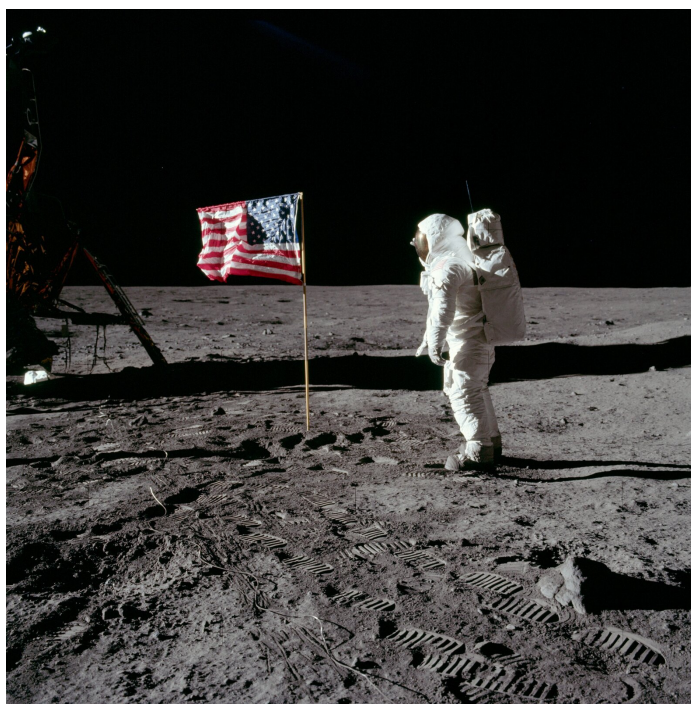


Masa i ciężar ciała

Masa i ciężar ciała

Przed lotem w kosmos kosmonauta został postawiony na wadze – wskazywała ona 75 kg. A co by się stało, gdyby stanął na tej samej wadze, ale na powierzchni Księżyca lub Marsa (pomińmy kwestię skafandra)? Jakie będą wskazania tej samej wagi, jeśli postawimy na niej kosmonautę lecącego w statku kosmicznym i znajdującego się w stanie nieważkości? Jeżeli chcesz poznać odpowiedzi na te pytania, czytaj dalej.



Zdjęcie ze zbiorów Amerykańskiej Agencji Aeronautyki, przedstawiające misję Apollo 11 i pierwsze lądowanie człowieka na Księżycu. Pierwsi ludzie, którzy wylądowali na Księżycu, mimo że ich skafandry i sprzęt badawczy miały dużą masę, mogli się bez problemu poruszać dzięki mniejszej niż działająca na Ziemi sile grawitacji

Źródło: NASA / Neil A. Armstrong, dostępny w internecie: <http://commons.wikimedia.org> [dostęp 6.03.2022], domena publiczna.

Przed przystąpieniem do zapoznania się z tematem, należy znać poniższe zagadnienia

- wielkości fizyczne dzielimy na wektorowe i skalarne;
- masa jest wielkością skalarną, mierzoną w kilogramach;
- siła jest wielkością wektorową, mierzoną w niutonach;
- oddziaływania grawitacyjne to jeden z rodzajów oddziaływań w przyrodzie;

- siła oddziaływania grawitacyjnego zależy od mas oddziałujących ciał i odległości między nimi.

Jeśli potrzebujesz powtórzyć sobie powyższe zagadnienia, znajdziesz je w materiałach:

- [Siła jako miara oddziaływań. Równowaga sił. Siła wypadkowa. Wyznaczanie siły wypadkowej](#),
- [Pomiary w fizyce. Niepewność pomiaru. Przeliczanie wielokrotności i podwielokrotności](#)
- [Rodzaje oddziaływań i ich skutki. Wzajemność oddziaływań](#).

Nauczysz się

- podawać definicje takich pojęć, jak siła grawitacji i ciężar ciała;
- obliczać ciężar ciała znajdującego się w pobliżu powierzchni Ziemi;
- odróżniać ciężar ciała od jego masy;
- podawać znaczenie pojęcia „stan nieważkości” i przykłady, w których taki stan występuje.

Ile ważysz?

W języku potocznym używamy często takich pojęć, jak ciężar i masa. Pytamy: ile ważysz? Jakiej odpowiedzi się spodziewamy? Istnieje jeszcze pojęcie siły grawitacji. W języku fizyki każdy z tych trzech terminów oznacza co innego.

