

Jak definiuje się natężenie pola grawitacyjnego?

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



## Jak definiuje się natężenie pola grawitacyjnego?

Źródło: dostępny w internecie: <https://www.istockphoto.com/pl/zdjecie/kula-jest-wpewna-przestrzeni-wokob3c582-czas-gm508460520-85277025> [dostęp 9.01.2020], iStockphoto, tylko do użytku edukacyjnego na [zpe.gov.pl](http://zpe.gov.pl).

## Czy to nie ciekawe?

Każde ciało posiadające masę modyfikuje przestrzeń wokół siebie tak, że na umieszczone w jego pobliżu inne ciało, działają siły grawitacyjne. Jednak im dalej od ciała centralnego, tym te siły mają mniejsze wartości. Czy istnieje jakieś fizyczne pojęcie pozwalające na scharakteryzowanie takiego zjawiska? O tym w niniejszym materiale.

### Twoje cele

Zapoznanie się z treścią materiału sprawi, że:

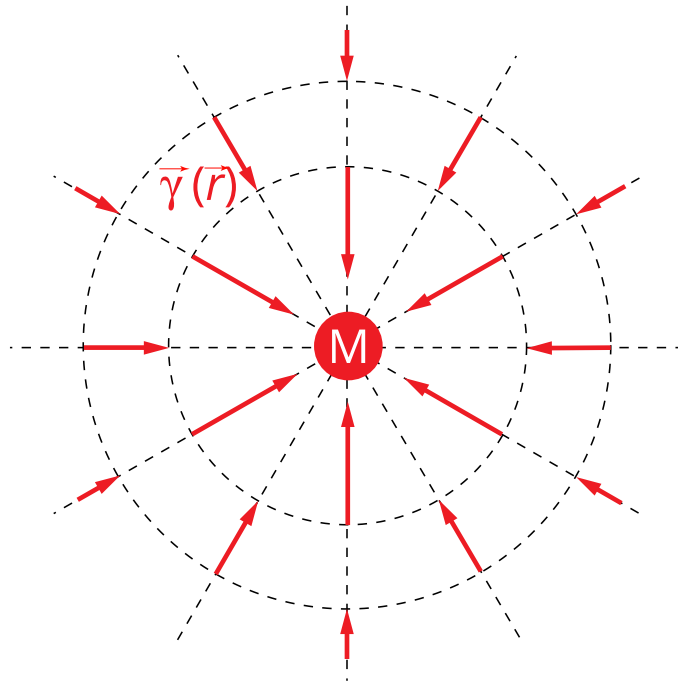
- przypomnisz sobie, od czego zależy wartość siły grawitacyjnej,
- dowiesz się, czym jest pole grawitacyjne i jak się je charakteryzuje,
- zdefiniujesz pojęcie natężenia pola grawitacyjnego,
- określisz jednostkę natężenia pola grawitacyjnego.

# Przeczytaj

## Warto przeczytać

Polem grawitacyjnym nazywamy modyfikację własności przestrzeni, wywołaną obecnością w niej masy, będącej źródłem pola. Jeżeli w polu tym znajdzie się inne ciało o określonej masie, to na ciało to będzie działać siła grawitacji pochodząca od pola. Dla scharakteryzowania tego obszaru wprowadzone zostało pojęcie **natężenia pola grawitacyjnego**  $\vec{\gamma}$ . Liczbowo wyraża ono wartość siły grawitacyjnej  $\vec{F}_g$  działającej na jednostkową masę.

Wokół masy  $M$  tworzy się pole, czyli obszar, w którym na każdą umieszczoną w nim inną masę  $m$  działa siła  $\vec{F}_g$ .



