



Dlaczego ciała spadają?

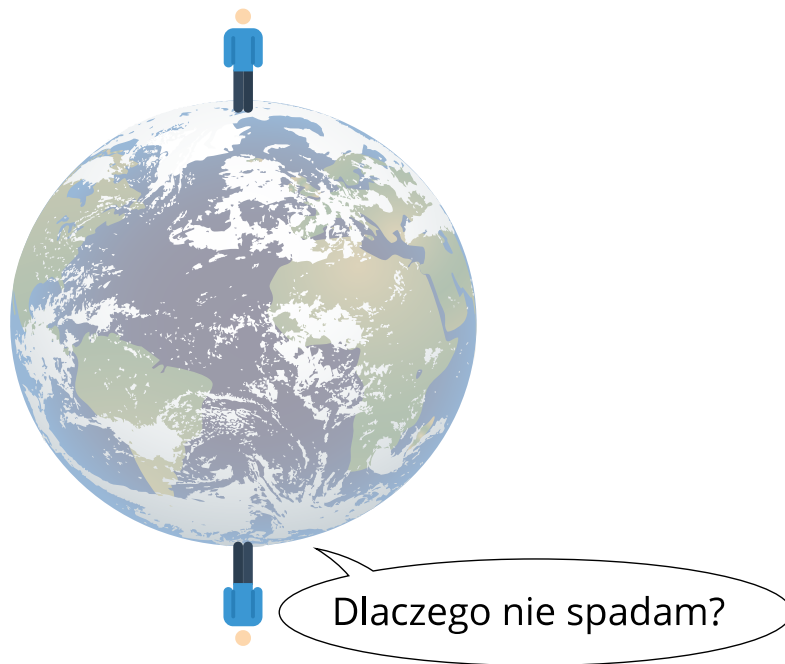
- Wprowadzenie
- Przeczytaj
- Film samouczek
- Sprawdź się
- Dla nauczyciela



Dlaczego ciała spadają?

Czy to nie ciekawe?

Skoro Ziemia jest okrągła, dlaczego ludzie przebywający w okolicach bieguna południowego, nie spadają (rys. a) ? Czemu puszczone swobodnie ciało – podobnie jak rzucona do góry piłka – spada na Ziemię po osiągnięciu maksymalnej wysokości ? O tym dowiedzie się w niniejszym materiale.



Rys. a. Przyciąganie ziemskie istnieje niezależnie od położenia geograficznego ciał.

Twoje cele

Zapoznanie się z treścią materiału sprawi, że:

- wyjaśnisz, czym jest siła grawitacji,
- wytłumaczysz, dlaczego upuszczone ciała zawsze spadają na Ziemię,
- przeanalizujesz, od czego zależy siła grawitacji,
- wyznacysz wartość stałej grawitacyjnej.

