

Jak definiuje się przyspieszenie grawitacyjne?

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Grafika interaktywna](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



## Jak definiuje się przyspieszenie grawitacyjne?

Źródło: dostępny w internecie: <https://www.istockphoto.com/pl/zdj%C4%99cie/kula-jest-wp%C5%82yw-na-przestrzeni-wok%C3%B3w%C5%82-czas-gm508460520-85277025> [dostęp 9.01.2020], iStockphoto, tylko do użytku edukacyjnego na [zpe.gov.pl](http://zpe.gov.pl).

## Czy to nie ciekawe?

Arystoteles uważał, że przedmioty lekkie spadają wolniej. Jego poglądy zostały jednak obalone przez Galileusza. To właśnie on zauważył w 1602 roku, że w przypadku braku oporów ruchu ciała spadają na Ziemi z takim samym przyspieszeniem, niezależnym od masy, jaka je cechuje. A jak to jest na przykład na Księżycu bądź na Marsie? Od czego zależy przyspieszanie spadającego ciała? I wreszcie – co to jest przyspieszenie grawitacyjne? O tym w niniejszym materiale.

### Twoje cele

Zapoznanie się z treścią materiału sprawi, że:

- dowiesz się, czym jest przyspieszenie grawitacyjne,
- zrozumiesz, od czego zależy wartość przyspieszenia grawitacyjnego,
- przeanalizujesz, jak zmienia się wartość przyspieszenia grawitacyjnego wraz z odległością od środka planety.

# Przeczytaj

---

## Warto przeczytać

Weź do ręki monetę i kartkę, a następnie je upuść. Co spadnie szybciej? Oczywiście moneta. Następnie zgnieć papier, połóż go na monecie i ponownie upuść. Ciała spadają tak samo. Dlaczego tak się dzieje?

Gdybyśmy spytali małe dziecko, co spadnie później – piórko czy kamień – odpowiedziałoby nam, że piórko. Na pytanie, dlaczego, pewnie odparłoby, że *kamień jest cięższy*. Podobnie twierdził Arystoteles i inni uczeni przed Galileuszem. Dopiero Galileusz na początku XVII wieku zauważył, że w przypadku swobodnego spadania ciał, masa nie gra roli. Dlaczego, więc piórko spada wolniej? Pierwsza odpowiedź, jaka przychodzi tutaj na myśl, to opory ruchu. I jest ona trafna. Jednak, jak wygląda to dokładnie? Jakim ruchem poruszają się upuszczone przedmioty? Oczywiście, jest to ruch jednostajnie przyspieszony. Możemy go opisać, wykorzystując drugą zasadę dynamiki:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}. \tag{1}$$

Siłą niezrównoważoną, powodującą ruch jest tutaj siła grawitacji wyrażająca się wzorem:

$$\vec{F}_g = G \frac{Mm}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r}, \tag{2}$$

gdzie:

$G$  – uniwersalna stała grawitacyjna  $\left[6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2}\right]$ ,

$M$  – masa planety [kg],

$r$  – odległość ciała od środka planety [m].

Po podstawieniu wyrażenia (2) do (1) otrzymujemy:

$$a = \frac{G \frac{Mm}{r^2}}{m}. \tag{3}$$

W ustalonym polu grawitacyjnym **masa bezwładna** (czyli cecha ciała ujawniająca się wówczas, gdy działa na nie niezrównoważona siła, odpowiadająca za wartość przyspieszenia) i **masa grawitacyjna** (czyli cecha ciała ujawniająca się wówczas, gdy

oddziałuje grawitacyjnie z innym ciałem, odpowiadająca za wartość siły ich wzajemnego oddziaływania) są sobie równe co do wartości, zatem możemy zapisać, że:

$$a = G \frac{M}{r^2}.$$

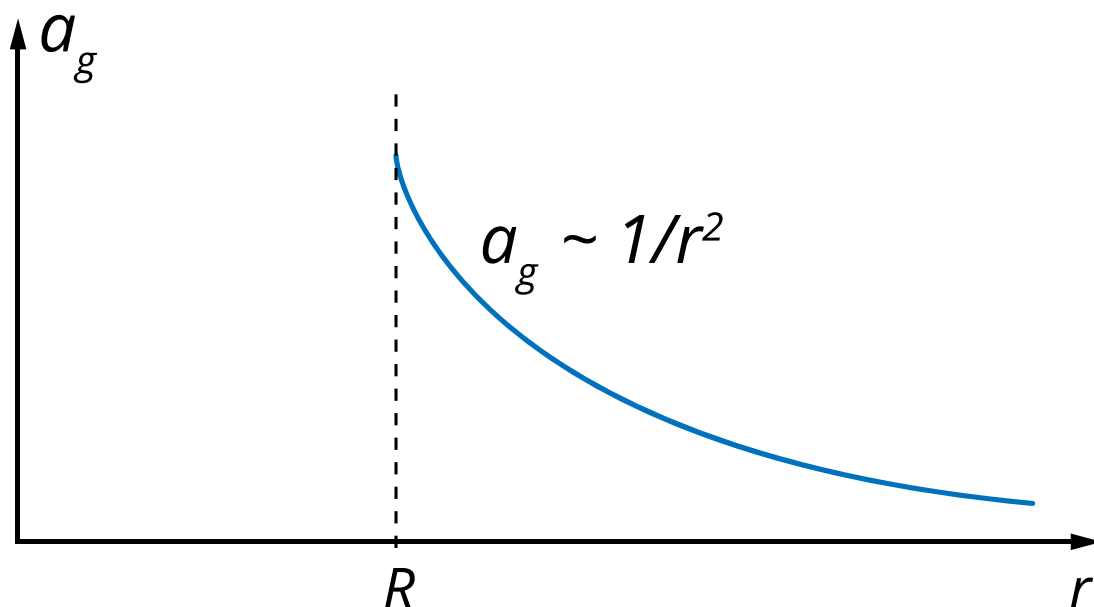
(4)

Otrzymane przyspieszenie nosi nazwę **przyspieszenia grawitacyjnego**. Jest ono zależne od masy i promienia planety, na której znajduje się ciało (na powierzchni Ziemi przyjęło się zwyczajowo oznaczać je literą  $g$ ). Można więc wysnuć wniosek, że na Księżycu, Marsie czy jakimkolwiek innym ciele niebieskim wszystkie upuszczone przedmioty będą spadały z przyspieszeniem, którego wartość będzie zależała od tego, gdzie się znajdują.

Na powierzchni Ziemi przyspieszenie grawitacyjne  $g$  wynosi:

$$g = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2} \cdot \frac{5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}}{(6371 \cdot 10^3 \text{ m})^2} \approx 9,813441 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

A jak będzie wyglądała sytuacja w momencie oddalania się od planety? Przyspieszenie jest zależne od kwadratu odległości – zatem – im dalej będziemy odsuwali się od powierzchni Ziemi, tym jego wartość będzie odpowiednio malała.



Rys. 1. Wykres zależności przyspieszenia grawitacyjnego od odległości od środka planety dla odległości  $r$  większej niż promień  $R$  tej planety. Jest to zależność odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości  
Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

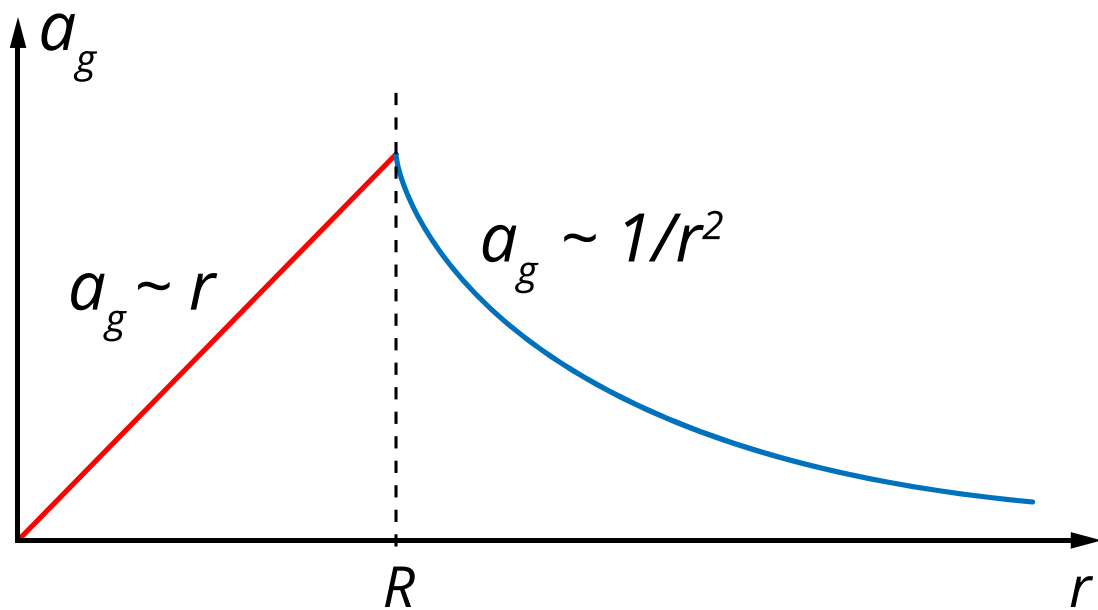
Czy wewnątrz planety także jest przyspieszenie grawitacyjne? Skoro zależy ono od masy i odległości, musi więc być. Tylko jakie? Przyjrzyjmy się temu uważnie. Do wzoru (3) w przypadku wnętrza planety, należy wstawić jedynie masę, która znajduje się poniżej odległości  $r$ , zatem:

$$M = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho, \quad (5)$$

gdzie  $\rho$  jest gęstością kuli (dla uproszczenia zakładamy, iż planety są jednorodnie). Zatem:

$$a = G \frac{\frac{4}{3}\pi r^3 \rho}{r^2} = \frac{4}{3} G \pi r \rho. \quad (6)$$

Czynnik  $\frac{4}{3} G \pi \rho$  jest wielkością stałą, otrzymujemy zatem zależność liniową dla zmiennej  $r$ . Uzupełnijmy więc nasz wykres (Rys. 2.).



Rys. 2. Wykres zależności przyspieszenia grawitacyjnego od odległości od środka planety dla  $r \in (0, \infty)$

Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

## Słowniczek

### Masa bezwładna

(ang. *inertial mass*) – cecha ciała ujawniająca się, gdy na to ciało działa niezrównoważona siła; odpowiada za wartość przyspieszenia.

### Masa grawitacyjna

(ang. *gravitational mass*) – cecha ciała ujawniająca się, gdy ciało oddziałuje grawitacyjnie z innym ciałem; odpowiada za wartość siły oddziaływania grawitacyjnego.

### Przyspieszenie grawitacyjne

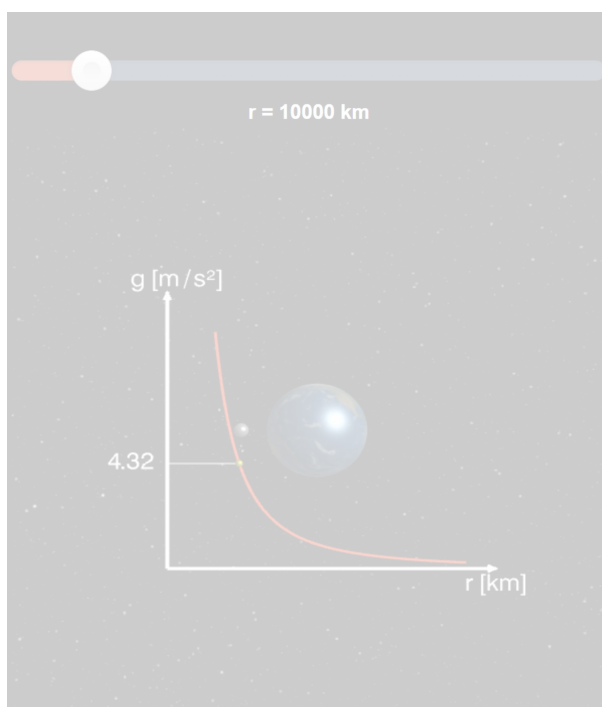
(ang. *gravitational acceleration*) – wielkość wektorowa wyrażająca zmianę prędkości ciała w czasie wynikająca z działania na ciało przyciągania grawitacyjnego.

# Grafika interaktywna

---

## Jak definiuje się przyspieszenie grawitacyjne?

Grafika interaktywna pozwoli Ci lepiej zrozumieć, w jaki sposób wartość przyspieszenia grawitacyjnego zależy od odległości od środka Ziemi.



Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/D10p0xyaq>




Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

### Polecenie 1

Odczytaj z grafiki przykładową wartość odległości wraz z odpowiadającą jej wartością natężenia grawitacyjnego. Wyznacz logarytmy obu tych liczb i zaznacz na wykresie punkt, którego współrzędne odpowiadają uzyskanym wartościom. Wykonaj podobną operację przynajmniej dla ośmiu różnych odległości (by uzyskać przynajmniej osiem punktów na wykresie). Wzdłuż jakiej krzywej układają się te punkty? Czy wiesz, jaką informację można uzyskać z takiego wykresu?

