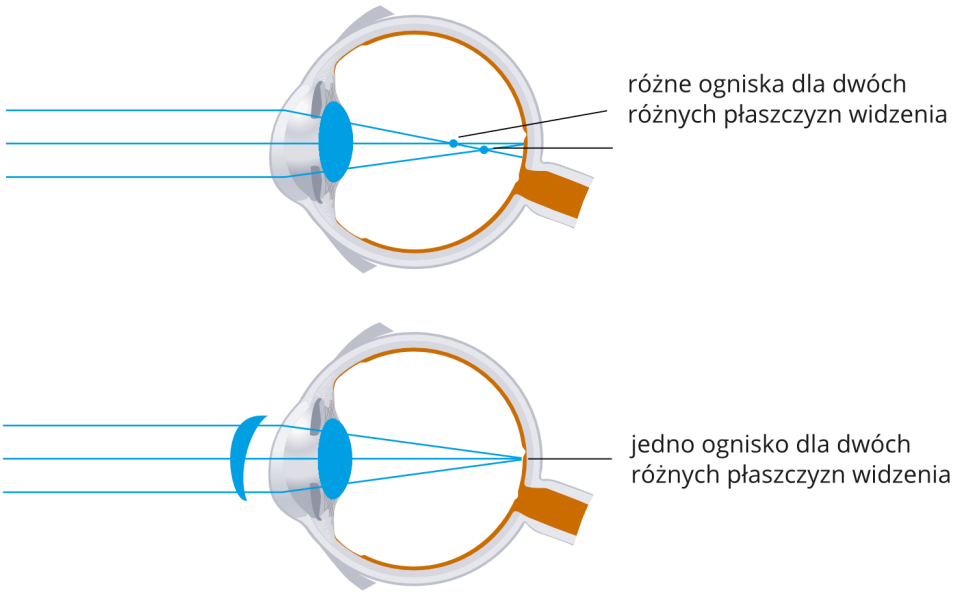
Ciekawostka

Wadą wzroku, spowodowaną zaburzeniami kształtu rogówki, jest astygmatyzm.



Rogówka oka astygmatycznego

Zdrowe oko skupia promienie świetlne symetrycznie we wszystkich kierunkach wokół osi przechodzącej przez środek oka. Powstaje wówczas jedno ognisko. W przypadku gdy rogówka jest asymetryczna, bieg promieni wokół osi zostaje zakłócony i przestaje być symetryczny. Promienie przestają skupiać się w jednym punkcie. Pojawia się drugie ognisko, a obraz postrzegany w tym właśnie kierunku staje się rozmyty.



Astygmatyzm

Ciekawostka

Znak ogniskowej.
Mówimy, że ogniskowa ma znak ujemny, gdy jest odległością od ogniska pozornego, gdy zaś jest odległością od ogniska rzeczywistego, jej znak jest dodatni. Osoby krótkowzroczne korzystają w celu korekcji wzroku z soczewek rozpraszających (mających ognisko pozorne) – noszą więc na nosie „minusy", a osoby dalekowidzące z soczewek skupiających (mających ognisko rzeczywiste) – a więc ich nos zdobią „plusy". Nie powinno się jednak używać tych określeń w języku fachowym.

Ćwiczenie 2

Jedno z poniższych zdań jest prawdziwe. Wskaż które.

- ◯ Ogniskowa soczewki ocznej krótkowidza jest zbyt długa.
- ◯ Średnica soczewki krótkowidza jest zbyt krótka.
- ◯ Ogniskowa soczewki ocznej krótkowidza jest zbyt krótka.

Źródło: Dariusz Kajewski <Dariusz.Kajewski@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Podsumowanie

- Podstawowym organem narządu wzroku jest oko, w którym niezwykle ważną rolę pełni soczewka. Promienie światła po przejściu przez rogówkę padają na soczewkę skupiającą, która tworzy na siatkówce oka obraz pomniejszony, odwrócony i rzeczywisty.
- Oko ludzkie ma zdolność akomodacji, czyli zmiany w pewnym zakresie zarówno swojego kształtu, jak i odległości od siatkówki. Ta cecha oka pozwala widzieć ostro przedmioty znajdujące się w różnych odległościach.
- Odległość dobrego widzenia dla oka ludzkiego pozbawionego wady wzroku wynosi około 25 cm.
- Najczęściej spotykane wady wzroku to krótko- i dalekowzroczność.
- Krótkowzroczność to wada związana z nieprawidłowym załamaniem światła przez soczewkę (zbyt wypukłą) lub oddaleniem się siatkówki od soczewki (wydłużona gałka oczna). Obraz odległego przedmiotu powstaje przed siatkówką i jest interpretowany przez mózg jako niewyraźny i zatarty.
- Dalekowzroczność (nadwzroczność) to wada związana z nieprawidłowym załamaniem światła przez soczewkę (zbyt płaską) lub zbytnim zbliżeniem się soczewki do siatkówki (skrócona gałka oczna). Obraz odległego przedmiotu powstaje za siatkówką i jest interpretowany przez mózg jako nieostry.

Słowniczek

> **akomodacja oka**
>
> – zmiana długości ogniskowej soczewki, umożliwiająca ostre widzenie przedmiotów znajdujących się w różnych odległościach od oka.

> **ciało szkliste**
>
> – optycznie przezroczysty żel, który wypełnia tylną część gałki ocznej i chroni siatkówkę.

> **dalekowzroczność**
>
> – inaczej nadwzroczność; wada związana z nieprawidłowym załamaniem światła przez soczewkę (zbyt płaską) lub zbytnim zbliżeniem się soczewki do siatkówki (skrócona gałka

oczna). Obraz odległego przedmiotu powstaje za siatkówką i jest interpretowany przez mózg jako nieostry.

fotoreceptor

– światłoczuły element oka, który pochłania padające światło i zamienia je na impulsy elektryczne.

krótkowzroczność

– wada związana z zaburzeniem załamania światła przez soczewkę (zbyt wypukłą) lub z oddaleniem się siatkówki od soczewki (wydłużona gałka oczna). Obraz odległego przedmiotu powstaje przed siatkówką i jest interpretowany przez mózg jako niewyraźny i zatarty.

odległość dobrego widzenia

– odległość, z jakiej dobrze widzi (czyta) człowiek. Dla prawidłowo zbudowanego oka wynosi ona około 25 cm.

oko

– główny organ zmysłu wzroku, delikatny przyrząd optyczny, którego zasadniczym elementem jest soczewka skupiająca na siatkówce padające na nią promienie świetlne.

rogówka

– zewnętrzna warstwa gałki ocznej, skupiająca światło silniej niż soczewka oczna. W odróżnieniu od tej ostatniej zdolność skupiająca rogówki nie może ulegać zmianie.

soczewka oka

– soczewka skupiająca, która ma zdolność akomodacji; jej celem jest utworzenie prawidłowych obrazów przedmiotów na siatkówce oka.

Zadanie podsumowujące rozdział

Ćwiczenie 3

Przeczytaj uważnie poniższe zdanie i uzupełnij luki, wybierając poprawne odpowiedzi z rozwijalnej listy.

Gdy obraz powstaje za siatkówką oka mamy do czynienia z _____, natomiast gdy obraz powstaje przed siatkówką oka wówczas mowa o _____.

krótkowzroczności | krótkowzrocznością | nadwzroczności | nadwzrocznością

Źródło: Dariusz Kajewski <Dariusz.Kajewski@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Zjawisko rozszczepienia światła. Światło białe jako mieszanina barw

Zapewne obserwowaliście już zjawisko powstawania na niebie wielobarwnego łuku – tęczy. Jeśli nie, to może widzieliście, jak mienią się barwami krople rosy w słoneczny poranek. Jeśli nie lubicie deszczu i nie jeście zwolennikami porannego wstawania, postawcie szklankę gazowanej wody mineralnej, tak aby oświetlały ją promienie słoneczne. Zaobserwujecie wówczas, że pęcherzyki gazu w szklance zmieniają swoją barwę i połysk. Wszystkie te zjawiska są przejawem rozszczepienia (dyspersji) światła.