Czy takie rozróżnienie jest konieczne? Jeśli tak, to kiedy je stosujemy? Sprawdźmy najpierw, co mierzymy za pomocą wagi. Skoro typowa waga wyskalowana jest w kilogramach, a kilogram to jednostka masy – odpowiedź narzuca się więc sama: wagi używamy do wyznaczania masy. Ale czy na pewno? Zacznijmy od prostego eksperymentu.



Film dostępny pod adresem </preview/resource/RUtoIRmb0U1u3>

Pomiar ciężaru człowieka

Źródło: Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, licencja: CC BY 3.0.

Materiał dotyczący pomiaru ciężaru człowieka.

Jeśli możesz, powtórz doświadczenie pokazane na filmie.

Doświadczenie 1

Pomiar ciężaru człowieka.

Co będzie potrzebne

- waga łazienkowa – koniecznie sprężynowa (nie elektroniczna), czyli taka ze wskazówką (może uchowała się gdzieś na strychu albo u babci);
- dwa jednakowe ciężarki lub hantle.

Instrukcja

1. Trzymając hantle lub inne ciężarki w rękach opuszczonych wzdłuż ciała, stań nieruchomo na wypoziomowanej wadze i zanotuj (zapamiętaj) jej wskazanie.
2. Energicznie wyciągnij ręce z hantlami w górę. Obserwuj wskazania wagi podczas ruchu rąk.
3. Opuść ręce z ciężarkami. Obserwuj wskazania wagi podczas ruchu rąk.
4. Wyciągnij ręce w bok – ważne, aby ruch odbywał się w kierunku poziomym. Obserwuj wskazania wagi podczas ruchu rąk.

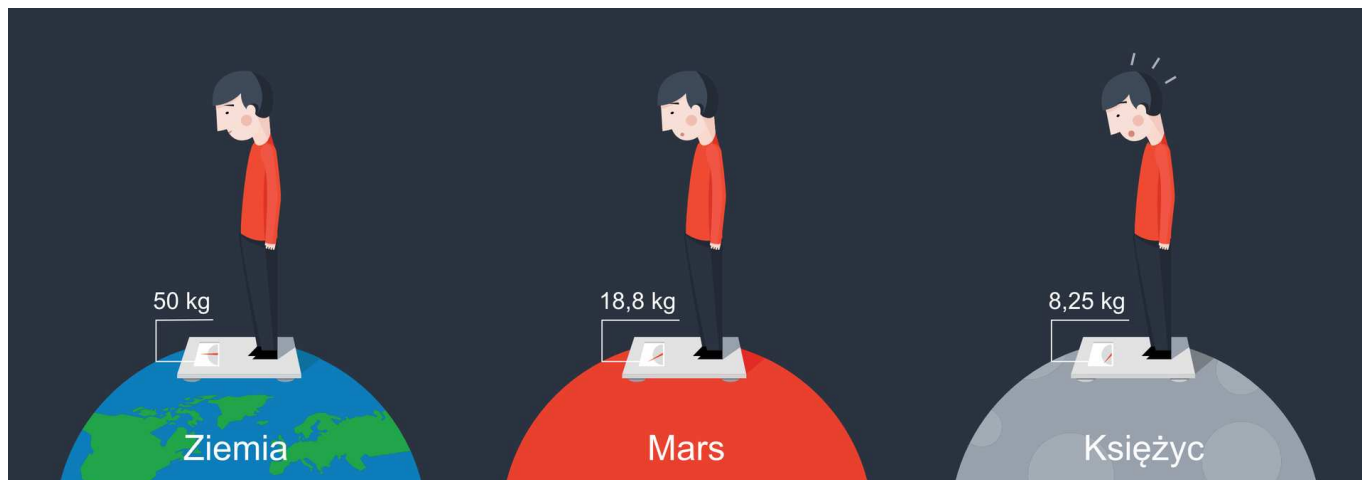
Podsumowanie

1. Mamy nadzieję, że udało ci się osiągnąć efekty podobne jak na filmie. Wprawy wymaga szczególnie punkt czwarty.
2. Wskazania wagi wzrosły, gdy ręce wędrowały do góry (w porównaniu ze wskazaniami z punktu pierwszego).
3. Wskazania wagi zmalały podczas ruchu rąk w dół (w porównaniu ze wskazaniami z punktu pierwszego).
4. Podczas ruchu rąk w bok wskazania wagi były takie jak w punkcie pierwszym.