# Sprawdź się

---

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Ćwiczenie 2



Ćwiczenie 3



Ćwiczenie 4



Ćwiczenie 5



Ćwiczenie 6



Ćwiczenie 7



Ćwiczenie 8



# Dla nauczyciela

---

## Konspekt (scenariusz) lekcji

<b>Imię i nazwisko autora:</b>	Ewelina Kędzierska
<b>Przedmiot:</b>	Fizyka
<b>Temat zajęć:</b>	<b>Przyspieszenie grawitacyjne</b>
<b>Grupa docelowa:</b>	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
<b>Podstawa programowa:</b>	<p><b>Cele kształcenia – wymagania ogólne</b></p> <p>II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.</p> <p><b>Zakres rozszerzony</b></p> <p><b>Treści nauczania – wymagania szczegółowe</b></p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:</p> <p>4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem;</p> <p>6) tworzy teksty, tabele, diagramy lub wykresy, rysunki schematyczne lub blokowe dla zilustrowania zjawisk bądź problemu; właściwie skaluje, oznacza i dobiera zakresy osi.</p> <p>IV. Grawitacja i elementy astronomii. Uczeń:</p> <p>2) stosuje do obliczeń związek między przyspieszeniem grawitacyjnym na powierzchni planety a jej masą i promieniem.</p>
<b>Kształtowane kompetencje kluczowe:</b>	<p><b>Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji,</li><li>• kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii,</li><li>• kompetencje cyfrowe,</li><li>• kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.</li></ul>

<b>Cele operacyjne:</b>	<p>Uczeń:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. zdefiniuje przyspieszenie grawitacyjne,</li> <li>2. określi, od czego zależy wartość przyspieszenia grawitacyjnego.</li> <li>3. przeanalizuje, jak zmienia się wartość przyspieszenia grawitacyjnego wraz z odległością od środka planety.</li> </ol>
<b>Strategie nauczania:</b>	IBSE
<b>Metody nauczania:</b>	merytoryczna dyskusja wprowadzająca, obserwacja, doświadczenie, podsumowująca rozmowa kierowana
<b>Formy zajęć:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- praca w parach i w grupie,</li> <li>- praca indywidualna.</li> </ul>
<b>Środki dydaktyczne:</b>	tablica multimedialna / rzutnik
<b>Materiały pomocnicze:</b>	brak
<b>PRZEBIEG LEKCJI</b>	
<b>Faza wprowadzająca:</b>	
<p>Nauczyciel rozpoczyna lekcję poprzez zaciekawienie uczniów tematem. Następnie, zadaniem nauczyciela jest rozpoznanie wiedzy wyjściowej uczniów w kontekście realizowanego tematu oraz nawiązanie do tej wiedzy w merytorycznej dyskusji wprowadzającej. W tej części uczniowie powinni przedstawić posiadane informacje na temat pola grawitacyjnego, które poznali na poprzednich lekcjach.</p>	
<b>Faza realizacyjna:</b>	

- Konstruowanie wiedzy z zakresu nowego tematu:
  - nauczyciel przypomina uczniom informacje na temat pola grawitacyjnego oraz wprowadza wzór na przyspieszenie grawitacyjne,
  - uczniowie słuchają nauczyciela i zadają pytania dotyczące kwestii problemowych lub niezrozumiałych,
  - uczniowie (z pomocą nauczyciela) rysują na tablicy zależność przyspieszenia grawitacyjnego od odległości od środka Ziemi – najpierw dla odległości większych od promienia Ziemi, następnie – dla wnętrza naszej planety,
  - uczniowie wyciągają wnioski z narysowanej zależności,
  - nauczyciel koryguje odpowiedzi uczniów, ewentualnie naprowadza ich.
  
- Kolejny etap lekcji obejmuje rekonstruowanie wiedzy uczniów:
  - uczniowie na podstawie informacji uzyskanych od nauczyciela rozwiązują samodzielnie zadania (mogą być to zadania zawarte w niniejszym e-materiale),
  - uczniowie dobierają się w pary (w przypadku licznych klas mogą to być grupy 3-4 osobowe) 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 animacją dołączoną do niniejszego e-materiału w celu utrwalenia omawianych zagadnień. Dodatkowo uczniowie powinni wykonać trzy wybrane przez nauczyciela zadania rachunkowe, spośród dołączonych do materiału.

**Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium:**

Animacja może być wykorzystana w pracy samodzielnej ucznia przed lekcją.