

Sformułujmy ponownie II prawo Newtona:

Siła działająca na ciało F i jego przyspieszenie a są wprost proporcjonalne $F = m \cdot a$.
Współczynnikiem proporcjonalności jest masa ciała m .

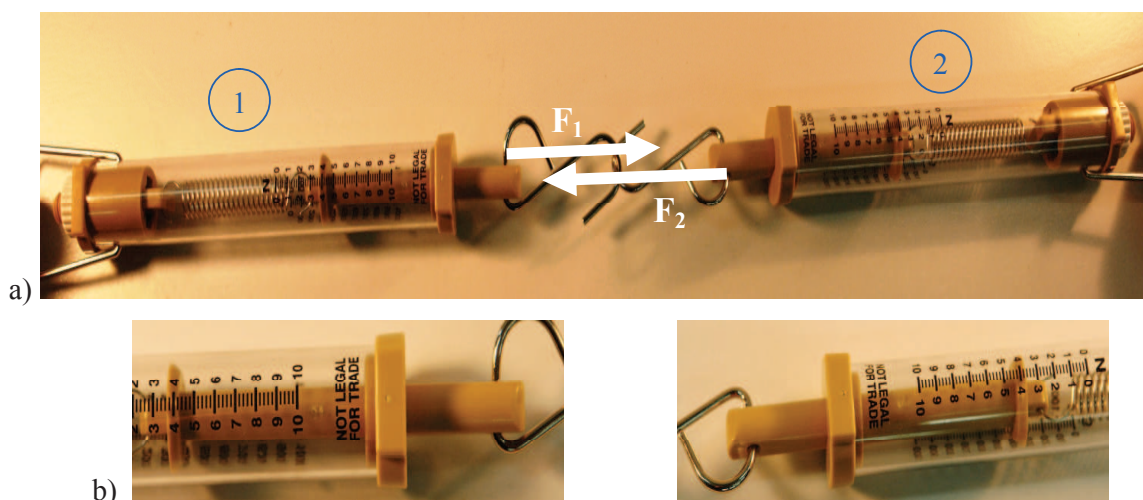
Okazuje się, że masa, którą mierzymy w II prawie Newtona, jest taka sama, jaką mierzymy badając ciężar ciała przyciąganego przez Ziemię, nawet jeśli pozostaje ono w spoczynku. Dlaczego jedna masa (tzw. inercyjna) jest równa drugiej (tzw. grawitacyjnej) tego dzisiaj jeszcze nie wiemy. Jeśli to wyjaśnisz, czeka Cię Nagroda Nobla!

4.5. III prawo dynamiki Newtona

Wspominaliśmy już w rozdziale 4.3., że podstawową cechą oddziaływań jest ich wzajemność. Miarą oddziaływań jest siła, przekonajmy się więc, jakie siły towarzyszą oddziaływaniom.

Przykład 4.7.

Obserwujemy wskazania połączonych ze sobą siłomierzy podczas ich rozciągania. Niezależnie od tego, czy doświadczenie wykonuje jedna osoba, czy też dwie, w każdej sytuacji wskazania obu siłomierzy są jednakowe. Siły mają przeciwne zwroty, ale *nie równoważą się* wzajemnie – działają na różne ciała i mają różne punkty przyłożenia!



Fot. 4.9. A) Dwa połączone ze sobą siłomierze – oba pokazują tę samą wartość siły. Źródłem siły F_1 , działającej na dynamometr „1” jest dynamometr „2”; źródłem siły F_2 , działającej na dynamometr „2” jest dynamometr „1”. Oba dynamometry ciągnie studentka – jeden lewą, drugi prawą ręką; siły są przeciwieście skierowane ale o tej samej wartości; b) powiększenie rysunku a.

Ta własność sił dotyczy wszystkich ciał i wszystkich rodzajów oddziaływań – podajemy ją jako **III zasadę dynamiki Newtona**:

Jeżeli ciało A działa na ciało B siłą F_{AB} , to ciało B działa również na ciało A siłą o tej samej wartości, ale przeciwnym zwrocie.