Rozszczepienie światła słonecznego za pomocą pryzmatu dokonane przez Newtona w latach 1665–66 zostało uznane przez świat nauki za jeden z dziesięciu najpiękniejszych eksperymentów w historii fizyki. Uczony wykazał w ten sposób, że światło białe jest w istocie mieszaniną barw

Już potrafisz

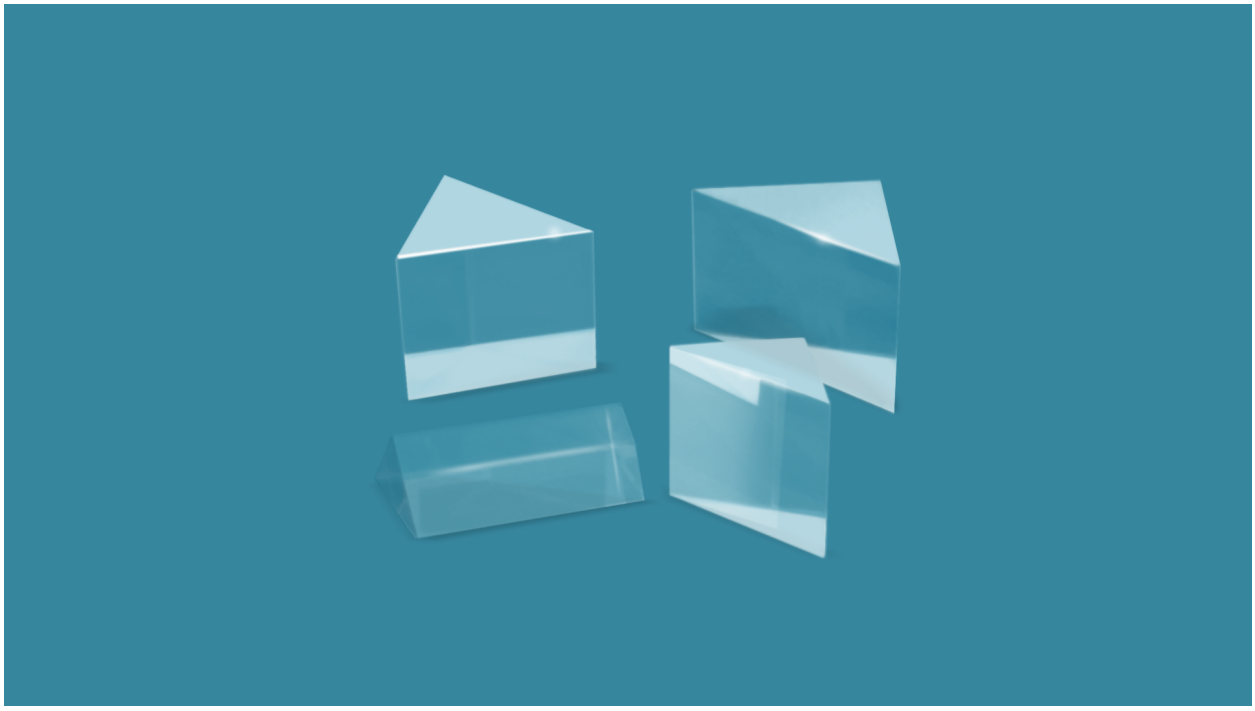
- przytoczyć treść prawa odbicia światła;
- podać przyczyny, dla których światło na granicy dwóch ośrodków ulega załamaniu.

Nauczysz się

- że światło białe jest mieszaniną barw;
- że światło białe ulega rozszczepieniu podczas przejścia przez pryzmat;
- podawać przyczyny, dla których światło białe ulega rozszczepieniu.

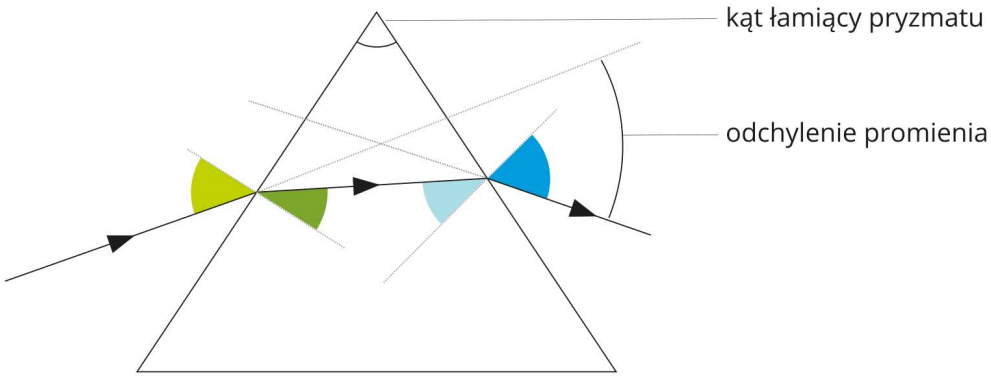
1. Rozszczepienie światła białego

Fizykiem, który jako pierwszy udowodnił, że światło białe jest mieszaniną różnych barw, był znany nam już odkrywca prawa powszechnego ciążenia Isaac Newton. Właśnie Newton w swoim eksperymencie wykorzystał pryzmat.



Pryzmaty ze szkła kwarcowego

Pryzmat to bryła z materiału optycznie przezroczystego (zwykle ze szkła), będąca graniastosłupem o podstawie trójkąta. Światło przechodząc przez pryzmat, ulega podwójnemu załamaniu, po raz pierwszy na granicy ośrodków powietrze–szkło (przy wejściu do pryzmatu), po raz drugi na granicy szkło–powietrze (przy wyjściu z pryzmatu). Bieg promienia światła w pryzmacie przedstawia poniższa ilustracja.



Droga promienia światła w pryzmacie

Doświadczenie 1

Problem badawczy

Jak i dlaczego światło ulega rozszczepieniu?

Hipoteza

Światło białe ulega rozszczepieniu, ponieważ jest mieszaniną podstawowych, prostych barw.

Co będzie potrzebne

- źródło światła białego (latarka LED, rzutnik);
- szczelina;
- pryzmat z podstawką;
- ekran.

Instrukcja

1. Szczelinę ustawić pionowo bezpośrednio za źródłem światła.
2. Skierować źródło światła na jedną ze ścian pryzmatu.
3. Ustawić ekran tak, aby padało na niego światło po przejściu przez pryzmat.

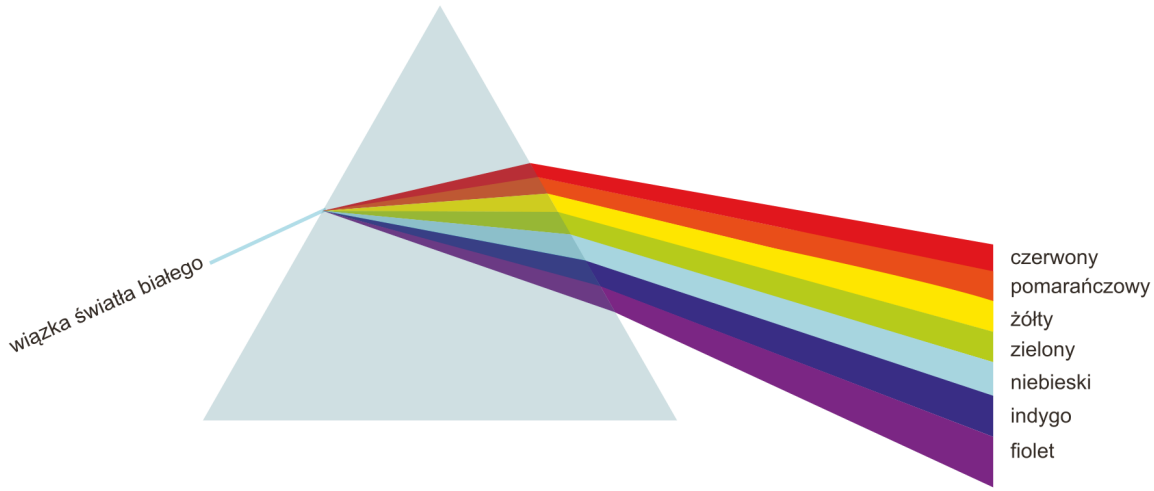
Podsumowanie

Na ekranie obserwujemy tzw. **widmo światła białego**, czyli zestaw kolorów od fioletowego do czerwonego powstały skutkiem rozszczepienia wiązki światła białego. Światło białe jest zatem mieszaniną barw.

Zapamiętaj!

Światło białe jest mieszaniną barw.

Jaki jest mechanizm powstawania widma światła białego? Promień światła, który jest mieszaniną barw, ulega podwójnemu załamaniu podczas przejścia przez pryzmat. Każda ze składowych załamuje się pod innym kątem, ponieważ podczas przejścia z jednego ośrodka do drugiego zmienia się jej prędkość rozchodzenia.



Mechanizm powstawania widma światła białego podczas przejścia przez pryzmat

Zapamiętaj!

