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

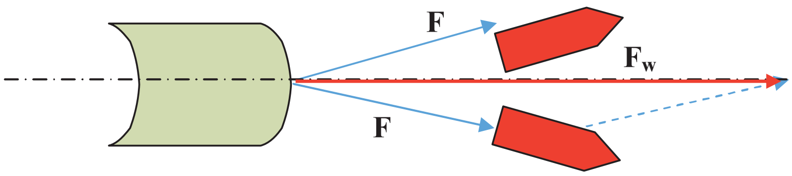
Jednostką siły jest niuton, oznaczany literą N. Określaniem tej jednostki zajmiemy się w rozdziale 4.5.

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.

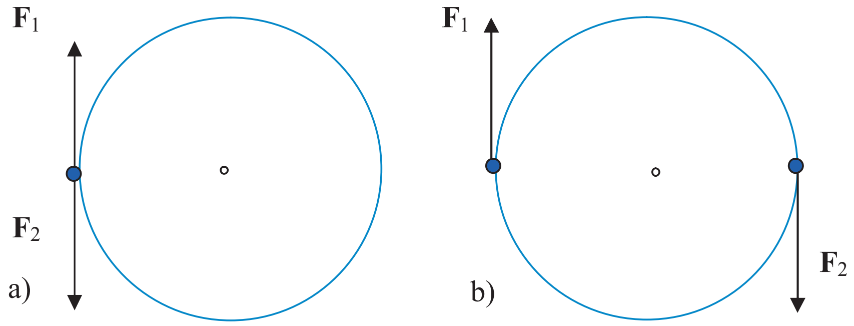
Fot. 4.3. Półkule magdeburskie. Dwie półkule, z których wypompowano powietrze. Dwaj studenci próbują je rozerwać

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 krzesełkami, 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 krzesełko, to karuzela nie ruszy. Jeśli ich siły będą nadal przeciwne, ale przyłożone do dwóch różnych krzesełek po dwóch stronach karuzeli, to zacznie się ona kręcić, i to coraz szybciej.



Rys. 4.4. Dwie identyczne (co do wartości) siły działają na karuzelę. W pierwszym przypadku siły są przyłożone w tym samym punkcie – karuzela spoczywa. W drugim przypadku dwie siły mają różne punkty przyłożenia – karuzela zacznie się kręcić.

Jak więc widzisz, przy rozważaniu siły należy uwzględnić cztery jej cechy:

1) *wartość*,

2) *kierunek*,

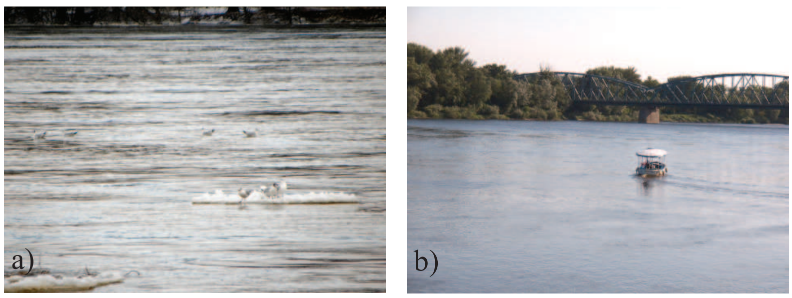
3) *zwrot*,

4) *punkt przyłożenia*.

Tak opisaną wielkość nazywamy *wektorem*.

W dzisiejszym języku włoskim słowo *vettore* oznacza też firmę zajmującą się dostarczaniem przesyłek (czyli tzw. firmę kurierską). Otóż przemieszczenie też jest wektorem – ma kierunek (pionowo, poziomo), zwrot (w górę, w dół), wartość (o 1 metr) i punkt przyłożenia („przenieś tę paczkę”)[22].

Siły możemy więc traktować jako wektory. Mają przecież wszystkie charakterystyczne dla wektora własności: miejsce zaczepienia, czyli określony *punkt przyłożenia*, *kierunek* i *zwrot* oraz swoją *wartość*, oznaczoną symbolicznie przez długość strzałki.



Fot. 4.4. Po Wiśle w Toruniu zimą żeglują tylko mewy na krze. Latem łódka płynie w poprzek rzeki, ale jak mewy też jest znoszona prądem (na powyższych zdjęciach w prawo)

[22] Pojęcie wektora jest niezwykle użyteczne. Zastanówmy się, jak opisać ruch łódki w poprzek rzeki. Łódka ma własny napęd, w kierunku w poprzek rzeki, ale prąd rzeki zanosi ją wzdłuż rzeki. Dwa wektory prędkości się sumują i dają prędkość *wypadkową*. Zdjęcie przedstawia Wisłę w Toruniu. Ale w Bydgoszczy sytuacja dla podobnej łódki jest podobna. Opis wektorów w Toruniu można więc zastosować do opisu dryfu łódki w Bydgoszczy. I to jest właśnie zasadnicze uogólnienie, na jakie pozwala pojęcie wektora: abstrakcja od określonego obiektu (i miejsca w przestrzeni), a uogólnienie na kierunek w dowolnym punkcie przestrzeni. W opisie matematycznym wektora istotne są jego współrzędne określające kierunek, wartość i zwrot, a punkt zaczepienia jest niejako dodany.