Przeczytaj

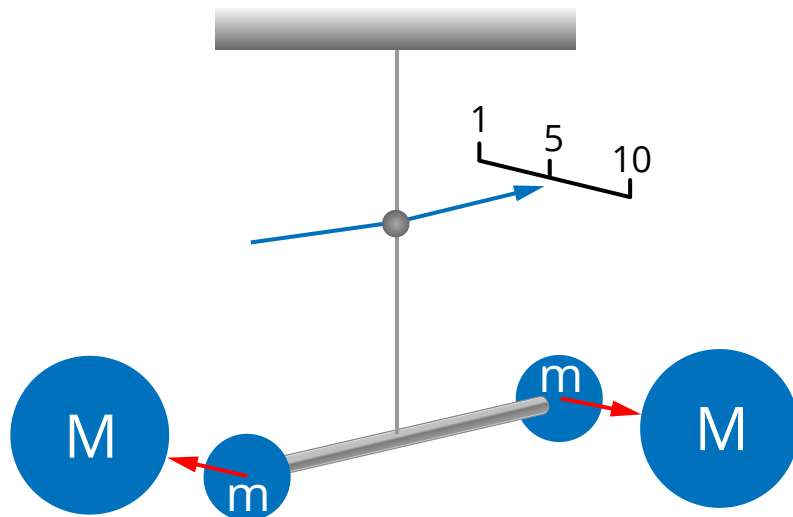
Warto przeczytać

Jak wiemy, wszystkie ciała, które mają **masę**, zgodnie z prawem powszechnego ciężenia, przyciągają się siłą proporcjonalną do iloczynu mas oraz odwrotnie proporcjonalną do kwadratu odległości między nimi. Tym samym możemy powiedzieć, że im mamy większe masy, tym siła ta jest większa. Z drugiej jednak strony – im ciała znajdują się dalej od siebie, tym przyciąganie jest mniejsze. Współczynnikiem proporcjonalności w tym wzorze jest stała grawitacji G równa co do wartości $6,672 \cdot 10^{-11} \frac{Nm^2}{kg^2}$. To właśnie potęga o wykładniku -11 sprawia, że nie jesteśmy w stanie zaobserwować **siły grawitacyjnej** występującej pomiędzy ciałami o niewielkich masach (np. między ludźmi). Wartość tej siły okazuje się być na tyle duża, by można ją było zaobserwować, dopiero, gdy przynajmniej jedno z ciał ma znaczącą masę. Co to znaczy „znacząca masa”? Jest to masa planet, gwiazd czy galaktyk.

To właśnie masa Ziemi powoduje, że ciała spadają na jej powierzchnię. Gdyby była ona znacznie mniejsza, nie obserwowalibyśmy tego ruchu. Jaka jest więc masa naszej planety? Nad tym zastanawiano się już od dawna, jednak dopiero w XVIII wieku udało się to obliczyć Henry'emu Cavendishowi. Jak Cavendish dokonał swoich obliczeń? Wykonał on doświadczenie, które miało mu pozwolić na wyznaczenie gęstości Ziemi, a w konsekwencji przyczyniło się również do znalezienia stałej grawitacyjnej G . Cavendish wykorzystał w tym celu zaprojektowaną przez Mitchella wagę skręceń. Było to urządzenie składające się z czterech ołowianych kul przymocowanych do zawieszonoego na kwarcowym włóknie pręta (Rys. 1). Dwie mniejsze kule o masach 0,73 kg umieszczone były na końcach pręta o długości 1,8 metra. Gdy Cavendish umieścił w ich pobliżu dwie większe kule (o masach 158 kg każda), zaobserwował, że pod wpływem przyciągania grawitacyjnego nastąpił obrót małych kul, a tym samym skręcenie drutu, na którym zaczepiony był pręt. Dokonując pomiarów kąta skręcenia i momentu siły skręcającej Cavendish określił siłę, z jaką oddziałują na siebie masy. Mierząc także siłę grawitacji, z jaką Ziemia działała na mniejszą kulę, wyznaczył stosunek obu sił. Następnie, korzystając ze sformułowanego przez Newtona prawa powszechnego ciężenia, mógł określić wartość stałej grawitacyjnej G jako $6,754 \cdot 10^{-11}$ (jednostka tej stałej została określona zaś dopiero w 1960 roku w Paryżu). Znając stałą G Cavendish wyznaczył masę Ziemi z równania:

$$M_Z = \frac{gR_Z^2}{G}$$

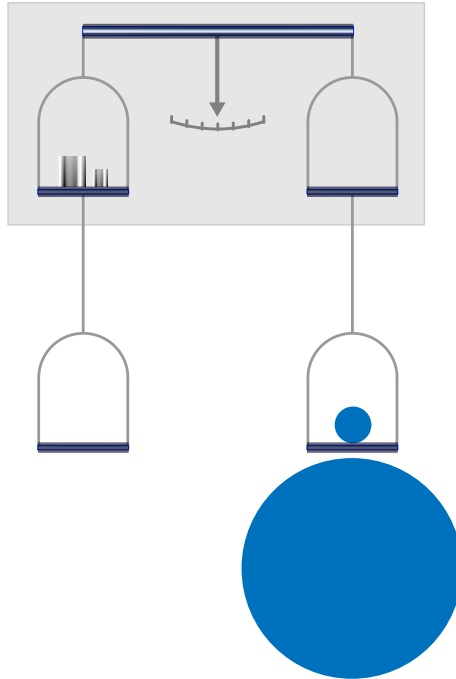
gdzie M_Z to masa Ziemi, g – przyspieszenie grawitacyjne, zaś R_Z – promień naszej planety.