Podczas przejścia przez pryzmat największemu odchyleniu od pierwotnego kierunku ulega światło fioletowe, a najmniejszemu czerwone.

Rozszczepienie odbywa się już przy wejściu światła białego do pryzmatu. Podczas wyjścia kąty załamania, pod którymi składowe barwy światła białego opuszczają pryzmat, rosną, dzięki czemu zjawisko staje się lepiej widoczne.
Rozszczepianie światła pozwala wytłumaczyć wiele zjawisk obserwowanych w przyrodzie, np. powstawanie tęczy.

Ćwiczenie 1

Uporządkuj, według kolorów, otrzymane w pryzmacie widmo światła białego, rozpoczynając od barwy czerwonej.

pomarańczowy

indygo

niebieski

żółty

czerwony

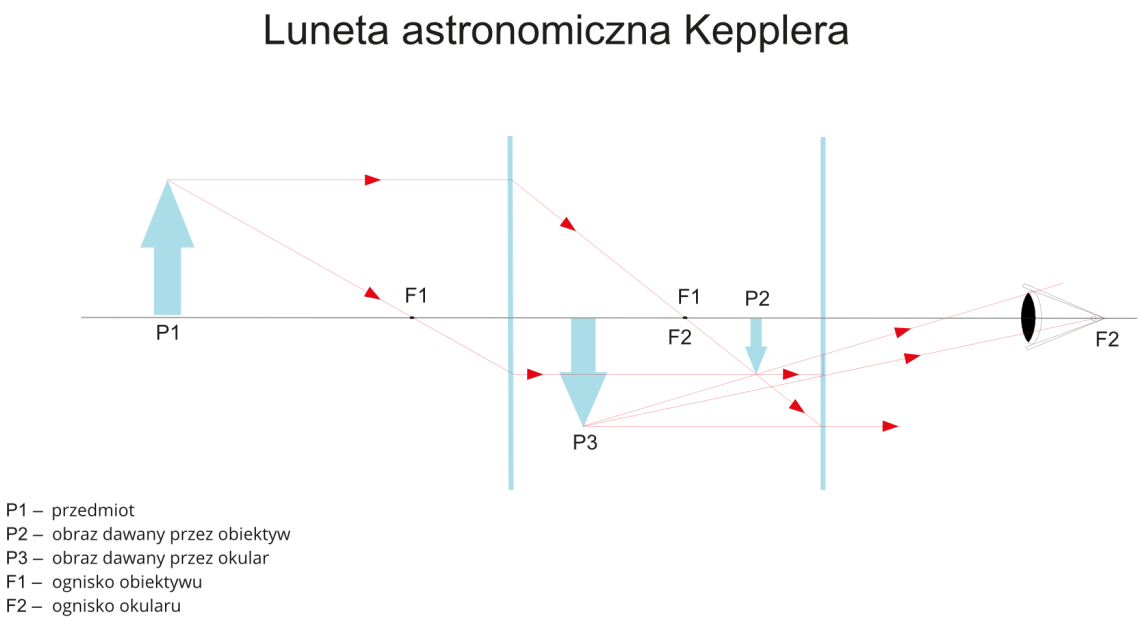
fioletowy

zielony

Źródło: Dariusz Kajewski <Dariusz.Kajewski@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

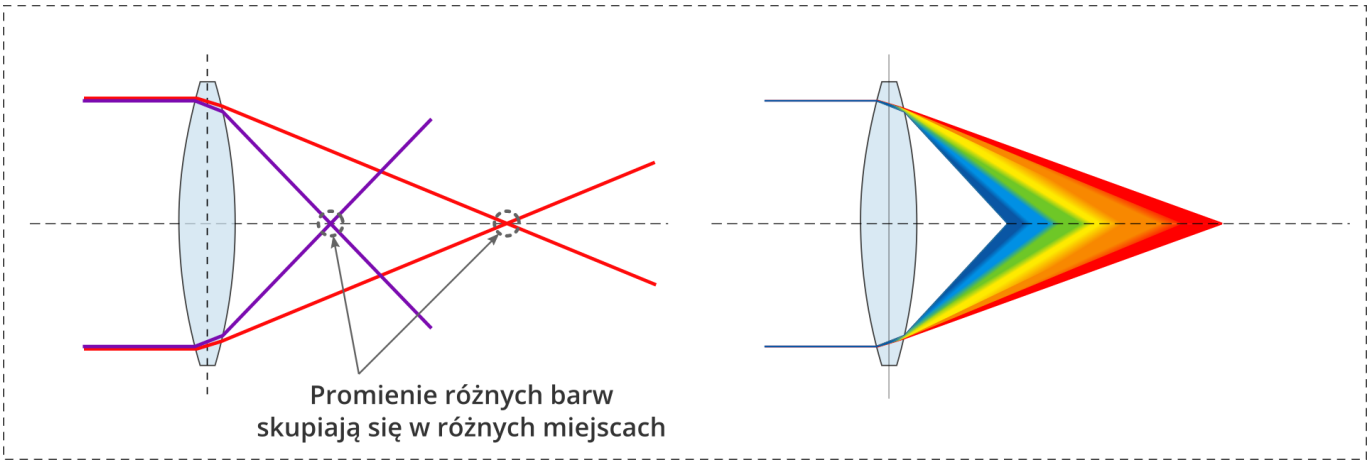
2. Problemy wynikające z rozszczepienia światła

Rozszczepienie światła jest pięknym i widowiskowym zjawiskiem, ale może być także kłopotliwe. Pierwsze obserwacje nieba prowadzone były przy użyciu lunet, które posiadały pojedyncze szklane soczewki.



Załamanie światła w soczewkach lunety astronomicznej

W przypadku gdy przez soczewkę przebiega wiązka światła i ulega ona załamaniu, to podobnie jak w pryzmacie, zwłaszcza w przypadku „grubych" soczewek, może dojść do rozszczepienia światła na barwy podstawowe. Każda z barw ma inne ognisko – nie ma zatem jednego punktu, w którym zbiegają się wszystkie promienie świetlne. W rezultacie możemy zauważyć kolorową obwódkę wokół obserwowanych przedmiotów oraz odczuć utratę ostrości widzenia ich obrazu.



Aberracja chromatyczna

Zjawisko, o którym mowa powyżej, nazywamy aberracją chromatyczną. Wpływa ona na jakość obrazu zarówno przy obserwacjach astronomicznych wykonywanych przy zastosowaniu prostych teleskopów, jak i na proces powstawania zwykłych zdjęć, gdyż aparaty fotograficzne wyposażone są w plastikowe lub szklane obiektywy. Efekt ten można skorygować, używając układu odpowiednio dobranych soczewek (układu achromatycznego) zamiast pojedynczych soczewek.

Polecenie 1

Gdy zachodzi aberracja chromatyczna, które z ognisk znajduje się bliżej soczewki – światła czerwonego czy światła fioletowego? Uzasadnij odpowiedź.

Podsumowanie

- Pryzmat to bryła z materiału optycznie przezroczystego (zwykle ze szkła), będąca graniastosłupem o podstawie trójkąta.
- Światło przechodząc przez pryzmat ulega podwójnemu załamaniu, po raz pierwszy na granicy ośrodków powietrze–szkło (przy wejściu do pryzmatu), po raz drugi na granicy szkło–powietrze (przy wyjściu z pryzmatu).
- Widmo światła białego jest to zestaw kolorów od fioletowego do czerwonego, płynnie przechodzących jeden w drugi, będący wynikiem rozszczepienia wiązki światła białego.
- Światło białe jest mieszaniną barw.
- Podczas przejścia przez pryzmat największemu załamaniu ulega światło fioletowe, a najmniejszemu – czerwone.
- Aberracja chromatyczna to wada soczewki spowodowana rozszczepieniem światła białego na barwy składowe, przez co każda z barw posiada własne ognisko, leżące w różnej odległości od soczewki.

Praca domowa

Polecenie 2.1

Dlaczego odbicie światła białego od zwierciadła nie powoduje jego rozszczepienia?

Słowniczek

aberracja chromatyczna

– wada soczewki spowodowana rozszczepieniem światła białego na barwy składowe, przez co każda z barw posiada ognisko leżące w różnej odległości od soczewki.

pryzmat

– bryła z materiału optycznie przezroczystego (zwykle ze szkła), będąca graniastosłupem o podstawie trójkąta.

Zadanie podsumowujące lekcję

Ćwiczenie 2

Uzupełnij zdanie tak, aby było prawdziwe.

Newton rozszczepił światło przy pomocy [ ].