Czy to oznacza, że masa człowieka trzymającego hantle zmieniała się podczas ruchu rąk? Dlaczego tylko ruch rąk w górę lub w dół powodował zmianę wskazań wagi?

Co wskazałaby domowa waga łazienkowa na Księżycu lub na Marsie?

I jeszcze jeden eksperyment – tym razem wyłącznie myślowy, ale za kilka lub kilkanaście lat...



Człowiek ważący się na Ziemi, Marsie i Księżycu

Źródło: Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, licencja: CC BY 3.0.

Dlaczego użyta w doświadczeniu waga sprężynowa zmieniałaby swoje wskazania, gdy ten sam człowiek „przewędrował” na inne ciało niebieskie? Przecież masa człowieka (ilość tworzącej jego ciało materii) nie ulega zmianie. Co tak naprawdę zmierzyła waga?

Wagi sprężynowe nigdy nie mierzą bezpośrednio masy ciał. Aby dokładnie zrozumieć przebieg wykonanych doświadczeń (praktycznie lub teoretycznie) oprócz pojęcia masy musimy wprowadzić definicje kolejnych wielkości fizycznych.

Mówimy, że ciała mają ciężar. Czujemy to np. w sytuacji, gdy położymy jakiś przedmiot na wyciągniętej ręce. Nie zawsze potrafimy go utrzymać i czasem spada on na podłogę. To spадanie jest spowodowane siłą, z jaką Ziemia przyciąga każde ciało. Tę siłę nazywamy [siłą grawitacji](#). Jeżeli przedmiot będzie przyciągany przez Ziemię większą siłą, to odczujemy jego większy [ciężar](#).

Jak zmierzyć wartość tej siły, którą nazywamy ciężarem? Kładziemy dany przedmiot na wadze sprężynowej albo zawieszamy go na sprężynie siłomierza. Odształcenie sprężyny wagi lub siłomierza będzie tym większe, im większy będzie ciężar tego przedmiotu.

siła grawitacji

siła, jaką Ziemia (lub inna planeta) przyciąga każde ciało o dowolnej masie. Ma ona stały kierunek (nazywamy go pionowym) i zwrócona jest do środka planety (w dół). W odniesieniu do ciała umieszczonego na powierzchni planety wartość tej siły zależy zarówno od masy planety, jak i od masy ciała, a także od rozmiarów samej planety (jej promienia).

ciężar ciała (siła ciężkości)

ciężar wynikający z obecności siły grawitacji. Mierzymy go przez pomiar siły nacisku na wagę lub pomiar wartości siły, z jaką dane ciało rozciąga sprężynę w siłomierzu.

