

Rozdział IV. Dynamika, czyli nauka o przyczynach ruchu

Wicie już, że wszystko we Wszechświecie znajduje się w ciągłym ruchu. W pewnych okolicznościach tego ruchu możemy nie odczuwać, w szczególności gdy jest on jednostajny, jak np. w samolocie odrzutowym lecącym nad Atlantykiem. Również Ziemia jako planeta porusza się we Wszechświecie i to z zawrotnymi prędkościami. Prędkość ruchu orbitalnego Ziemi dookoła Słońca to 30 km/s. Kierunek tej prędkości się zmienia, ale my tego nie zauważamy, gdyż przyspieszenie z tym związane jest znacznie mniejsze niż przyspieszenie np. w ruchu na karuzeli²¹. Na powierzchni Ziemi możemy więc przyjąć, że jesteśmy w spoczynku, jeśli nie zmieniamy swego położenia względem otaczających nas pobliskich ciał.

W poprzednim rozdziale dowiedzieliście się, jak opisujemy ruch ciał. Tym razem będziemy się zastanawiać, jakie są jego przyczyny. Aby obiekt pozostający w spoczynku wprawić w ruch, trzeba użyć siły. Czujesz to, podnosząc plecak, wsiadając na rower i rozpędzając się na nim. Podobnie zatrzymanie poruszającego się ciała wymaga użycia siły. Będziemy starali się wskazywać i opisywać różne rodzaje sił, z którymi mamy do czynienia na co dzień. Ten dział fizyki nazywa się **dynamiką**.

4.1. Pojęcie i własności sił

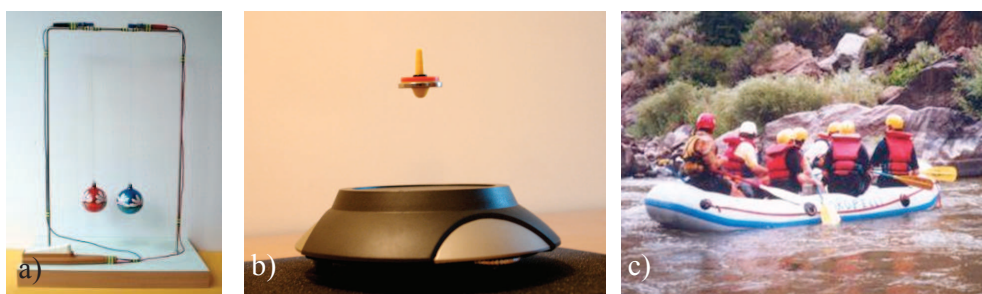
Siły towarzyszą nam bezustannie, choć zwykle nie myślimy o tym, siedząc czy też stojąc. Obserwując ciała spoczywające, tylko w niektórych przypadkach skłonni jesteśmy dopatrywać się działania sił. Najłatwiej możemy się ich domyślać, patrząc na wiszące szafki, obrazy czy lampy. Wiemy, że gdyby nie utrzymywały ich haki czy gwoździe, przedmioty te spadałyby na ziemię. Siły działają bez przerwy i na wszystko, ale ich obecność dostrzegamy łatwiej, gdy wywołują zmiany w naszym otoczeniu. To one wprawiają w ruch samochody, zatrzymują toczącą się piłkę, sprawiają, że przesuwając wzrok, czytasz te słowa i oddychasz.



Fot. 4.1. Oddziaływanie sił: a) wiszące lampy, b) wiszące magnesy. Sił jest wiele, działających na poszczególne lampy, magnesy, sufit, podstawki – na zdjęciu pokazujemy (za pomocą strzałek) tylko ich przykłady.

Siła może powstawać w kontakcie z przedmiotem poddanym jej działaniu, np. człowiek niesie torbę, pcha wózek, lokomotywa ciągnie wagony. Może też działać na odległość, np. pomiędzy magnesami, ale też spadającym ciałem i Ziemią oraz Księżycem a Ziemią. Tak więc, aby mówić o sile, musimy mieć przynajmniej dwa ciała i musi istnieć pomiędzy nimi **oddziaływanie**. Ponieważ mogą być różne rodzaje oddziaływań (patrz rozdział 4.7.), możemy mówić o różnych rodzajach sił: grawitacyjnych, magnetycznych, elektrycznych. Możemy też mówić o siłach tarcia, wyporu, sprężystości i ciężkości – w zależności od sytuacji, w której występują.

²¹ Przyspieszenie w ruchu dookoła Słońca (odległość Ziemia–Słońce wynosi 149 mln km) to zaledwie 6×10^{-3} m/s² a w ruchu na dużej karuzeli może wynosić 3 m/s².



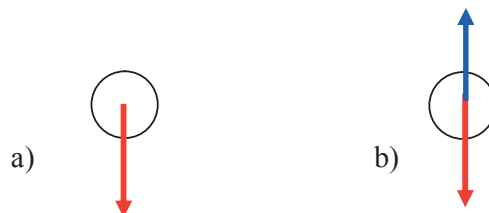
Fot. 4.2. Przykłady sił: a) siła elektryczna – bombki choinkowe; b) siła magnetyczna – magnetyczny bączek (lewitron); c) siła wyporu – ponton.

Przykład 4.1.

Jedną z najczęściej wymienianych i rozważanych w fizyce sił jest *siła ciężkości*. Każde ciało w pobliżu powierzchni Ziemi podlega jej działaniu. Podobno spadające z drzewa jabłko skłoniło Isaaca Newtona do zastanowienia się nad tym, dlaczego tak się dzieje. Ziemia przyciąga wszystko, co się na niej i w jej pobliżu znajduje.