Rys. 1. Używana przez Cavendisha waga skręceń.

Kolejną osobą, która podjęła się w XIX wieku wyznaczenia stałej grawitacyjnej, był Philipp von Jolly. Wykorzystał on czułą wagę z podwójnymi szalkami. Na jednej z nich umieścił wypełnione rtęcią kuliste naczynie o łącznej masie 5 kg. Chcąc je zrównoważyć, na lewej górnej szalce położył ciężarki. Kolejnym krokiem w jego eksperymencie było umieszczenie pod szalką z naczyniem ołowianej kuli o masie 5800 kg. Na skutek pojawienia się siły grawitacyjnej pomiędzy kulą a naczyniem z rtęcią, równowaga została zaburzona. By ją przywrócić, dołożył na przeciwległą szalkę odważniki o masie 0,566 mg. Na tej podstawie mógł więc wyznaczyć siłę, z jaką kula przyciągnęła bańkę. Wiedząc, że odległość pomiędzy środkami ciał wynosiła 59,6 cm, na podstawie prawa powszechnego ciążenia, określił on, że $G = 6,46 \cdot 10^{-11} \frac{Nm^2}{kg^2}$.

Dlaczego jednak oddziaływanie pomiędzy kulą a odważnikami z lewej szalki nie było widoczne? Po pierwsze ze względu na małe masy odważników, po drugie zaś – na znacznie większą odległość pomiędzy odważnikami a środkiem kuli (a z prawa powszechnego ciążenia wiemy, że siła grawitacyjna maleje wraz z kwadratem odległości).



Rys. 2. Waga używana przez Jolly'ego. Źródło: <http://ilf.fizyka.pw.edu.pl/podrecznik/2/5/2>

Współcześnie za wartość stałej grawitacyjnej przyjmuje się $6,672 \cdot 10^{-11} \frac{Nm^2}{kg^2}$.

Jak już wcześniej wspomniano, znając wartość G , można (z prawa powszechnego ciężenia) określić masę Ziemi, która powoduje, że obserwujemy spadek ciał na jej powierzchni.

Słowniczek

ciężar

(*ang.: weight*) wypadkowa siły grawitacyjnej, z jaką ciało niebieskie przyciąga dany obiekt oraz siły odśrodkowej, wynikającej z ruchu obrotowego tego ciała.

masa

(*ang.: mass*) liczność materii danego ciała.

siła grawitacyjna

(*ang.: force of gravity*) oddziaływanie o charakterze przyciągającym istniejące pomiędzy ciałami posiadającymi masę, zależne od iloczynu mas i kwadratu odległości pomiędzy ich środkami.

Film samouczek

Dlaczego ciała spadają?

Film samouczek pomoże Ci zrozumieć, jak wygląda spadek swobodny ciała. Po zapoznaniu się z nim, zastanów się jak będzie wyglądała analogiczna sytuacja na Marsie.

Film dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/D11QQSwKU>

Zapoznaj się z audiodeskrypcją samouczka.

Ćwiczenie 1

Założmy, że eksperyment opisany w filmie przeprowadzono na Marsie. Oblicz wysokość dla tej planety. Potrzebne przyspieszenie odczytaj z tablic bądź znajdź w Internecie.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Spośród podanych niżej czynników wybierz te, które wpływają na to, z jakim przyspieszeniem spadają swobodnie ciała na powierzchni danej planety.

masa planety , masa ciała , promień planety ,

objętość spadającego ciała

Ćwiczenie 2



Ciało, umieszczone początkowo na wysokości H_0 upuszczono swobodnie. Napisz równanie ruchu $y(t)$ dla tego ciała. Które z równań opisuje położenia ciężarka w zależności od czasu t w przypadku, gdy oś położenia jest skierowana w górę, a punkt zerowy znajduje się na powierzchni, na którą spada ciało?

$y(t) = H_0 - gt$

$y(t) = H_0 + gt$

$y(t) = H_0 - 0,5 \cdot gt^2$

Ćwiczenie 3



Oblicz, ile będzie trwało spадanie ciała o masie $m = 5$ kg na Marsie ($g_M = 3,71 \frac{m}{s^2}$), jeśli zostało ono upuszczone swobodnie z wysokości $h = 15$ m. Wynik podaj w sekundach w zaokrągleniu do drugiego miejsca po przecinku.