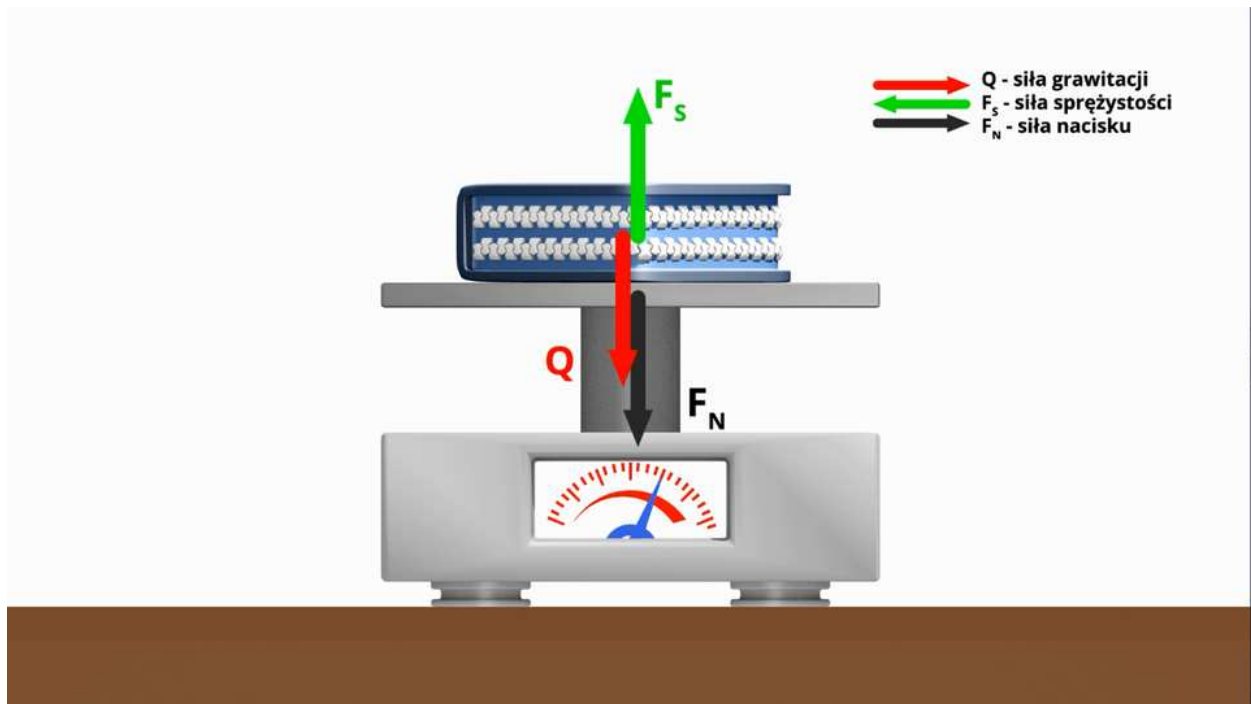
*Jaka jest różnica między [siłą grawitacji a ciężarem ciała](#)?

Co mierzy waga?

Wróćmy zatem do pytania powtarzającego się po każdym z naszych doświadczeń: co tak naprawdę mierzy waga?

Typowa waga kuchenna (elektroniczna lub sprężynowa), podobna do tej ukazanej na naszych zdjęciach i filmach, mierzy [siłę nacisku](#), jaka wywierana jest na szalkę. Łatwo można się o tym przekonać: wystarczy nacisnąć szalkę palcem i zmienić siłę nacisku. Podczas ważenia ciała siła nacisku wywierana na szalkę wagi wynika z ciężaru tego ciała.

Zobacz na animacji, jak wyglądają relacje między tymi siłami, gdy waga jest wypoziomowana albo lekko przechylona:



Film dostępny pod adresem </preview/resource/RPPtSbUoDBBcW>

Siły działające na ważony piórnik

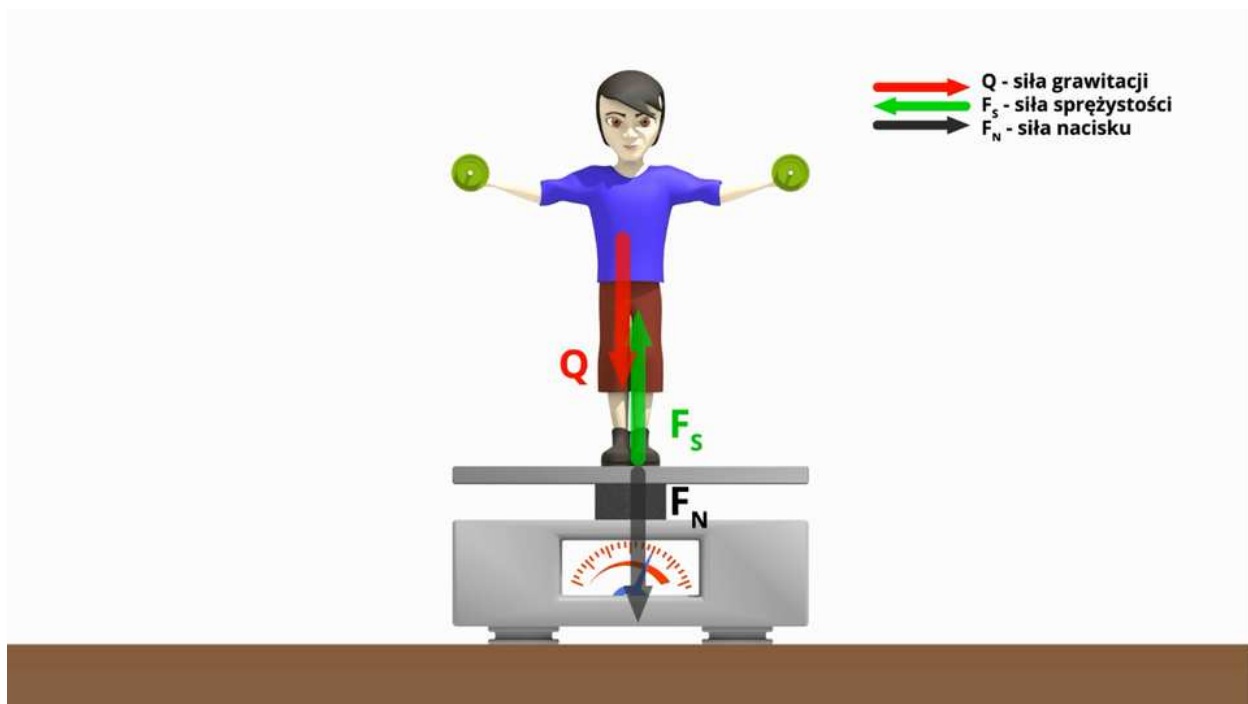
Źródło: Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, licencja: CC BY 3.0.

