

4.4. II prawo dynamiki Newtona

W poprzednim podrozdziale podaliśmy kilka przykładów równoważących się sił. To właśnie wtedy stan ruchu ciała nie ulega zmianie. Możemy się więc domyślać, że w sytuacji przeciwnej, w której jedna z sił zaczyna przeważać, będziemy ten stan zmieniać. Na ogół tak właśnie kojarzymy działanie siły z jej skutkami. Będą nas interesować skutki dynamiczne, a więc związane z ruchem. Aby poruszyć ciało, musimy użyć siły. Równie koniecznym warunkiem zatrzymania ciała poruszającego się jest przyłożenie siły²³.

Pod wpływem siły będzie się zmieniać prędkość ciała; siła może ciało rozpędzać (jeśli podziała zgodnie z kierunkiem ruchu) lub też je zatrzymać (działając przeciwnie do kierunku ruchu). W obu przypadkach fizycy określają *przyspieszenie* a – patrz rozdział 3.3:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

jako miarę zmiany prędkości. Im szybciej ciało się rozpędza (lub zatrzymuje), tym większe jest jego przyspieszenie. Co jest przyczyną zmiany stanu ruchu? Jest nią właśnie działająca siła. Jeśli ta siła pozostaje stała, to stałe pozostaje przyspieszenie ciała.

Możemy już podać ogólne prawo – zwane też **II zasadą dynamiki Newtona**:

Jeśli na ciało działa stała, nie zrównoważona siła, to ciało porusza się będzie ruchem jednostajnie zmiennym, z przyspieszeniem wprost proporcjonalnym do działającej siły, a odwrotnie proporcjonalnym do masy ciała.

$$a = \frac{F}{m} \quad (4.1.)$$

Pamiętajmy, że sytuacja, w której na ciało działa tylko jedna siła, należy do wyjątków. Rozważając siłę działającą na ciało, będziemy najczęściej mieli na myśli *siłę wypadkową* – czyli „efektywną” siłę po zsumowaniu wszystkich składowych.

Druga część podanego prawa oznacza, że jeśli taką samą siłą podziałamy na dwa ciała o różnych masach, to większe przyspieszenie (czyli silniejszy efekt) uzyskamy dla mniejszej masy. Trudniej zmienić stan ruchu ciała o większej masie – mówimy, że ma ono większą *bezwładność*.

Przykład 4.5.

Siła o wartości 10 N działa na dwa ciała, o masach 2 i 5 kg. Jakie przyspieszenia uzyskają obie masy?

Rozwiązanie:

Stosując wzór 4.1. obliczamy wartości przyspieszeń – wynoszą one odpowiednio:

$$a_1 = \frac{10 \text{ N}}{2 \text{ kg}} = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad \text{i} \quad a_2 = \frac{10 \text{ N}}{5 \text{ kg}} = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

²³ Wszelkie pochodzące z codziennego doświadczenia obserwacje, w których ciała poruszające się w końcu się zatrzymują, opierają się na działaniu sił oporu i tarcia; jeśli te ostatnie nie występują, to ciało raz wprowadzone w ruch może się poruszać bez końca – tak jak to dzieje się z krążącym wokół Ziemi Księżycem albo z planetami w ich ruchu wokół Słońca.

Druga zasada dynamiki pozwoli nam określić ogólny sposób obliczania siły:

$$F = m \cdot a.$$

Na podstawie tego związku podajemy definicję niutona:

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2},$$

co odczytujemy – 1 niuton jest to siła, która ciału o masie 1 kg nadaje przyspieszenie 1 m/s².

Patrząc na podany przed chwilą przykład, widzimy, że siła 10 N może ciału o masie 2 kg nadać przyspieszenie 5 m/s², z kolei ciału o masie 5 kg – przyspieszenie 2 m/s². Gdyby zaś masa wynosiła 1 kg, jej przyspieszenie osiągnęłoby wartość 10 m/s². Ta ostatnia wielkość to nic innego, jak przybliżona wartość przyspieszenia, z jakim ciała spadają na powierzchnię ziemi, czyli wartość przyspieszenia ziemskiego g . Możemy podać wzór:

$$F = m \cdot g,$$

który pozwala obliczyć *siłę ciężkości*, czyli po prostu **ciężar** ciała²⁴. Łatwo zauważyć, że wartość ciężaru w niutonach dla dowolnego ciała to jego masa przemnożona przez 10, np. ciało o masie 1 kg waży 10 N, o masie 10 kg – 100 N, zaś o masie 100 kg – 1000 N albo 1 kN (kiloniuton).