Źródło: Dariusz Kajewski <Dariusz.Kajewski@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Podsumowanie wiadomości z optyki

W tym dziale przedstawiliśmy wybrane zagadnienia związane ze światłem. Pokazaliśmy, że w ośrodkach jednorodnych światło rozchodzi się po liniach prostych. Świadczy o tym powstawanie cienia i półcienia. Omówiliśmy zjawisko odbicia światła od różnych zwierciadeł, pokazaliśmy, jak powstają obrazy w zwierciadłach i czym się te obrazy charakteryzują. Opisaliśmy zjawisko załamania światła i zaprezentowaliśmy podstawowe przyrządy, w których to zjawisko jest wykorzystywane: pryzmaty i soczewki. Nauczyliśmy cię konstruowania obrazów w soczewkach oraz podaliśmy przykłady zastosowania soczewek do korygowania niektórych wad ludzkiego wzroku. Zapoznaliśmy cię z pięknym, barwnym zjawiskiem rozszczepienia światła białego.

Optyka jest jedną z najpiękniejszych i najbardziej interesujących gałęzi fizyki. Ma też ogromne znaczenie praktyczne, czego najlepszym przejawem jest istnienie fotografii i filmu

1. Źródła światła

Źródło: rghisi (https://www.flickr.com), licencja: CC BY ND 2.0.

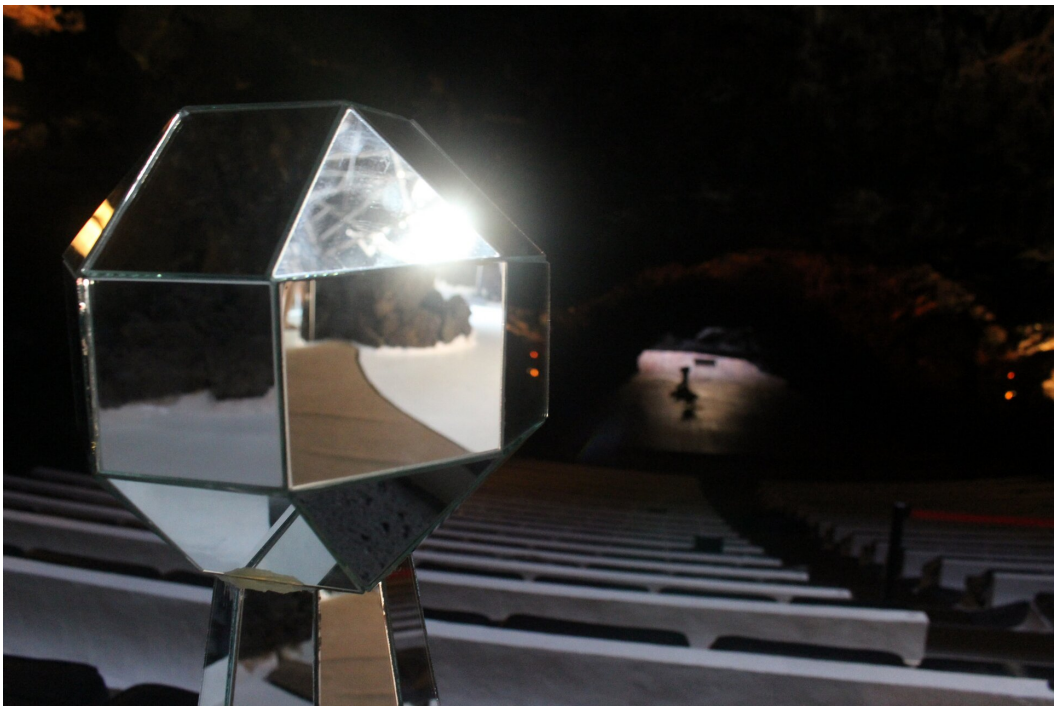
1. Abyśmy mogli cokolwiek zobaczyć, światło musi dotrzeć do naszego oka i wywołać wrażenie wzrokowe. Światło to może pochodzić bezpośrednio ze źródła światła. Widzimy także przedmioty, od których światło się odbiło.
2. Źródłem światła jest każde ciało emitujące promieniowanie świetlne.
3. Znane nam źródła światła możemy podzielić na dwie grupy:
    1. naturalne źródła światła (gwiazdy, świetliki, niektóre stworzenia morskie, wyładowania atmosferyczne);
    2. sztuczne źródła światła (żarówki elektryczne, neony, diody LED).
4. Źródła światła mogą być punktowe i rozciągłe.
5. Punktowe źródło światła to takie, którego rozmiary są wielokrotnie mniejsze od odległości dzielącej to źródło od oświetlanego przedmiotu. Wówczas, niezależnie od fizycznych rozmiarów i kształtu źródła światła, przy opisie sposobu padania promieni świetlnych na oświetlany przedmiot można założyć, że wychodzą one z jednego punktu.
6. Rozciągłe źródła światła to takie, w przypadku których proporcje pomiędzy rozmiarami powierzchni świecącej i odległością źródła światła od oświetlanego przedmiotu sprawiają, że rozmiary i kształt źródła światła mają wpływ na sposób oświetlania badanego przedmiotu. Mówimy, że w przypadku rozciągłych źródeł światła nie wolno pomijać rozmiarów i kształtu powierzchni świecącej przy opisie sposobu padania promieni świetlnych na oświetlany przedmiot.
7. Nie wszystkie obiekty, które wydają się emitować światło, są jego źródłami. Obiekty tego typu świecą światłem odbitym. Między innymi zaliczamy do nich Księżyc i planety, które nie emitują światła, jedynie odbijają światło słoneczne.

2. Cień i półcień

Źródło: raíssa viza (https://www.flickr.com), licencja: CC BY-SA 2.0.

1. W ośrodku jednorodnym światło rozchodzi się prostoliniowo.
2. Linię, wzdłuż której rozchodzi się światło, nazywamy promieniem świetlnym.
3. Obszar cienia to obszar, do którego nie dochodzą promienie świetlne przesłonięte przez nieprzezroczysty przedmiot. Z obszaru cienia nie widać źródła światła.
4. Półcień powstaje zawsze, gdy nieprzezroczysty przedmiot jest oświetlany rozciągłym źródłem światła lub gdy przedmiot oświetlany jest kilkoma źródłami punktowymi. Z obszaru półcienia widać częściowo źródło światła.

3. Odbicie światła



Źródło: Lee-yoshi (https://www.flickr.com), licencja: CC BY-SA 2.0.

1. Gdy światło pada na granicę dwóch ośrodków, ulega odbiciu.
2. Kąt pomiędzy kierunkiem promienia padającego a prostopadłą do powierzchni w punkcie padania nazywamy kątem padania.
3. Kąt odbicia to kąt pomiędzy prostopadłą do powierzchni w punkcie odbicia światła a kierunkiem promienia odbitego.
4. Prawo odbicia: kąt odbicia jest równy kątowi padania, a promień padający i promień odbity oraz prostopadła do powierzchni zwierciadła leżą w tej samej płaszczyźnie.
5. Zwierciadła są powierzchniami odbijającymi, wykonanymi zwykle z metalu lub szkła pokrytego warstwą aluminium lub srebra.
6. Jeśli równoległa wiązka promieni światła pada na zwierciadło płaskie, to po odbiciu pozostaje równoległa. Jednak gdy powierzchnia zwierciadła nie jest wystarczająco gładka, wiązka odbita ulega rozproszeniu. Kierunki promieni odbitych przestają być równoległe, stają się przypadkowe i rozbieżne.

4. Zwierciadło płaskie

Źródło: Fæ (https://www.flickr.com), edycja: Krzysztof Jaworski, licencja: CC BY 2.0.

1. Zwierciadła płaskie są płaskimi powierzchniami odbijającymi promienie świetlne, wykonanymi zwykle z metalu lub szkła pokrytego dodatkową warstwą aluminium lub srebra.
2. Obraz utworzony w zwierciadle płaskim jest prosty i pozorny. Obraz prosty oznacza taki, który w stosunku do przedmiotu nie jest odwrócony. Obraz pozorny powstaje za zwierciadłem w miejscu, gdzie przecinają się przedłużenia promieni odbitych. Promienie nie wychodzą naprawdę z tego punktu, ale wydaje się, jakby z niego wychodziły. Obserwator widzi obraz punktu dokładnie w tym miejscu.
3. Zwierciadła płaskie znalazły szerokie zastosowanie jako istotne elementy instrumentów optycznych, począwszy od lusterek samochodowych, luster, na aparatach fotograficznych lub laserach kończąc.

5. Zwierciadło wklęsłe

Źródło: mandolux (https://www.flickr.com), licencja: CC BY NC ND 2.0.