Symbolicznie III zasadę dynamiki Newtona możemy zapisać jak

$$F_{AB} = -F_{BA}.$$

Inaczej mówiąc, każdemu działaniu towarzyszy przeciwdziałanie, każdej akcji – reakcja. Przysłowie, które dobrze pasuje do III zasady dynamiki, to: „Jak Kuba Bogu, tak Bóg Kubie”.

Zasady dynamiki Newtona to podstawowe reguły fizyczne, które możemy zastosować w wielu sytuacjach. Pamiętajmy zawsze o ich uniwersalnym przesłaniu, pomimo zakładanych w każdym z tych praw ograniczeń.

1° Pierwszą zasadę możemy stosować tylko dla ciał spoczywających lub poruszających się ze stałą prędkością – lub inaczej, w sytuacji, gdy działające na ciało siły wzajemnie się równoważą.

2° Druga zasada pozwala nam przewidzieć zachowanie się ciała w sytuacji, gdy zadziała na stała i niezrównoważona siła. Wiemy już, że pod jej wpływem ciało porusza się będzie ruchem jednostajnie przyspieszonym.

Te dwie zasady w prosty i elegancki sposób wiążą poznawane przez was w tym rozdziale pojęcia dynamiki z poznanymi już wcześniej pojęciami opisującymi ruch.

3° Trzecia zasada ma nieco inny charakter, ale jej konsekwencje są chyba jeszcze dalej idące, a nie zawsze się o nich pamięta w czasie nauki fizyki. Szkoda, bo pomaga ona w bardzo prosty sposób rozwiązywać wiele problemów dotyczących oddziaływań – np. grawitacyjnych czy magnetycznych.

Przykład 4.8.

Zastanów się, czy potrafisz określić wartość siły, z jaką jesteś przyciągany przez Ziemię.

Rozwiązanie:

Jeśli pomyślałeś o ciężarze, albo inaczej sile ciężkości, to oczywiście masz rację. Jeżeli wykonałeś ćwiczenie 4.1, to możesz tę wartość (w niutonach) podać. Powiedzmy, że będzie to np. wartość 600 N (dla tych, których masa ciała to 60 kg).

Czy przy okazji przyszło ci już do głowy, że mógłbyś, wykorzystując III zasadę dynamiki, określić, z jaką siłą przyciągasz Ziemię? Przecież jeśli Ziemia przyciąga cię siłą 600 N, to i ty przyciągasz Ziemię siłą o tej samej wartości, lecz przeciwnym zwrocie! Trudno uwierzyć?

Przypisanie określonego skutku danej sile nie zawsze jest takie oczywiste. Wydaje się, że pojedynczy siłacz nie poruszy wielkiego holownika. W rzeczywistości jest inaczej: pojedynczy *strong-man* tak jak najsilniejszy dziś (2009 r.) Polak, Pudzian z Pucka, jest w stanie ruszyć taki holownik, tylko że przyspieszenie, które mu nada jest niezwykle małe. Co więcej, nawet ty byłbyś (byłabyś) w stanie ruszyć taki holownik. Archimedes z Syrakuz powiedział: „dajcie mi punkt podparcia a poruszę Ziemię” – i miał rację! Archimedes miał na myśli dźwignię, ale w wielu zastosowaniach stosujemy inne podobne urządzenia – ręczne podnośniki hydrauliczne, kliny, śruby, liny i bloczki.

Przykład 4.9.

Strong-man jest w stanie podnieść masę 400 kg. Oblicz, jakie przyspieszenie nada on holownikowi o masie 8 tysięcy „ton” (czyli 8 000 000 kg)?

Rozwiązanie:

Podniesienie masy 400 kg wymaga siły $F = mg = 400 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s}^2 = 4000 \text{ N}$

Siła $F = 4000 \text{ N}$ nada masie $M = 8\,000\,000 \text{ kg}$ przyspieszenie $a = F/M = 1/2000 \text{ m/s}^2$

Aby holownik zaczął poruszać się z widoczną prędkością, np. $v = 0,5 \text{ m/s}$ (czyli mniej niż 2 km/h), musi upłynąć $t = v/a = 1000 \text{ s}$, czyli około 17 min. W tym czasie światło przebędzie dwukrotnie odległość od Słońca do Ziemi.