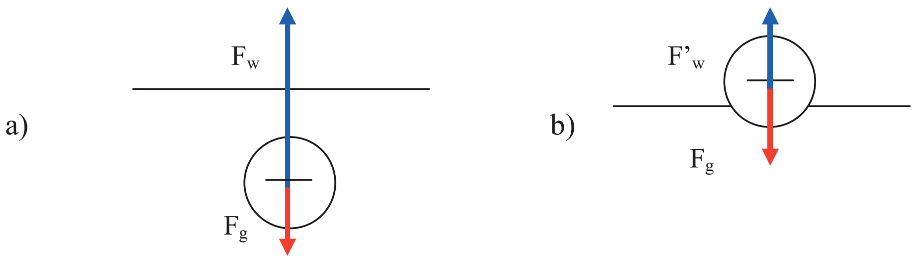
Fot. 4.5. Dwie identyczne siły ciągną półkule magdeburskie w przeciwnych kierunkach. Na punkt środkowy działa wypadkowa siła równa zeru – pozostaje on w spoczynku

Wektory o tych samych wartościach, działające w przeciwne strony i zaczepione w tym samym punkcie równoważą się wzajemnie. Mówimy też, że *wypadkowy* wektor (czyli *wektorowa suma* składowych) przyjmuje wartość zero. Tak jest na fot. 4.5., taką też sytuację mieliśmy w poprzednim rozdziale na rys. 4.2 dla leżącego na stole przedmiotu. W obu przypadkach ciała pozostawały w spoczynku.

Z siłami równoważącymi się mamy też często do czynienia w ruchu. Po otwarciu spadochronu skoczek opada ruchem jednostajnym, gdyż siła oporu powietrza równoważy siłę ciężkości. Samolot utrzymuje się w powietrzu, gdyż siła nośna równoważy siłę ciężkości. Piłka czy nawet statek pływają po wodzie, gdyż siła ciężkości jest zrównoważona przez siłę wyporu (fot. 4.2. b i 4.2. c).

Inaczej jest, gdy piłka jest zanurzona w wodzie – puszczona swobodnie będzie wypływać na powierzchnię, z rosnącą prędkością, gdyż siła wyporu po jej zanurzeniu jest większa od ciężaru (rys. 4.5a).

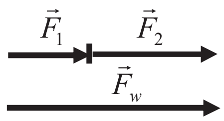
Natomiast dla ciała pływającego na powierzchni wody znów będziemy mieli do czynienia z równoważącymi się siłami ciężkości i wyporu (rys. 4.5b).



Rys. 4.5. a) Siły działające na piłkę zanurzoną w wodzie; b) siły działające na piłkę pływającą na powierzchni. Siła wyporu F_w działająca na zanurzoną piłkę jest większa od siły ciężkości F_g i piłka wypływa („wyskakuje”) na powierzchnię. Kiedy piłka pływa po powierzchni wody, siła wyporu F'_w jest mniejsza niż przy pełnym zanurzeniu: równoważy ona siłę ciężkości

W sytuacji, gdy dwie siły F_1 i F_2 działają w tę samą stronę (rys. 4.6), obliczając całkowitą siłę (inaczej: siłę wypadkową F_w), będziemy dodawać wartości tych sił:

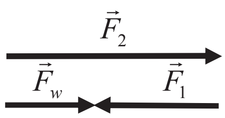
$$F_w = F_1 + F_2.$$



Rys. 4.6. Dodawanie sił (wektorów) o tym samym zwrocie

Jeżeli natomiast siły działają w przeciwne strony (rys. 4.7.), musimy odjąć ich wartości:

$$F_w = F_2 - F_1.$$



Rys. 4.7. Dodawanie sił (wektorów) o zwrocie przeciwnym.

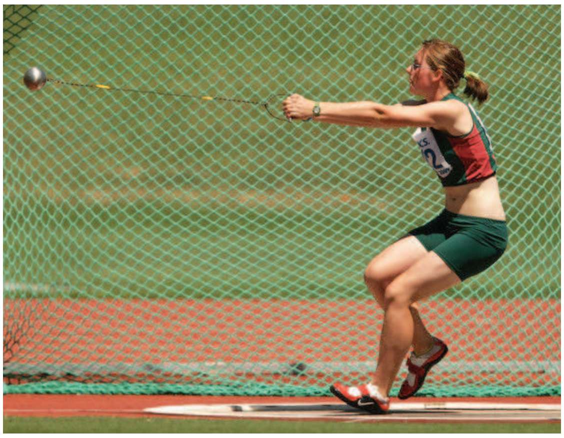
Przykład 4.3.

Na spadające ciało działa pionowo w dół siła o wartości 100 N. Siła oporu powietrza wynosi 10 N. Jaka jest wartość siły wypadkowej działającej na to ciało?

Mamy tu do czynienia z sytuacją przedstawioną na rys. 4.7., siły działają w przeciwne strony, zatem F_w = 100 N – 10 N = 90 N.

Nieco trudniejsze jest obliczanie siły wypadkowej w ogólnym przypadku, gdy poszczególne składniki F_1 i F_2 działają pod pewnym kątem (patrz rys. 4.3.). W celu określenia siły wypadkowej dodajemy wówczas do siebie dwa wektory składowe. Graficznie wektor wypadkowy reprezentuje przekątna równoległoboku zbudowanego na składowych.

Podstawową cechą oddziaływań jest ich *wzajemność*. Działaniu każdej siły towarzyszy przeciwdziałanie, każdej akcji – reakcja. Przykład z areny sportowej przedstawia fot. 4.6. Dokładniej powiemy o tym w rozdziale 4.6.



Fot. 4.6. Wzajemność sił – działaniu siły towarzyszy jej przeciwdziałanie. Miotaczka działa na kulę siłą powodującą ruch po okręgu – siłą dośrodkową. Kula działa na miotaczkę siłą *reakcji*.
Obecność sił dośrodkowych i sił reakcji wykorzystuje się do odkrywania planet poza Układem Słonecznym.
http://www2.pictures.gi.zimbio.com/Australian+Athletics+Championships+Day+3+HtdWBM3xZ2el.jpg