1. Zwierciadło kuliste wklęsłe jest zwierciadłem, którego powierzchnia odbijająca jest wewnętrzną częścią kuli.
2. Układ optyczny zwierciadła kulistego (sferycznego) wklęsłego opisują:
    1. **oś optyczna** – prosta przechodząca przez środek krzywizny zwierciadła, czyli przez środek sfery, z którego powstało, łącząca środek krzywizny zwierciadła z jego wierzchołkiem;
    2. **promień krzywizny zwierciadła** – promień kuli, której część wewnętrzna jest powierzchnią odbijającą zwierciadła;
    3. **ognisko zwierciadła** – punkt leżący na osi optycznej, w którym po odbiciu skupiają się promienie padające na zwierciadło równolegle do osi optycznej;
    4. **ogniskowa** – długość odcinka łączącego ognisko z powierzchnią zwierciadła.
3. Ogniskową (f) i promień krzywizny (r) zwierciadła kulistego łączy zależność: $f = \frac{r}{2}$
4. Jednostką ogniskowej (f) w układzie SI jest metr.
5. Zwierciadła wklęsłe znalazły zastosowanie jako reflektory w lampach samochodowych, latarkach, antenach i teleskopach astronomicznych.

6. Konstrukcja obrazów w zwierciadle kulistym

Źródło: *Psycho Delia* (https://www.flickr.com), licencja: CC BY NC 2.0.

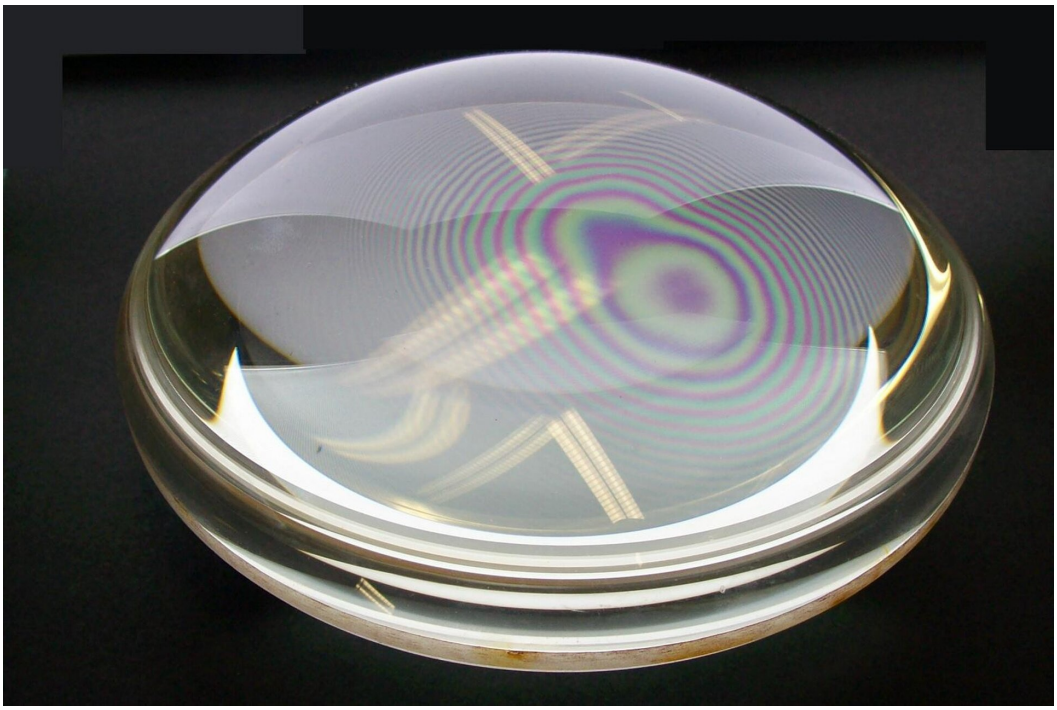
1. W celu konstrukcji obrazu, między innymi w zwierciadłach, posługujemy się promieniami, których bieg można łatwo przewidzieć. W zwierciadle kulistym wklęsłym będą to:
    1. Promień równoległy do osi optycznej, który po odbiciu przechodzi przez ognisko zwierciadła (F). Wynika to z definicji ogniska.
    2. Promień biegnący wzdłuż promienia krzywizny zwierciadła, przechodzący przez środek krzywizny zwierciadła O; po odbiciu powraca tym samym torem, którym przybył. Wynika to z tego, że promień kuli jest prostopadły do jej powierzchni.
    3. Promień przechodzący przez ognisko zwierciadła (F) po odbiciu opuszcza zwierciadło torem równoległym do osi optycznej. Wynika to z definicji ogniska.
2. Cechy obrazów powstałych w zwierciadle kulistym można analizować ze względu na położenie przedmiotu i położenie obrazu.

7. Załamanie światła

Źródło: DasWortgewand (https://pixabay.com), public domain.

1. Zjawisko zmiany kierunku rozchodzenia się światła na granicy dwóch ośrodków przezroczystych nazywamy **załamaniem światła**.
2. **Kąt pomiędzy kierunkiem promienia padającego a prostopadłą do powierzchni granicznej (normalną) w punkcie padania nazywamy kątem padania**.
3. **Kąt załamania to kąt pomiędzy prostopadłą do powierzchni granicznej (normalną) w punkcie załamania światła a kierunkiem promienia załamanego**.
4. **Promień padający, prostopadła (normalna) i promień załamany leżą w jednej płaszczyźnie**.
5. Przyczyną zjawiska załamania jest zmiana prędkości rozchodzenia się światła przy przejściu z jednego ośrodka do drugiego. Jeżeli prędkość rozchodzenia się światła w pierwszym ośrodku jest większa niż w tym, do którego światło przechodzi, wówczas kąt padania (α) jest większy od kąta załamania (β).
6. Jeżeli prędkość rozchodzenia się światła w pierwszym ośrodku jest mniejsza niż w drugim, wówczas kąt padania (α) jest mniejszy od kąta załamania (β).
7. W przypadku gdy kąt padania promienia światła na granicę dwóch ośrodków wynosi 0°, mimo tego, że prędkości rozchodzenia się światła są różne, kierunek jego biegu nie ulega zmianie.
8. Przy przejściu z ośrodka, w którym prędkość rozchodzenia się światła jest mniejsza, do ośrodka, w którym prędkość światła jest większa, może dojść do zjawiska całkowitego wewnętrznego odbicia. Zwiększaniu kąta padania towarzyszy jednoczesny wzrost kąta załamania. Przy wartościach kątów padania większych od pewnego kąta, zwanego kątem granicznym (α_{gr}), promienie światła przestają przechodzić do drugiego ośrodka i ulegają całkowitemu wewnętrznemu odbiciu.

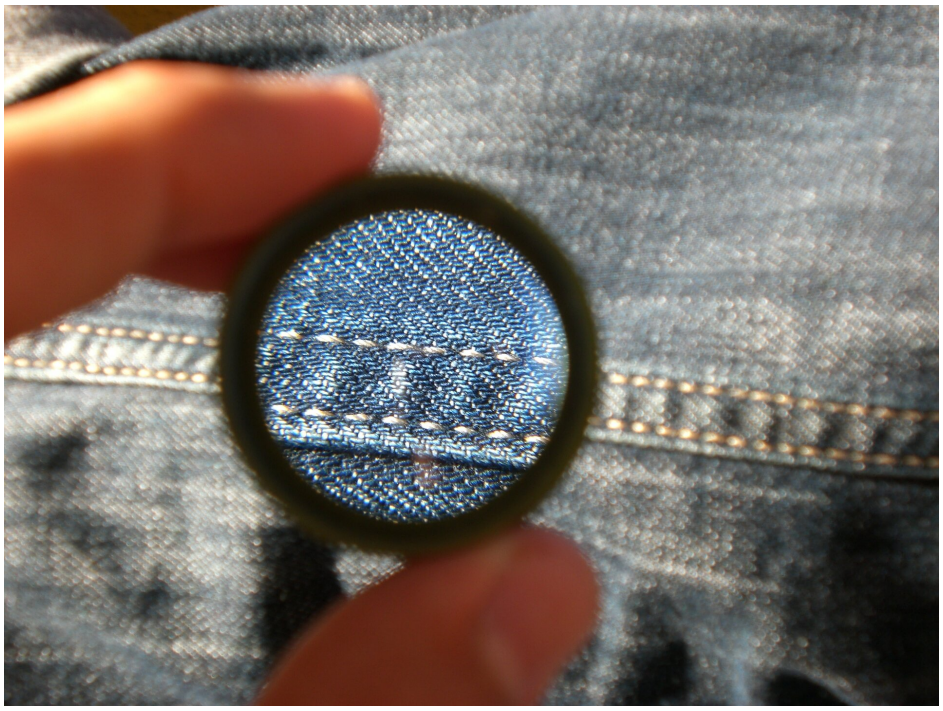
8. Soczewki



Źródło: Ulfbastel (http://commons.wikimedia.org), public domain.