Podobnie jest w przykładzie z Ziemią i gimnazjalistą. Siła 600 N, działając na ciało o masie 60 kg, nadaje mu przyspieszenie... (sprawdź zresztą sam, skorzystaj ze wzoru podanego wraz z drugą zasadą dynamiki). Pomyśl teraz, jak ma się wielkość tej siły do wartości masy Ziemi, czyli 6 000 000 000 000 000 000 000 000 kg (w prostszym zapisie $6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$)! Przyspieszenie, z którym „Ziemia podskakuje do Ciebie”, kiedy skaczesz z drzewa to zaledwie $1 \cdot 10^{-22} \text{ m/s}^2$! Efekt jest więc taki, jaki obserwujemy na co dzień: pomimo wzajemnego działania na siebie tą samą siłą, będziemy widzieli, jak ciała spadają na ziemię, a nie Ziemię spadającą na ciała.

4.6. Jeszcze raz o wektorach

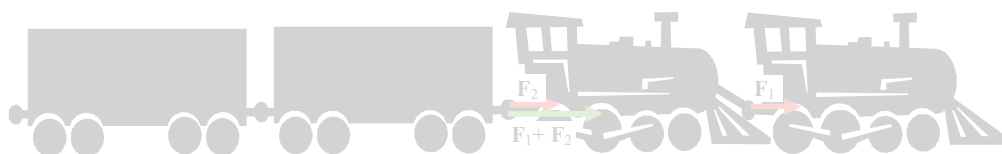
Jak już wspominaliśmy, skutek działania siły zależy nie tylko od jej wartości, ale i od kierunku, w którym ta siła działa. Na rysunku 4.3. pokazane są dwa holowniki, z których każdy ciągnie tankowiec w nieco innym kierunku. Skutek działania obu tych sił jest jednak taki, że tankowiec płynie do przodu. Dwie siły działające w różnych *kierunkach* dają skutek w kierunku *wypadkowym*.

Z kolei fotografia 4.5. przedstawia próbę rozerwania półkul magdeburskich – dwie grupy zawodników ciągną z dwóch stron. Dopóki dwie siły będą równe, kula wisząca w środku się nie przesunie. Mówimy, że dwie działające siły są równe *co do wartości*, ale mają przeciwny *zwrot*.

W ten sposób odkryliśmy trzy atrybuty siły:

- 1) wartość,
- 2) kierunek,
- 3) zwrot.

Siły w przeciąganiu liny działają *wzdłuż* tego samego *kierunku*, ale mają przeciwny *zwrot*. Dwa holowniki ciągną siłami o tych samych *wartościach*, ale w różnych *kierunkach* (rys 4.3.). Z kolei kilka lokomotyw podłączonych do tego samego składu wagonów ciągnie siłami w tym samym *kierunku* i mającymi ten sam *zwrot*.



Rys. 4.8. Składanie sił działających w tym samym kierunku: lokomotywa pierwsza wytwarza siłę ciągu F_1 , jest ona przyłożona do przedniego zaczepu lokomotywy drugiej, a przez nią do wagonów; lokomotywa druga wytwarza siłę ciągu F_2 , przyłożoną do wagonów. W ten sposób na wagony działa sumaryczna siła $F_1 + F_2$ (zielony wektor)

Wektorem jest również *prędkość*. Rozważmy przykład łódki płynącej w poprzek rzeki. Wioślarz wiosłuje ile sił, ale łódka i tak jest znoszona z prądem. *Wypadkowy* kierunek ruchu będzie złożeniem prędkości własnej łódki (to znaczy prędkości, jaką miałaby łódka na stojącej wodzie) i prędkości prądu rzeki, zobacz rys. 4.9. Mówimy, że *wypadkowy wektor* prędkości jest *sumą* prędkości składowych. Sposób na sumowanie wektorów jest pokazany na rysunkach 4.6.–4.10.