Siły działające na ważony piórnik.

Zapamiętaj!

Prawidłowe ważenie (pomiar masy) wymaga wypoziomowania wagi.

A teraz przeanalizujemy, jakie siły działają na człowieka, którego ważyliśmy w doświadczeniu.



Film dostępny pod adresem </preview/resource/RmnmL3ByTA5L2>

Siły działające na ważonego człowieka

Źródło: Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, licencja: CC BY 3.0.

Siły działające na ważonego człowieka.

Zapamiętaj!

Prawidłowe ważenie (wyznaczanie masy za pomocą pomiaru siły nacisku) wymaga, aby ważone ciało było nieruchome (ujmując to precyzyjniej, dozwolony jest tylko taki ruch, który nie zmienia nacisku na szalkę).

Stan nieważkości

W lekcji o ważeniu nie może zabraknąć informacji o **stanie nieważkości**. Co to znaczy, że ciało jest nieważkie (innymi słowy: nic nie waży)? Dzieje się tak, gdy ciało nie wywiera nacisku na podłoże. Aby lepiej to zrozumieć, odwołajmy się do eksperymentu – tym razem tylko na filmie.



Film dostępny pod adresem </preview/resource/RBmD2njJldgqZ>

Spadająca waga

Źródło: Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, licencja: CC BY 3.0.

Materiał dotyczący spadającej wagi.

Teraz możemy już precyzyjnie zdefiniować stan nieważkości.

stan nieważkości

stan, w którym nacisk wywierany przez dane ciało na podłoże jest równy zeru. Stan ten osiągają ciała spadające swobodnie pod wpływem siły grawitacji. Należy podkreślić, że zarówno masa ciała, jak i siła grawitacji działająca na to ciało, są różne od zera.

Ćwiczenie 1

Po przeanalizowaniu wyników powyższego doświadczenia odpowiedz na pytanie postawione we wstępie do tego modułu: jakie będzie wskazanie wagi, gdy stanie na niej kosmonauta znajdujący się w stanie nieważkości?

Uzupełnij luki, odpowiednie odpowiedzi wybierając z listy rozwijalnej lub przeciągając z listy poniżej tekstu.

Waga , ponieważ astronauta na wagę.

wywiera większy nacisk

wskaże niższy wynik

nie wywiera żadnego nacisku

wywiera mniejszy nacisk

wskaże wyższy wynik

nic nie wskaże

Źródło: ZPE, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 2



Oceń prawdziwość poniższych zdań. Przy każdym zdaniu w tabeli zaznacz **Prawda** albo **Fałsz**.

Zdanie	Prawda	Fałsz
Masa piłki jest taka sama na Ziemi jak i na Księżycu.	☐	☐
Ciężar piłki na Ziemi jest większy niż na Księżycu.	☐	☐
Masa piłki na Księżycu jest mniejsza niż na Ziemi.	☐	☐
Masa jest wielkością wektorową.	☐	☐
Masa kosmonauty w stanie nieważkości wynosi zero.	☐	☐
Kosmonauta jest w stanie nieważkości, bo siła grawitacji zmalała do zera.	☐	☐
Ciężar kosmonauty w stanie nieważkości jest równy zero.	☐	☐

Źródło: ZPE, licencja: CC BY 3.0.