1. Soczewka to ciało przezroczyste ograniczone powierzchniami kulistymi, parabolicznymi lub walcowymi.
2. Soczewki mogą zarówno skupiać, jak i rozpraszać światło. Odpowiednio nazywamy je soczewkami skupiającymi i rozpraszającymi.
3. Soczewki znalazły szerokie zastosowanie w układach optycznych takich przyrządów, jak:
    1. obiektyw;
    2. lupa;
    3. mikroskop optyczny;
    4. teleskop soczewkowy;
    5. okulary.
4. Ogniskiem F soczewki skupiającej nazywamy punkt, w którym po przejściu przez soczewkę przecinają się wszystkie promienie światła, które padały na nią równoległe do osi optycznej.
5. Ogniskową f soczewki nazywamy odległość ogniska F od środka soczewki O.

9. Konstrukcja obrazów powstających przy użyciu soczewek



Źródło: As I am (https://www.flickr.com), licencja: CC BY NC ND 2.0.

1. W przypadku gdy musimy skonstruować obraz powstający z wykorzystaniem soczewek skupiających, zwykle wybieramy dwa z trzech wymienionych poniżej promieni, których bieg łatwo jest przewidzieć:
    1. promień równoległy do osi optycznej – po przejściu przez soczewkę przechodzi przez ognisko;
    2. promień przechodzący przez ognisko – po przejściu przez soczewkę wychodzi równoległy do osi optycznej;
    3. promień przechodzący przez środek soczewki – po przejściu przez soczewkę nie zmienia kierunku (nie ulega odchyleniu).
2. Cechy obrazu powstałego w soczewkach skupiających zależą od odległości przedmiotu od soczewki i zostały zebrane w tabeli poniżej.

Cechy obrazu powstałego w soczewce skupiającej

Położenie przedmiotu x	**Położenie obrazu y**	**Cechy obrazu**
$x > 2f$	$f < y < 2f$	odwrócony, rzeczywisty, pomniejszony
$x = 2f$	$y = 2f$	odwrócony, rzeczywisty, tej samej wielkości co przedmiot
$2f > x > f$	$y > 2f$	odwrócony, rzeczywisty, powiększony

Położenie przedmiotu x	Położenie obrazu y	Cechy obrazu
$x = f$	promienie po przejściu przez soczewkę są w stosunku do siebie równoległe	brak obrazu
$x < f$	obraz powstaje po tej samej stronie soczewki, po której znajduje się przedmiot	prosty, pozorny, powiększony

1. Obrazy rzeczywiste powstają w miejscu przecięcia się promieni załamanych. Zdarza się jednak, że promienie załamane są rozbieżne. Jeśli ich przedłużenia przecinają się, powstaje obraz pozorny. W przypadku gdy promienie załamane są w stosunku do siebie równoległe, obraz w ogóle nie powstanie.
2. W przypadku soczewki rozpraszającej konstrukcja obrazu wygląda inaczej w porównaniu z soczewkami skupiającymi. Wiązka promieni równoległych padających na soczewkę po jej opuszczeniu jest zawsze rozbieżna. Przecięciu ulegają wówczas przedłużenia promieni załamanych w punkcie leżącym na osi optycznej, nazywanym ogniskiem pozornym.
3. W celu przeprowadzenia konstrukcji obrazu w soczewce rozpraszającej zwykle wystarczą dwa promienie:
    1. promień padający równolegle do osi optycznej – po przejściu przez soczewkę jego przedłużenie przechodzi przez ognisko pozorne;
    2. promień przechodzący przez środek soczewki – po przejściu przez soczewkę jego kierunek (tor) nie ulega zmianie.
4. W soczewkach rozpraszających powstały obraz jest zawsze prosty, pomniejszony i pozorny.

10. Oko

Źródło: Laitr Keiows (http://commons.wikimedia.org), licencja: CC BY-SA 3.0.

1. Podstawowym organem narządu wzroku jest oko, w którym niezwykle ważną rolę pełni soczewka. Promienie światła po przejściu przez rogówkę padają na soczewkę skupiającą, która tworzy na siatkówce oka obraz pomniejszony, odwrócony i rzeczywisty.
2. Oko ludzkie ma zdolność akomodacji, czyli zdolność dopasowania oka do odległości w jakiej znajduje się oglądany przedmiot. Dzieje się tak dzięki zmianom kształtu soczewki.
3. Odległość dobrego widzenia dla oka ludzkiego pozbawionego wady wzroku wynosi około 25 cm.
4. Najczęściej spotykane wady wzroku to krótko- i dalekowzroczność.

11. Krótkowzroczność

Źródło: pedrosimoes7 (https://www.flickr.com), edycja: Krzysztof Jaworski, licencja: CC BY 2.0.

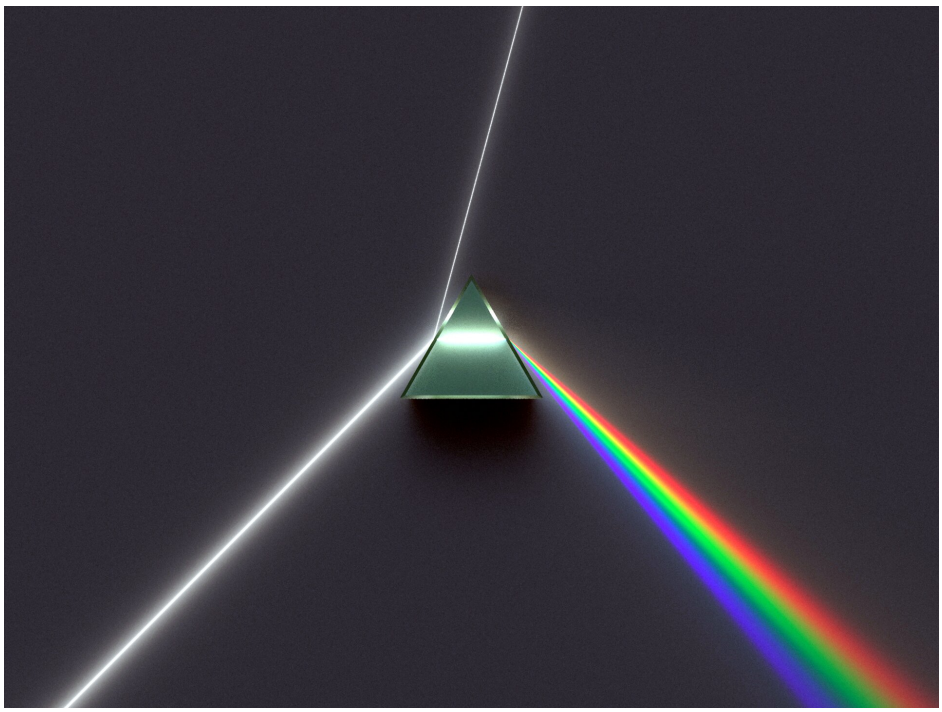
1. **Krótkowzroczność** to wada związana z zaburzeniem załamania światła przez soczewkę (zbyt wypukłą) lub oddaleniem się siatkówki od soczewki (wydłużona gałka oczna). Obraz odległego przedmiotu powstaje przed siatkówką i jest interpretowany przez mózg jako niewyraźny i zatarty.
2. Do korekty tej wady stosuje się **soczewki rozpraszające**.

12. Dalekowzroczność

Okulary do korekty dalekowzroczności.
Źródło: Free Photos / Pixabay, Licencja niewyłączna.

1. **Dalekowzroczność** (nadwzroczność) to wada związana z zaburzeniem załamania światła przez soczewkę (za bardzo spłaszczoną) lub zbyt dużym zbliżeniem się soczewki do siatkówki (skrócona gałka oczna). Obraz odległego przedmiotu powstaje za siatkówką i jest interpretowany przez mózg jako nieostry.
2. Do korekty tej wady wzroku stosuje się **soczewki skupiające**.