Ćwiczenie 4.1.

Określ przybliżoną wartość swojego ciężaru w niutonach.

Przykład 4.6.

Bolid Roberta Kubicy o masie 600 kg przyspiesza do 100 km/h w ciągu 2,9 s. Oblicz siłę ciągu wytworzoną przez silnik bolidu (siły oporu i tarcia pomijamy).

Rozwiązanie:

Na początek, ze wzoru $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$, możemy obliczyć przybliżoną wartość przyspieszenia (pamiętajmy o przeliczeniu prędkości na m/s!): $a = 9,58 \text{ m/s}^2$ – zwróćmy uwagę, że jest ono tylko nieznacznie mniejsze od ziemskiego! Przemnażając przez masę jako siłę ciągu, otrzymamy wartość 5748 N lub raczej (w przybliżeniu) 5700 N.

Uwaga dla lubiących porządek, czyli poukładaną wiedzę ☺

Patrząc na ogólny wzór na siłę

$$F = m \cdot a,$$

warto zauważyć, że mamy tu do czynienia z dwiema wielkościami wektorowymi – siłą i przyspieszeniem. Siła powstaje przez przemnożenie przyspieszenia przez określoną liczbę (masa m jest wielkością *skalarną*, tzn. nie posiada charakterystycznych dla wektorów cech kierunku, zwrotu i punktu przyłożenia). Oznacza to w szczególności, że te dwie wielkości będą **zawsze** nierozzerwalnie ze sobą związane. Jeżeli potrafimy wskazać działającą na ciało siłę wypadkową, to na pewno taki sam kierunek i zwrot będzie miało przyspieszenie ciała! Pamiętajmy tylko, że *kierunek* ruchu ciała *może być* różny od zwrotu przyspieszenia.

²⁴ Będziemy tu przyjmować przybliżoną do 10 m/s² wartość przyspieszenia ziemskiego; w rzeczywistości przy powierzchni Ziemi zmienia się ona od około 9,78 m/s² na równiku do około 9,83 m/s² na biegunach

Sformułujmy ponownie II prawo Newtona:

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

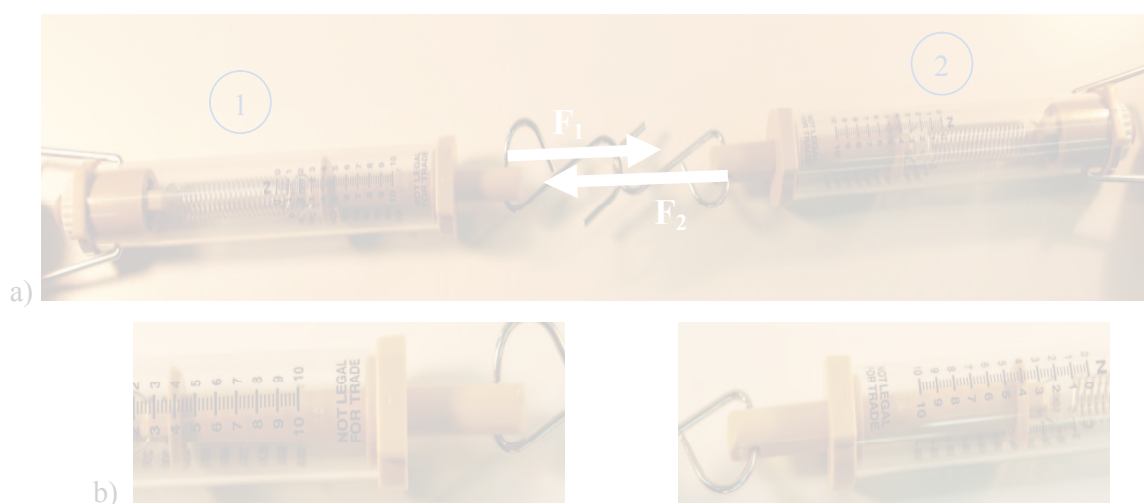
Okazuje się, że masa, którą mierzymy w II prawie Newtona, jest taka sama, jaką mierzymy badając ciężar ciała przyciąganego przez Ziemię, nawet jeśli pozostaje ono w spoczynku. Dlaczego jedna masa (tzw. inercyjna) jest równa drugiej (tzw. grawitacyjnej) tego dzisiaj jeszcze nie wiemy. Jeśli to wyjaśnisz,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

$$\mathbf{F}_{AB} = -\mathbf{F}_{BA}.$$