Zadania

Zapamiętaj!

- Waga mierzy siłę sprężystości związaną z odkształceniem elementu roboczego wagi (sprężyny lub specjalnej belki).
- Wartość siły sprężystości jest zawsze równa sile nacisku wywieranego na szalkę – siła ta jest równa ciężarowi.
- Jeśli chcemy, aby waga mierzyła ciężar, musimy spełnić następujące warunki:
 - szalka wagi musi być wypoziomowana (nacisk na szalkę musi być pionowy);
 - ważone ciało i waga muszą być nieruchome względem Ziemi (tzn. mogą poruszać się tylko tak, aby nie zmieniać nacisku wywieranego na szalkę).

Wróćmy do siłomierza. Siłomierz mierzy siłę sprężystości sprężyny, ale siła ta równoważy siłę, jaką Ziemia przyciąga ciężarki wiszące na końcu siłomierza. Słowo „równoważy” oznacza, że siła sprężystości sprężyny ma taką samą wartość, jak siła grawitacji działająca na ciężarki. Innymi słowy: za pomocą siłomierza, na końcu którego zawieszono jakieś ciało, mierzymy jego ciężar.

Doświadczenie 2

Ustalenie związku między siłą ciężkości a masą ciała.

Co będzie potrzebne

- osiem odważników o masie 50 g każdy (można je zastąpić innym kompletem jednakowych odważników o znanej masie, np. 100 g) mających haczyki do podwieszania;
- siłomierz o zakresie 5 N (zakres siłomierza należy dobrać do liczby i masy odważników, np. do stugramowych potrzebny będzie zakres 10 N);
- statyw.

Instrukcja

1. Zamocuj siłomierz na statywie.
2. Zawieś jeden odważnik na siłomierzu, odczytaj wskazanie tego przyrządu i zanotuj wynik w tabeli pomiarów, którą możesz pobrać w formacie XLSX i LIBRE z załącznika poniżej (siłę zapisz w czwartej kolumnie, a masę – w drugiej).
3. Dołóż kolejny odważnik, odczytaj wskazanie siłomierza i zanotuj wynik.
4. Czynność z pkt. 3. powtarzaj do momentu, aż wszystkie odważniki zawisną na siłomierzu.
5. Oblicz masę odważników w kilogramach, a wyniki zapisz w trzeciej kolumnie.
6. Oblicz iloraz siły i masy odważników wyrażonej w kilogramach $\frac{Q}{m} \left[\frac{\text{N}}{\text{kg}} \right]$. Wyniki zaokrąglaj do liczby całkowitej i zapisz je w czwartej kolumnie.

Tabela pomiarowa

Źródło: GroMar Sp. z o. o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Plik o rozmiarze 11.91 KB w języku polskim

Tabela pomiarowa

Źródło: GroMar Sp. z o. o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Plik o rozmiarze 3.58 KB w języku polskim

Wyniki ostatniego doświadczenia wykorzystuje się do obliczeń. Zaczniemy od przykładów.

Przykład 1

Oblicz ciężar plecaka o masie 15,5 kg.

Rozwiązanie

Dane:

$$m = 15,5 \text{ kg}$$

$$g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$$

Szukane:

$$Q = ?$$

Siłę tę obliczymy za pomocą wzoru (zakładamy, że plecak znajduje się w pobliżu powierzchni Ziemi):

$$Q = m \cdot g,$$

$$Q = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 15,5 \text{ kg} = 155 \text{ N}.$$

Odpowiedź: Ciężar plecaka jest równy 155 N.

Przykład 2

Kiedy na siłomierzu zawieszono torebkę cukierków, wskazał on 2,5 N. Oblicz masę torebki z cukierkami. Wynik podaj w kilogramach i dekagramach.