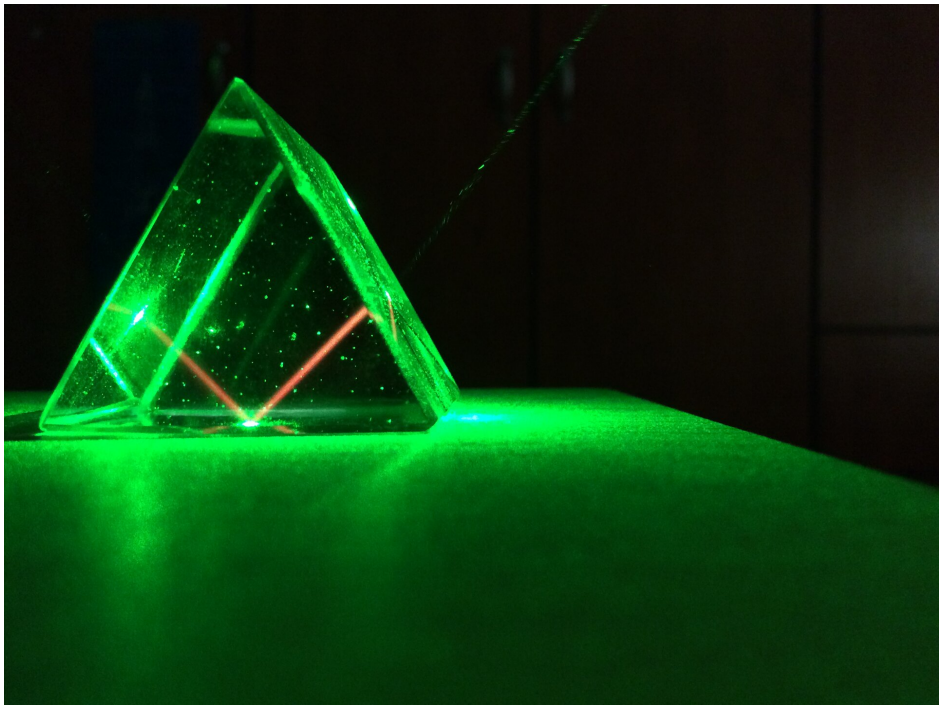
13. Rozszczepienie światła w pryzmacie



Źródło: Spigget (http://commons.wikimedia.org), edycja: Krzysztof Jaworski, licencja: CC BY-SA 3.0.

1. Pryzmat to bryła przezroczysta (wykonana zwykle ze szkła), będąca graniastosłupem o podstawie trójkąta.
2. Światło przechodząc przez pryzmat ulega dwukrotnemu załamaniu, po raz pierwszy na granicy ośrodków powietrze–szkło (przy wejściu do pryzmatu), po raz drugi na granicy szkło–powietrze (przy wyjściu z pryzmatu).
3. Światło białe podczas przejścia przez pryzmat ulega rozszczepieniu, tworząc tak zwane widmo światła białego. Jest to zestaw kolorów od fioletowego do czerwonego, płynnie przechodzących jeden w drugi.
4. Podczas przejścia przez pryzmat największemu odchyleniu od pierwotnego kierunku ulega światło fioletowe, a najmniejszemu – czerwone.
5. Światło białe jest mieszaniną barw. Ponowne połączenie wszystkich barw występujących w widmie daje światło białe.

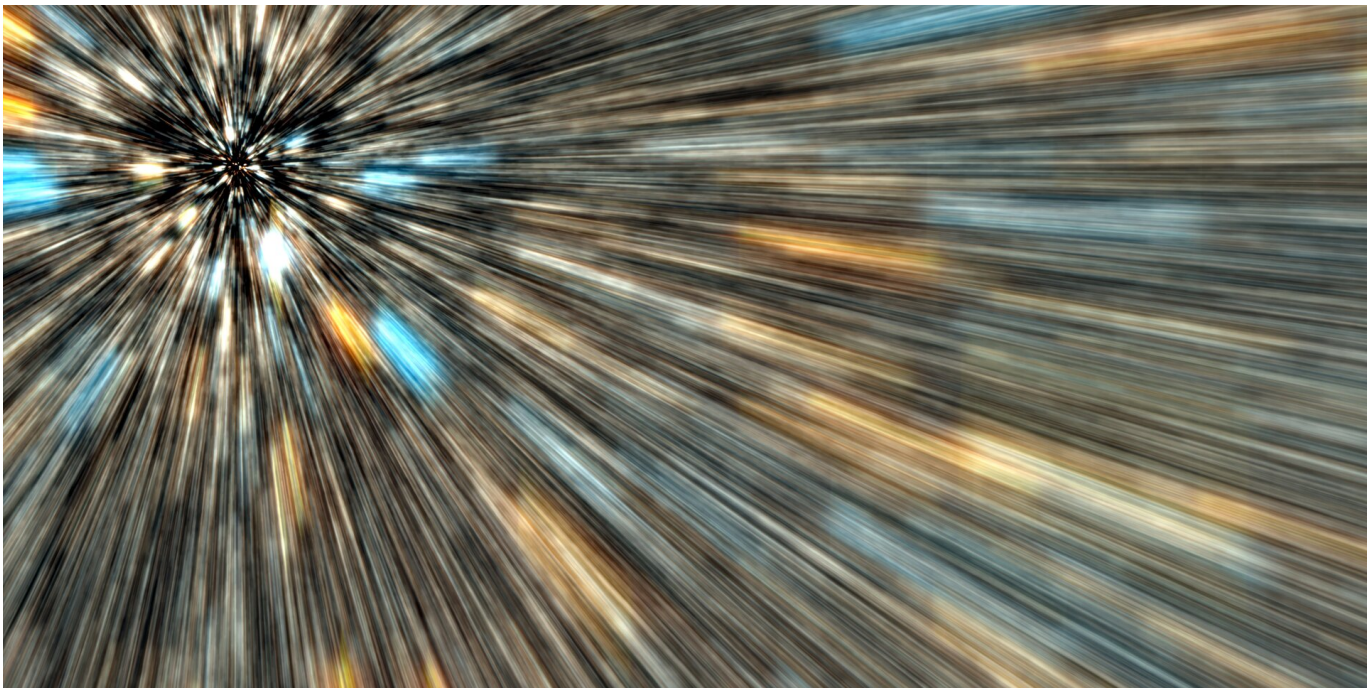
14. Światło białe a światło jednobarwne



Źródło: dgdean (http://commons.wikimedia.org), licencja: CC BY-SA 3.0.

1. Światło białe jest mieszaniną światła o różnych barwach: od fioletu przez niebieski, zielony, żółty, pomarańczowy do czerwonego;
2. Światło lasera jest światłem jednobarwnym – to znaczy, że po przejściu przez pryzmat nie ulega rozszczepieniu.

15. Prędkość światła



Źródło: sjrankin (https://www.flickr.com), edycja: Krzysztof Jaworski, licencja: CC BY NC 2.0.

1. Światło w próżni rozchodzi się z prędkością o wartości około 300 tysięcy kilometrów na sekundę.
2. Jest to największa prędkość, z jaką można w przyrodzie przesyłać informację.
3. W ośrodkach materialnych szybkość światła jest mniejsza i różna dla różnych ośrodków. Na przykład w szkle jest półtora razy mniejsza niż w próżni.

16. Zadania

> **Polecenie 1**
>
> Przedstaw graficznie tworzenie się cienia i półcienia rzucanego na ścianę przez drewniany klocek w kształcie walca, oświetlony raz przez jedną punktową żarówkę, a drugi raz przez świetlówkę o wydłużonym kształcie.

> **Polecenie 2**
>
> Świecący przedmiot w kształcie trójkąta ustawiono przed zwierciadłem płaskim. Narysuj konstrukcję obrazu tego przedmiotu w tym zwierciadle.

Polecenie 3

Ogniskowa soczewki skupiającej ma wartość 30 cm. W odległości 50 cm od soczewki ustawiono świecę. Wykonaj odpowiedni rysunek i wymień cechy obrazu świecy, który powstanie w tych warunkach.

Polecenie 4

W instrukcji do obserwacji zjawiska załamania światła zapisano polecenie: „Nad powierzchnią wody rozpyl odświeżacz powietrza". Wyjaśnij, dlaczego należało to zrobić.

Polecenie 5

Odpowiedz na pytanie: dlaczego światło białe przechodząc przez pryzmat, ulega rozszczepieniu, a światło lasera nie?

Polecenie 6

Legendarny Pan Twardowski wysłał wiadomość z Księżyca do swego sługi na Ziemi. Odpowiedz na pytanie: po jakim najkrótszym czasie mógł otrzymać odpowiedź? Zakładamy, że sługa wysłał odpowiedź po 10 sekundach od momentu otrzymania wiadomości. Odległość od Ziemi do Księżyca wynosi około 380 000 km.