Rys. 1. Pole grawitacyjne wokół ciała o masie  $M$ . Źródło: <https://epodreczniki.open.agh.edu.pl/tiki-index.php?page=Pole+gravitacyjne%2C+pola+sił>

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

Natężenie pola grawitacyjnego zdefiniowane jest wzorem:

$$\vec{\gamma} = \frac{\vec{F}_g}{m} = \frac{G \frac{M \cdot m}{r^2}}{m} \frac{\vec{r}}{r} = G \frac{M}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$

gdzie:

$\vec{\gamma}$  – natężenie pola grawitacyjnego [ $\text{m/s}^2$ ],

$\vec{F}_g$  – siła grawitacji [N],

m – masa [kg],

M – masa centralna [kg],

r – odległość pomiędzy środkami mas [m],

G – stała grawitacji [ $6,67 \cdot 10^{-11} \frac{m^3}{kg \cdot s^2}$ ].

Natężenie pola grawitacyjnego jest wielkością wektorową. Kierunek i zwrot natężenia pola są zgodne z kierunkiem i zwrotem działającej siły grawitacyjnej, a jego wartość jest równa:

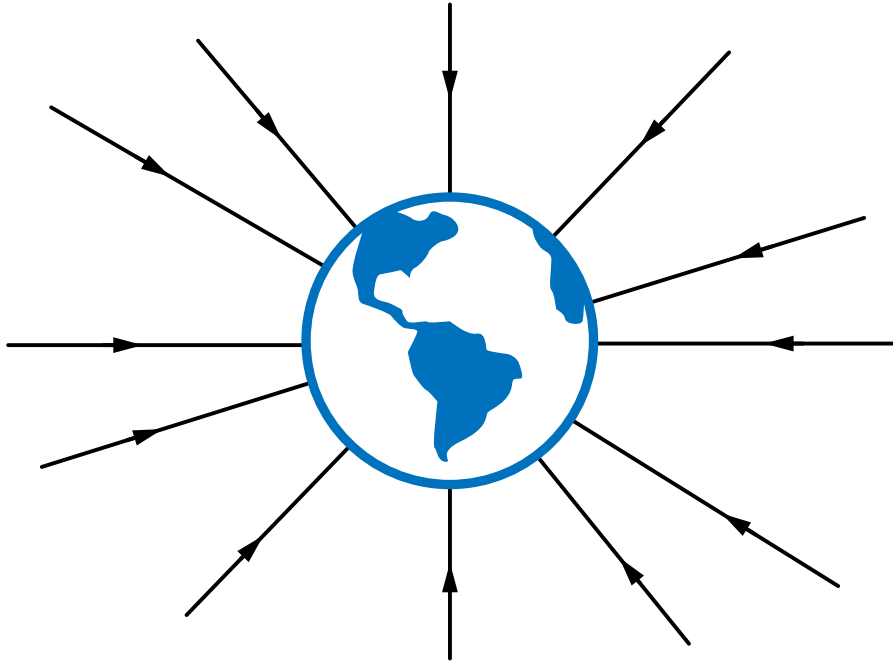
$$\gamma = G \frac{M}{r^2}$$

Jednostką natężenia pola grawitacyjnego jest:

$$[\gamma] = \frac{[F_g]}{m} = \frac{N}{kg} = \frac{kg \cdot \frac{m}{s^2}}{kg} = \frac{m}{s^2}$$

Otrzymujemy tutaj taką samą jednostkę jak w przypadku przyspieszenia. Czy jest to dzieło przypadku? Więcej na ten temat dowiesz się z materiału *Natężenie pola grawitacyjnego a przyspieszenie grawitacyjne*.