Mówimy o sile ciężkości lub ciężarze ciała. Siła ciężkości jest bardzo specyficzną siłą. Ciężar ciała obliczamy ze wzoru $G = m \cdot g$, gdzie m jest masą ciała (w kg), a g znanym już nam przyspieszeniem ziemskim, czyli przyspieszeniem, z jakim spadają swobodnie spuszczone ciała. Wynosi ono na naszych szerokościach geograficznych $9,81 \text{ m/s}^2$, w przybliżeniu 10 m/s^2 .

Spadanie ciał bardzo często kojarzymy z działaniem tej jednej siły, skierowanej pionowo w dół (rys. 4.1a). W rzeczywistości spadanie zwykle odbywa się w powietrzu, które stawia opór (rys. 4.1b).



Rys. 4.1. A) spadanie swobodne; b) spadanie swobodne z uwzględnieniem oporu powietrza. Strzałki oznaczają działające na ciało siły.

Siła oporu zależy m.in. od wielkości powierzchni spadającego ciała, o czym może nas przekonać proste doświadczenie.

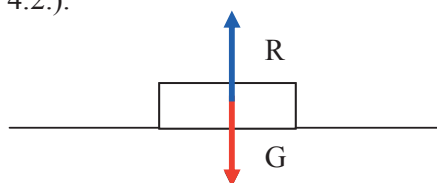
Doświadczenie 4.1.

Porównajmy spadanie swobodne niewielkiego przedmiotu, np. monety i kartki papieru, puszczając je równocześnie z tej samej wysokości. Moneta spadnie szybciej, ale tylko w przypadku, gdy kartka jest rozłożona. Po jej zgnieceniu w kulkę zaobserwujemy, że spadek następuje równocześnie. Właśnie powtórzyliście kolejne doświadczenie Galileusza! Jeżeli pominiemy opór powietrza, wszystkie ciała spadają z tym samym przyspieszeniem, niezależnie od ich masy. Nieprawdą jest, że ciała cięższe spadają szybciej!

Przykład 4.2

Zastanówmy się teraz, jakie siły działają na leżący na stole przedmiot. Czy siła ciężkości, która powoduje spadanie monety albo kartki papieru, przestaje działać, gdy kładziemy te przedmioty na stole? Oczywiście, że nie – Ziemia przyciąga je w dalszym ciągu, przecież gdy tylko znajdą się poza krawędzią stołu, natychmiast spadają. Sprawdź, co się dzieje i co czujesz, gdy naciskasz dłoń na stół. Czujesz „opór”, prawda? Inaczej mówiąc, czujesz siłę, którą stół działa na twoją dłoń. Pojawia się ona dopiero wtedy, gdy zaczniesz naciskać – jest

wynikiem działania siły nacisku. Przeciwstawia się naciskowi, *równoważąc* jego działanie. Siła taka działa też na wszystkie ciała na powierzchni Ziemi – określamy ją ogólnie jako *siłę reakcji podłoża* (por. rys. 4.2.).



Rys. 4.2. Siły działające na leżący na stole przedmiot. Siła ciężkości G , działająca pionowo w dół, jest równoważona przez siłę reakcji podłoża R , np. stołu

Jednostką siły jest niuton, oznaczany literą N . Określanie tej jednostki zajmiemy się w rozdziale 4.5.

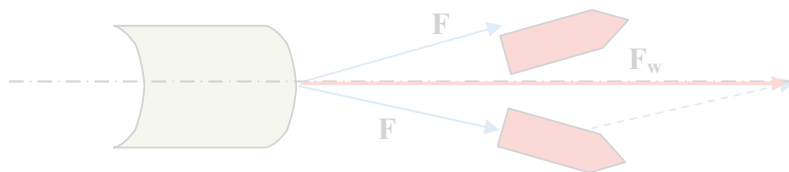
4.2. Siła jako wektor

Rozważmy przykład przeciągania liny lub półkul z fot. 4.3. Załóżmy, że ciągną je z dwóch stron dwaj chłopcy. Co się stanie, gdy każdy z nich ciągnąć będzie w swoją stronę z taką samą siłą? Półkule pozostaną na miejscu, gdyż te dwie siły się zrównoważą. Wygodnie jest narysować te siły jako strzałki.



Fot. 4.3. Półkule magdeburskie. Dwie półkule, z których wypompowano powietrze. Dwaj studenci próbują je rozerwać

Rozważmy inny przypadek – dwóch holowników, które ciągną ciężki tankowiec (zob. rys. 4.3.). Każdy z holowników ciągnie w nieco innym kierunku, ale tankowiec płynie prosto przed siebie. Dlaczego? Mówimy, że dwie siły się składają i dają siłę sumaryczną, zwaną też po polsku *wypadkową*.



Rys. 4.3. Dwa holowniki ciągną tankowiec. Każdy z holowników działa siłą o wartości F (niebieskie strzałki), ale nieco pod innym kątem od osi tankowca. Z tego powodu wypadkowa siła F_w działająca na tankowiec, zaznaczona kolorem czerwonym, ma wartość nieco mniejszą od $2F$

Zauważamy więc, że w przypadku składania sił istotne są nie tylko wartości tych sił, ale też i ich kierunki.

Rozważmy jeszcze inny przykład – karuzeli z dwoma krzeselkami, zob. rys. 4.4. Dwaj chłopcy przepychają się, w którym kierunku karuzela ma się kręcić. Pchają identycznymi co do wartości siłami, ale w przeciwnych kierunkach. Oczywiście, jeśli napierają na to samo krzeselko, to karuzela nie ruszy. Jeśli ich siły będą nadal przeciwne, ale przyłożone do dwóch różnych krzeselek po dwóch stronach karuzeli, to zacznie się ona kręcić, i to coraz szybciej.