17. Test

Ćwiczenie 1

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 2

Dokończ zdanie:
Używając soczewki rozpraszającej otrzymujemy obraz

- zawsze rzeczywisty, prosty i powiększony.
- zawsze rzeczywisty, powiększony i odwrócony.
- zawsze pomniejszony, pozorny i prosty.
- zawsze pozorny, prosty i powiększony.
- powiększony, prosty i pozorny lub rzeczywisty w zależności od odległości przedmiotu od soczewki.
- zawsze pozorny, prosty, powiększony lub pomniejszony w zależności od odległości przedmiotu od soczewki.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 3

Jaki obraz otrzymamy w zwierciadle wklęsłym, gdy przedmiot świecący znajduje się daleko od zwierciadła (w odległości większej niż promień krzywizny tego zwierciadła)?

- Rzeczywisty, pomniejszony, prosty.
- Pozorny, pomniejszony, odwrócony.
- Pozorny, powiększony, prosty.
- Rzeczywisty, pomniejszony, odwrócony.
- Rzeczywisty, powiększony, odwrócony.
- Pozorny, pomniejszony, prosty.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 4

Akomodacją nazywamy

- ◯ procedurę korekcji wzroku osób z krótkowzrocznością lub dalekowzrocznością.
- ◯ zdolność oka do zmiany długości ogniskowej soczewki, umożliwiającą ostre widzenie przedmiotów znajdujących się w różnych odległościach od oka.
- ◯ zdolność do zwężania lub rozszerzania źrenicy oka w celu regulowania ilości światła padającego na siatkówkę.
- ◯ proces przetwarzania sygnału optycznego na elektryczny zachodzący w komórkach światłoczułych siatkówki.
- ◯ wadę wzroku związaną z zaburzeniami kształtu rogówki.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 5

Jakie zjawisko optyczne wykorzystywane jest w wymienionych przyrządach?

Odbicie światła

[ ]

Rozpraszanie światła

[ ]

Załamanie światła

[ ]

- mętnościomierz (przyrząd do pomiaru zmętnienia cieczy lub gazu)
- mikroskop optyczny
- soczewki kontaktowe
- obiektyw aparatu fotograficznego
- lusterko dentystyczne
- okulary
- reflektor samochodowy
- matówka (mleczne szkło)
- peryskop

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 6

W jakiej odległości od obiektywu projektora należy umieścić przeźrocze, aby na ekranie uzyskać powiększony rzeczywisty obraz zdjęcia na przeźroczu?

- ◯ W odległości mniejszej od ogniskowej obiektywu.
- ◯ W odległości większej od podwojonej ogniskowej obiektywu.
- ◯ W odległości dużo większej od podwojonej ogniskowej obiektywu.
- ◯ Odległość ta zależy od tego, czy obiektyw jest soczewką skupiającą, czy rozpraszającą.
- ◯ W odległości większej niż ogniskowa obiektywu, ale mniejszej niż podwojona wartość tej ogniskowej.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 7

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 8

Jakie cechy ma obraz powstający na siatkówce ludzkiego oka?

- ◯ Jest pozorny, odwrócony, pomniejszony.
- ◯ Jest rzeczywisty, odwrócony, pomniejszony.
- ◯ Jest rzeczywisty, prosty, pomniejszony.
- ◯ Jest pozorny, prosty, pomniejszony.
- ◯ Jest pozorny, prosty, powiększony.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 9

Promień światła odbija się od szklanego blatu biurka. Promień padający tworzy z powierzchnią biurka kąt 20°. Oblicz wartość kąta odbicia tego promienia.

- ◯ 40°
- ◯ 140°
- ◯ 20°
- ◯ 70°
- ◯ 80°

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 10

Wypowiedzi połącz w takie pary, aby powstało zdanie prawdziwe.

Oko dalekowidza	ma zbyt dużą ogniskową.
Dalekowzroczność	koryguje się soczewkami rozpraszającymi.
Krótkowzroczność	ma zbyt małą ogniskową.
Oko krótkowidza	koryguje się soczewkami skupiającymi.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Sprawdzian wiadomości z optyki

Przed przystąpieniem do rozwiązywania zadań w ramach sprawdzianu przygotuj kartkę papieru i przybory do pisania. Może przydać się również kalkulator.

Ćwiczenie 1

W pewnej odległości od płaskiego lustra ustawiono świecącą diodę.
Obraz tej diody powstanie po

- ◯ tej samej stronie lustra, gdzie jest dioda, w miejscu, gdzie przetną się promienie odbite od lustra.
- ◯ drugiej stronie lustra w miejscu, gdzie przetną się promienie padające na lustro po odbiciu.
- ◯ drugiej stronie lustra w miejscu, gdzie przetną się promienie padające na lustro.
- ◯ drugiej stronie lustra w miejscu, gdzie przetną się przedłużenia promieni odbitych od lustra.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 2

Jakie zjawiska optyczne wykorzystujemy, wykonując poniższe czynności?

załamanie światła

odbicie światła

prostoliniowe rozchodzenie się światła

zabawa w „teatrzyk cieni”

fotografowanie

noszenie elementów odblaskowych

wyglądanie przez wizjer w drzwiach

odczytywanie wskazań zegara słonecznego

noszenie okularów korekcyjnych

puszczanie świetlnych „zajączków”

wyświetlanie przeźroczy

oglądanie znaczków przez lupę

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 3

Które z poniższych twierdzeń są prawdziwe, a które fałszywe?

	Prawda	Fałsz
Jeśli kąt między promieniem padającym a promieniem odbitym od zwierciadła wynosi 80° to kąt padania wynosi 50°.	◯	◯
Jeśli kąt między promieniem padającym a promieniem odbitym od zwierciadła wynosi 80° to kąt padania wynosi 40°.	◯	◯
Światło odbite od zwierciadła wklęsłego ulega skupieniu.	◯	◯
Przy użyciu soczewki rozpraszającej nie można uzyskać obrazu rzeczywistego.	◯	◯
Za pomocą soczewki skupiającej można otrzymać między innymi obraz pozorny, pomniejszony i odwrócony.	◯	◯
Gdy na Słońcu dochodzi do rozbłysku, to jest on natychmiast widoczny na Ziemi.	◯	◯
Wiązka światła biegnąca równolegle do osi optycznej soczewki rozpraszającej po przejściu przez soczewkę skupia się w ognisku.	◯	◯
Światło białe składa się z wielu barw, co widać po jego przejściu przez pryzmat.	◯	◯

	Prawda	Fałsz
Prędkość światła jest w przybliżeniu równa prędkości dźwięku w powietrzu.	◯	◯

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 4

Przedmiot świecący znajduje się bardzo daleko od soczewki. Jak będzie zmieniała się wielkość obrazu tego przedmiotu w soczewce, gdy będziemy zbliżać go do soczewki? Zbliżanie zakończymy przed ogniskiem soczewki.

- ◯ Wielkość obrazu będzie początkowo rosła, a następnie malała.
- ◯ Wielkość obrazu będzie cały czas malała.
- ◯ Wielkość obrazu będzie rosła.
- ◯ Wielkość obrazu będzie początkowo malała, a następnie rosła.

Źródło: Helena Nazarenko-Fogt <Helena.Nazarenko-Fogt@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Polecenie 1

Soczewka skupiająca ma ogniskową 20 cm. W odległości 50 cm od tej soczewki postawiono świecący przedmiot. Narysuj konstrukcję obrazu tego przedmiotu, który powstał przy użyciu tej soczewki. Podaj cechy tego obrazu. Wskazówka: dla uproszczenia przyjmij, że przedmiot ma kształt strzałki prostopadłej do osi optycznej soczewki.

Polecenie 2

Promień światła białego pada na pierwszą ścianę pryzmatu równolegle do podstawy.

1. Narysuj dalszy bieg światła.
2. Opisz promienie, które narysujesz.
3. Zapisz nazwy zjawisk, którym podlega światło białe, przechodząc przez pryzmat.

Polecenie 3

Dentysta używa lusterka, które jest zwierciadłem kulistym wklęsłym. Ogniskowa takiego zwierciadła wynosi $10\ \mathrm{cm}$. Lusterko umieszczono w odległości $1\ \mathrm{cm}$ od zęba.

1. Skonstruuj obraz zęba powstający w lusterku. Dla ułatwienia przedstaw ząb jako prostą figurę geometryczną – na przykład odcinek lub strzałkę.

2. Zapisz cechy tego obrazu.