$t =$ s

Ćwiczenie 4



Dwie piłeczki golfowe spadają z różnych wysokości - pierwsza z wysokości $h_1 = 400$ cm, druga zaś z $h_2 = 900$ cm. Ile razy dłużej będzie spadała druga piłeczka?

$$\frac{t_2}{t_1} = \text{[input box]}$$

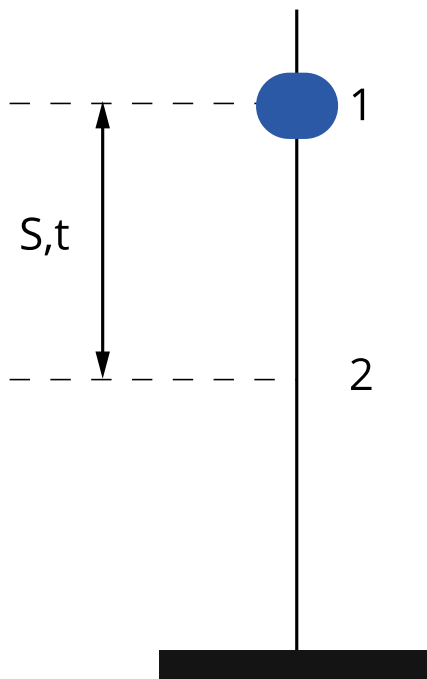
Ćwiczenie 5



Dwa ciała upuszczono swobodnie z pewnej wysokości, przy czym drugie zaczyna spadać w chwili, gdy pierwsze przebyło już drogę 50 cm. Wyznacz, jaka będzie odległość d pomiędzy ciałami po czasie $t = 15$ s liczonym od chwili rozpoczęcia ruchu przez drugie ciało. Wynik podaj w metrach w zaokrągleniu do dwóch cyfr znaczących. Przyjmij $g = 10 \frac{m}{s^2}$.

$$d \approx \text{[input box]} \text{ m}$$

Ćwiczenie 6



Kamień upuszczono swobodnie z pewnej wysokości h , a następnie dwukrotnie zmierzono jego prędkość. W położeniu nr 1 wynosiła ona $V(t_1) = 2 \frac{m}{s}$, zaś w położeniu nr 2: $V(t_2) = 10 \frac{m}{s}$. Zakładając, że przyspieszenie grawitacyjne $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$, oblicz odległość pomiędzy tymi punktami. Wynik podaj w metrach w zaokrągleniu do liczb naturalnych.

$$h(t_1) - h(t_2) = \text{[input box]} \text{ m}$$

Ćwiczenie 7



Z pewnej wysokości upuszczono swobodnie piłeczkę golfową. Wiedząc, że w ostatniej sekundzie pokonała ona $\frac{3}{5}$ całej drogi, oblicz wysokość początkową. Przyjmij, że przyspieszenie grawitacyjne wynosi $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$. Wynik wyraż w metrach i zaokrąglij do jednego miejsca po przecinku.

$$h = \text{[input box]} \text{ m}$$

Ćwiczenie 8



W swoim eksperymencie Cavendish przyjął za średnicę (idealnie sferycznej) Ziemi $d = 418 \cdot 10^5 \text{ ft}$. Zakładając, że stała grawitacji pochodząca z jego obliczeń wynosi $G = 6,754 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$, a przyspieszenie grawitacyjne przy powierzchni Ziemi $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ oblicz wartość gęstości Ziemi, poszukiwaną przez Cavendisha. Wynik zapisz w postaci wykładniczej, a liczbę zaokrąglij do trzech cyfr znaczących. W związku z tym, że obecnie używamy układu SI pamiętaj o zamianie stóp na metry ($1 \text{ ft} = 0,3048 \text{ m}$). Przyjmij $\pi \approx 3,1415$. Czy wynik jest zbliżony do tablicowej wartości $5,51 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$?

