

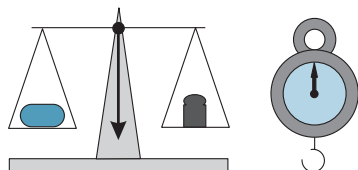
# Przychodzi fizyk do sklepu, czyli nietrywialnie ważenie

Jak to jest z tym ważeniem? Niby zwykła, wielokrotnie powtarzana w ciągu życia czynność: bierzemy przedmiot, stawiamy na wadze i odczytujemy wskazanie – masę ciała. Ale jak się głębiej zastanowić, to już tak prosto nie jest. Dlaczego?

■ MARCIN PAWEŁ SADOWSKI

## Waga szalkowa i sprężynowa

Spośród wielu rodzajów wag największą popularnością cieszą się wagi szalkowe i sprężynowe (no i oczywiście elektroniczne, ale te nie są wyjątkowo edukacyjne, ponieważ kompletnie nie widać, co się dzieje w ich wnętrzu).



Wyobraźmy sobie, że znajomy fizyk<sup>1</sup> idzie do sklepu, w celu zaopatrzenia się w cukier, potrzebny do sporządzenia przetworów na zimę – planuje kupić 10 kg tego produktu. Podchodząc do kasy widzi, że sprzedawczyni posiada zarówno wagę szalkową jak i sprężynową. Zakładając, że obie wagi są poprawnie skonstruowane i skalibrowane, powinny wskazać tę samą wartość. I w rzeczywistości tak się dzieje.

A co by było, gdyby nasz fizyk tychże zakupów dokonywał w czasie lotu międzykontynentalnego? Czy również w samolocie obie wagi wskazywałyby po 10 kg?

W przypadku wagi szalkowej ważenie ciała polega na porównaniu masy ciała położonego na jednej szalce z masą odważników położonych na drugiej szalce. Natomiast w przypadku wagi sprężynowej ważenie ciała polega na porównaniu ciężaru ciała (czyli si-

ły z jaką przyciąga je Ziemia) z siłą oddziaływania sprężyny. I tylko dla naszej wygody, abyśmy sami nie musieli w pamięci przeliczać niutonów na kilogramy, producenci wag sprężynowych dokonali stosownych przeliczeń za nas i opisali skale w kilogramach.

Właśnie z powodu, że każda z tych wag tak właściwie mierzy co innego (jedna „masę”, druga „ciężar”) nasz naukowiec może mieć problemy z pomiarami w samolocie.

Waga szalkowa zawsze będzie działała dobrze ponieważ, o ile tylko jej ramię będzie poziomo, to na oba ciała o jednakowych masach znajdujące się na szalkach będą działały jednakowe siły przyciągania grawitacyjnego. Oczywiście siły te będą mniejsze na dużej wysokości niż przy gruncie, ale będą jednakowe dla obu ciał.

Natomiast, w przypadku wagi sprężynowej, nie będzie już tak dobrze. Jak wiemy wartość siły przyciągania grawitacyjnego maleje wraz z oddalaniem się od środka Ziemi. Czyli: czym wyżej się wzniesiemy, tym słabiej będzie nas Ziemia przyciągała. Wartość siły przyciągania grawitacyjnego  $F$  w zależności od wysokości  $h$  nad poziomem morza wyrażonej w metrach wynosi<sup>2</sup>:

$$F = m \cdot 9,780327 (1 - 0,000003086 h)$$

Jeżeli samolot z naszym fizykiem w czasie podróży osiągnął pułap 10000 m n.p.m., to na dziesięciokilogramowe ciało działała siła:

<sup>1</sup> Spotkaliśmy się już z nim w numerze 5/2007 „Fizyki w Szkole” podczas wizyty w kinie na filmie sensacyjnym.

$$F = 10 \text{ kg} \cdot 9,780327 \cdot (1 - 0,00003086 \cdot 10\,000) \text{ m/s}^2 = 94,8 \text{ N}$$

Natomiast przy gruncie siła ta miała wartość:

$$F = 10 \text{ kg} \cdot 9,780327 \text{ m/s}^2 = 97,8 \text{ N}$$

Różnica 3 N objawiłaby się na wskazaniu wagi sprężynowej jako ubytek masy wynoszący 300 g! Producenci wag sprężynowych po prostu założyli (co nie było działaniem bezpodstawnym), że ludzie będą używali tych wag na Ziemi, przy jej powierzchni, a nie wysoko w przestworzach.