Rozwiązanie:

Dane:

$$Q = 2,5 \text{ N}$$

$$g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$$

Szukane:

$$m = ?$$

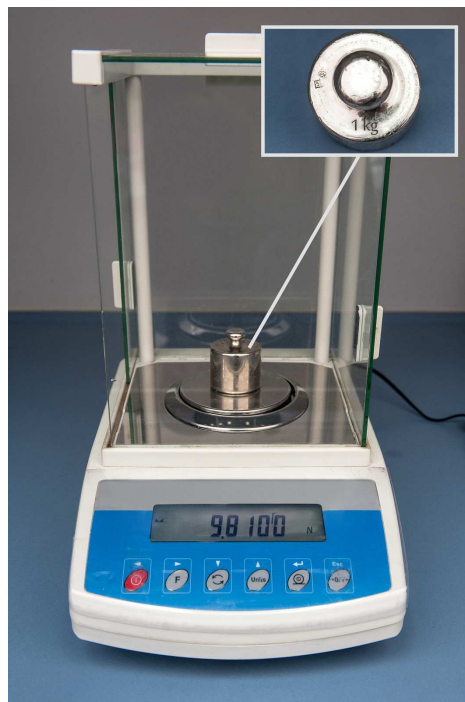
Do obliczenia masy skorzystamy z zależności:

$$m = \frac{Q}{g},$$

$$m = \frac{2,5 \text{ N}}{10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}} = 0,25 \text{ kg} = 25 \text{ dag}.$$

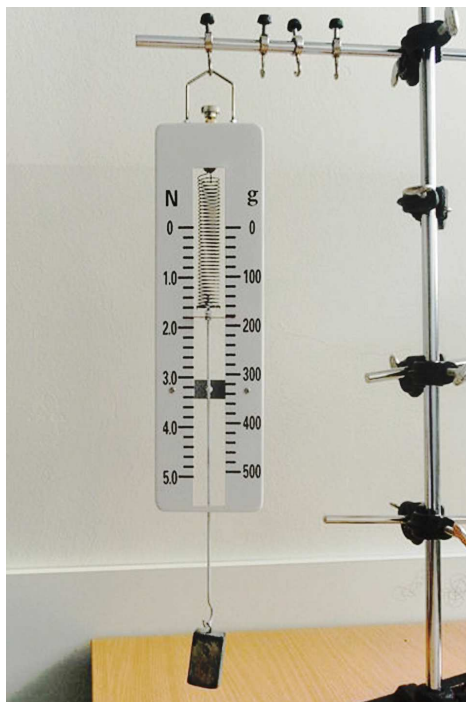
Odpowiedź: Masa cukierków wraz z torebką wynosiła ćwierć kilograma, czyli 25 dag.

Ten prosty związek między masą a siłą ciężkości pozwala na to, aby i siłomierz i waga wskazywały wyniki pomiarów zarówno w kilogramach (gramach), jak i w niutonach. I tak jest w praktyce: wskazania wagi elektronicznej można łatwo przeprogramować na niutony, a wiele siłomierzy ma skalę również w kilogramach lub w gramach, tak jak to pokazano na kolejnych zdjęciach.



Waga może być wyskalowana w niutonach

Źródło: Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, licencja: CC BY 3.0.



Siłomierz może być wyskalowany w kilogramach lub gramach. Zwróć uwagę, że skale w jednostkach masy i siły są nieznacznie przesunięte, gdyż wartość przyspieszenia ziemskiego nie wynosi dokładnie $10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$

Źródło: Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 3

Ciężar pojazdu kosmicznego umieszczonego na powierzchni Merkurego jest mniejszy niż na Ziemi. Opisz, co to oznacza.

Ćwiczenie 4

Opisz, jakie warunki muszą być spełnione, aby wskazania wagi dały prawidłowy pomiar masy.

Podsumowanie

Zestawienie informacji o masie, sile grawitacji i ciężarze ciał

Pojęcie	Znaczenie	Od czego zależy wartość	Jednostka	Typ wielkości fizycznej
Masa	ilość materii zawartej w ciele fizycznym	jest cechą ciała	kilogram [kg]	wielkość skalarna – to znaczy, że ma wartość liczbową wyrażoną w odpowiednich jednostkach
Siła grawitacji (siła ciężenia)	siła, z jaką Ziemia (lub inna planeta) przyciąga ciało fizyczne	zależy od wielkości planety (jej masy i promienia) oraz masy ciała	niuton [N]	wielkość wektorowa – to znaczy, że ma kierunek i zwrot (pionowo w dół) oraz wartość liczbową wyrażoną w odpowiednich jednostkach
Ciężar (siła ciężkości)	wielkość wynikająca z przyciągania grawitacyjnego, mierzona jako siła nacisku ciała na podłoże lub jako siła rozciągająca sprężynę	zależy od warunków pomiaru	niuton [N]	wielkość wektorowa – to znaczy, że ma kierunek i zwrot (pionowo w dół) oraz wartość liczbową wyrażoną w odpowiednich jednostkach

Uwaga: ze względu na ruch wirowy Ziemi ciężar ciała i siła grawitacji różnią się nieznacznie kierunkami.