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Ewelina Kędzierska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Dlaczego ciała spadają?
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres podstawowy i rozszerzony
Podstawa programowa:	<p>Cele kształcenia – wymagania ogólne: II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.</p> <p>Zakres podstawowy Treści nauczania – wymagania szczegółowe I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 14) przeprowadza obliczenia i zapisuje wynik zgodnie z zasadami zaokrąglania oraz zachowaniem liczby cyfr znaczących wynikającej z dokładności pomiaru lub z danych. III. Grawitacja i elementy astronomii. Uczeń: 1) posługuje się prawem powszechnego ciężenia do opisu oddziaływania grawitacyjnego; wskazuje siłę grawitacji jako przyczynę spadania ciał.</p> <p>Zakres rozszerzony Treści nauczania – wymagania szczegółowe I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 16) przeprowadza obliczenia i zapisuje wynik zgodnie z zasadami zaokrąglania oraz zachowaniem liczby cyfr znaczących wynikającej z dokładności pomiaru lub z danych. IV. Grawitacja i elementy astronomii. Uczeń: 1) posługuje się prawem powszechnego ciężenia do opisu oddziaływania grawitacyjnego; wskazuje siłę grawitacji jako przyczynę spadania ciał.</p>

Kształowane kompetencje kluczowe:	Zalecenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r. <ul style="list-style-type: none"> • kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji, • kompetencje cyfrowe, • kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii, • kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.
Cele operacyjne:	<p>Uczeń:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. wyjaśni, czym jest siła grawitacji; 2. wytłumaczy, dlaczego upuszczone ciała zawsze spadają na Ziemię; 3. przeanalizuje, od czego zależy siła grawitacji. 4. określi wartość stałej grawitacji
Strategie nauczania:	IBSE
Metody nauczania:	merytoryczna dyskusja wprowadzająca, obserwacja, doświadczenia, podsumowująca rozmowa kierowana
Formy zajęć:	praca indywidualna, praca w parach
Środki dydaktyczne:	tablica multimedialna/rzutnik
Materiały pomocnicze:	-
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
<p>Nauczyciel zaciekawia uczniów tematem – efekt ten może uzyskać poprzez odniesienie do życia codziennego, pokazanie oczywistego doświadczenia obrazującego spadanie przedmiotów na podłoże.</p> <p>Nauczyciel rozpoznaje wiedzę wyjściową uczniów w kontekście realizowanego tematu oraz nawiązuje do tej wiedzy w merytorycznej dyskusji wprowadzającej. Uczniowie wymieniają fundamentalne oddziaływania występujące w przyrodzie i krótko je charakteryzują.</p>	
Faza realizacyjna:	

- Konstruowanie wiedzy z zakresu nowego tematu:
nauczyciel przedstawia uczniom informacje na temat siły grawitacyjnej, a także przypomina wzór opisujący tę siłę,
– uczniowie słuchają nauczyciela i zadają pytania dotyczące kwestii problemowych lub niezrozumiałych,
– z zasady zachowania energii uczniowie zapisują wyrażenie pozwalające obliczyć przyspieszenie grawitacyjne,
– nauczyciel obserwuje poczynania uczniów korygując ewentualne błędy.
- Kolejny etap lekcji obejmuje rekonstruowanie wiedzy uczniów:
– uczniowie na podstawie informacji uzyskanych od nauczyciela rozwiązują samodzielnie zadania rachunkowe (mogą być to zadania zawarte w niniejszym e-materiale),
– uczniowie dobierają się w pary i sprawdzają sobie nawzajem rozwiązania zadań próbując omówić ewentualne problemy,
– nauczyciel podchodzi do każdej z par i sprawdza wyniki pracy.

Faza podsumowująca:

Nauczyciel przeprowadza z uczniami rozmowę, podczas której omawiają rozwiązywane w trakcie lekcji zadania. Dodatkowo powinien sprowokować uczniów do wskazania problemów napotkanych w czasie samodzielnej pracy.

Praca domowa:

Zadaniem uczniów jest zapoznanie się z samoucikiem dołączonym do niniejszego e-materiału w celu utrwalenia omawianych zagadnień. Dodatkowo cztery wybrane przez nauczyciela zadania rachunkowe (nie rozwiązane na lekcji) .

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium:

Film samouczek może być wykorzystany w pracy samodzielnej ucznia na lekcji.