### Tona drewna i tona ołowiu

Innym razem znajomy fizyk wybrał się do składu budowlanego z planem kupienia kilku rzeczy potrzebnych mu do remontu laboratorium, w tym m.in. kłód drewna i bloku ołowiu. W sklepie zaczepił go sprzedawca zadając dla zabawy pytanie (znane wszystkim w tej, lub jednej z wielu innych wersji): *Co jest cięższe: tona drewna czy tona ołowiu?*

Wiele osób bez namysłu odpowiedziało, że cięższa jest tona ołowiu, wywołując uśmiechy na twarzach wśród towarzyszy. *Oczywiście tona to tona i każda tona to 1000 kg, więc tona drewna waży dokładnie tyle samo co tona ołowiu* – odpowiedział nasz fizyk, ale od razu zaczął się dogłębniej nad tym zastanawiać.

Jak dobrze wiemy, na każde ciało zanurzone w cieczy działa, zgodnie z prawem Archimidesa, siła wyporu:

$$F_{\text{wyp}} = g d V$$

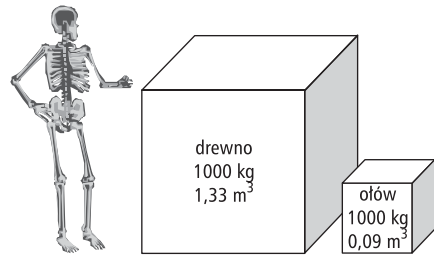
gdzie:  $g$  – wartość przyspieszenia grawitacyjnego,  $d$  – gęstość cieczy, w której zanurzamy ciało,  $V$  – objętość zanurzonej części ciała.

Powoduje to, że ciało zanurzone w cieczy traci pozornie na ciężarze. I tak, ciała o ciężarze  $Q$  zanurzone w cieczy waży:

$$F = Q - F_{\text{wyp}} = m g - d g V, \quad (*)$$

czyli waży tyle mniej, ile waży objętość wypartej przez niego cieczy (objętość zanurzonej części ciała równa się objętości wypartej cieczy).

Z tym się zgodzi każdy i każdy o tym pamięta. Ale nie każdy pamięta, że prawo Ar-



chimidesa działa również na ciała zanurzone w gazach, w szczególności w powietrzu. Na każdego z nas i na wszystkie otaczające nas przedmioty działa siła wyporu powietrza. Siła ta działa też na tonowy blok drewna i na tonowy blok ołowiu.

Zauważmy przy tym, że z powodu różnych gęstości tych substancji ( $d_{\text{drewna}} \approx 750 \text{ kg/m}^3$ ,  $d_{\text{ołowiu}} = 11\,000 \text{ kg/m}^3$ ) objętości omawianych bloków będą różne: tonowy blok drewna będzie prawie piętnastokrotnie większy niż tonowy blok ołowiu:

$$V_{\text{drewna}} = 1000 \text{ kg} : 750 \text{ kg/m}^3 \approx 1,33 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{ołowiu}} = 1000 \text{ kg} : 11\,000 \text{ kg/m}^3 \approx 0,09 \text{ m}^3$$

Powoduje to, że siła wyporu działająca na blok drewna będzie piętnastokrotnie większa niż siła wyporu działająca na blok ołowiu. Wracając natomiast do wzoru (\*) można dokładnie obliczyć ciężary tych bloków:

$$F_{\text{drewna}} = 1000 \text{ kg} \cdot 10 \text{ N/kg} +$$

$$- 1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot 10 \text{ N/kg} \cdot 1,33 \text{ m}^3 = 9984,04 \text{ N}$$

$$F_{\text{ołowiu}} = 1000 \text{ kg} \cdot 10 \text{ N/kg} +$$

$$- 1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot 10 \text{ N/kg} \cdot 0,09 \text{ m}^3 = 9998,92 \text{ N}$$

czyli ciężar tonowego bloku drewna różny jest od ciężaru tonowego bloku ołowiu! Stawiając te bloki na dokładnej wadze, urządzenie po pierwsze w obu przypadkach wskazywało by mniej niż 1000 kg, a po drugie w przypadku drewna wskazywało by 1,5 kg mniej niż w przypadku ołowiu.

MARCIN PAWEŁ SADOWSKI

Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski, Warszawa

<sup>2</sup> Na podstawie *Tablice fizyczno-astronomiczne*, wyd. Adamantan.

<sup>3</sup> Tamże.