- Związek między ciężarem a masą ciała można zapisać wzorem:

$$\text{ciężar} = \text{masa} \cdot \text{przyspieszenie ziemskie},$$

czyli

$$Q = m \cdot g.$$

Oczywiście, pomiar musi być wykonywany na nieruchomej wadze ustawionej poziomo.

- Przyspieszenie ziemskie ma blisko powierzchni Ziemi wartość około $10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$. Na innych planetach jego wartość jest inna.

Ćwiczenie 5

Oblicz siłę, jaką Ziemia przyciąga piłeczkę tenisową o masie 2,5 g.

Ćwiczenie 6

Wskazówka

Jedna tona (oznaczenie t) jest równa 1000 kg, a więc jest tym samym, co 1 Mg (megagram).

Samochód ciężarowy stoi na wadze w punkcie ważenia pojazdów. Kontroler odczytał wynik 200 kN (kiloniutonów). Oblicz masę kontrolowanej ciężarówki. Zaznacz poprawne odpowiedzi.

☐ 200000 kg

☐ 2 t

☐ 20000 kg

☐ 20 t

☐ 2000 kg

☐ 200 t

Źródło: ZPE, licencja: CC BY 3.0.

Słownik

przyspieszenie ziemskie

wielkość charakteryzująca oddziaływanie grawitacyjne Ziemi (jej wartość w przybliżeniu wynosi $10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$) z ciałami znajdującymi się w pobliżu jej powierzchni. Jest oznaczana literą g .

siła nacisku

siła, jaką ciało wywiera nacisk na podłoże. Jest zawsze skierowana prostopadle do powierzchni, na której spoczywa ciało. Jeśli ta powierzchnia jest pozioma, to siła nacisku równa jest ciężarowi ciała.

siła sprężystości podłoża

siła reakcji podłoża na nacisk ciała.

Podsumowanie

1. Jeśli prawidłowo wykonałeś pomiary, a wyniki zaokrągliłeś do pełnych jednostek, to w ostatniej kolumnie tabeli we wszystkich wierszach otrzymałeś $10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$.
2. Oznacza to, że ciężar ciała jest wprost proporcjonalny do jego masy. Innymi słowy: jeśli masa ciała jest dwa razy większa, to ciężar ciała też jest dwa razy większy.
3. Jeśli znamy masę ciała, możemy obliczyć jego ciężar. Wystarczy, że wykorzystamy wzór:

$$\text{ciężar ciała} = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot \text{masa},$$

$$Q = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot m.$$

I odwrotnie: jeśli znamy ciężar ciała Q , możemy obliczyć jego masę:

$$\text{masa} = \frac{\text{ciężar ciała}}{10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}},$$

$$m = \frac{Q}{10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}}.$$

Uzyskany wynik $10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$ (pamiętaj, że to tylko przybliżona wartość) jest wielkością charakteryzującą oddziaływanie grawitacyjne Ziemi na ciała znajdujące się w pobliżu jej powierzchni. Nosi nazwę [przyspieszenia ziemskiego](#) i oznaczana jest literą g . Zatem wzór na siłę ciężkości możemy zapisać w ogólniejszej formie:

$$\text{ciężar} = \text{masa} \cdot \text{przyspieszenie ziemskie},$$

$$Q = m \cdot g.$$

Teraz możemy wyjaśnić wyniki doświadczenia. Wskazania tej samej wagi w przypadku tego samego człowieka były różne na różnych planetach, ponieważ na każdej z nich jest inna siła grawitacji. Ciało o tej samej masie przeniesione na Marsa jest słabiej przyciągane przez tę planetę niż przez Ziemię, a jeszcze słabiej, jeśli znajdzie się ono na powierzchni Księżyca. Innymi słowy: przyspieszenie grawitacyjne marsjańskie jest mniejsze niż ziemskie, ale większe niż księżycowe.