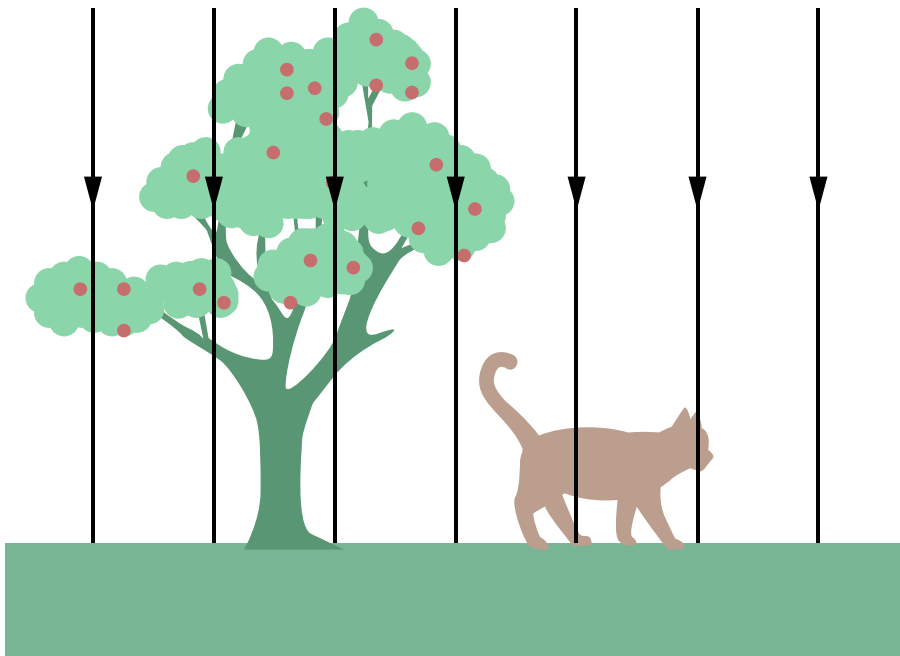
Pole grawitacyjne można zobrazować za pomocą linii pola wskazujących kierunek i zwrot działania sił grawitacji. W przypadku, gdy pole ma charakter centralny, układają się one promieniście (Rys. 2.). W sytuacji, gdy mamy do czynienia z większą ilością mas – stosujemy [zasadę superpozycji pól](#) (więcej na ten temat dowiesz się z materiału *Zasada superpozycji pól*)



Rys. 2. Linie pola grawitacyjnego dookoła Ziemi.

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

Jeżeli zaczniemy przybliżać się do powierzchni Ziemi i znajdziemy się w bardzo bliskiej odległości od niej, możemy wówczas przyjąć, że linie są równoległe. Wówczas takie pole określamy mianem jednorodnego (Rys. 3.). Wówczas kierunek natężenia jest jeden, a jego wartość – w każdym punkcie taka sama.



Rys. 3. Linie pola grawitacyjnego przy samej powierzchni Ziemi.

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

Jak to się dzieje, że pole centralne przy powierzchni Ziemi można traktować jako jednorodne?

Obliczmy, jak zmienia się natężenie pola grawitacyjnego w odległościach  $x \ll R$ . Zmiana ta może zostać wyrażona wzorem:

$$\begin{aligned}\Delta\gamma &= \gamma(R+x) - \gamma(R) = G \frac{M}{(R+x)^2} - G \frac{M}{R^2} = \\ &= G \frac{M}{R^2 \left(1 + \frac{x}{R}\right)^2} - G \frac{M}{R^2} = G \frac{M}{R^2} \left(1 + \frac{x}{R}\right)^{-2} - G \frac{M}{R^2}\end{aligned}$$

Chcąc ocenić wkład, jaki wnosi do powyższego wzoru wyrażenie  $\left(1 + \frac{x}{R}\right)^{-2}$ , oznaczmy  $\varepsilon = \frac{x}{R}$ , gdzie  $\varepsilon \ll 1$  i dokonajmy przybliżenia:

$$\frac{1}{(1+\varepsilon)^2} = \frac{1}{1+2\varepsilon+\varepsilon^2} \approx \frac{1}{1+2\varepsilon}.$$

Porównując powyższe wyrażenie ze wzorem na sumę szeregu geometrycznego

$$S = \frac{a_1}{1-q}$$

i ograniczając się do dwóch pierwszych wyrazów otrzymujemy

$$\frac{1}{1+2\varepsilon} \approx 1 - 2\varepsilon.$$

Mamy zatem:

$$\frac{1}{\left(1 + \frac{x}{R}\right)^2} = 1 - 2\frac{x}{R}$$

oraz:

$$\begin{aligned}\Delta\gamma &= G \frac{M}{R^2 \left(1 + \frac{x}{R}\right)^2} - G \frac{M}{R^2} = \\ &= G \frac{M}{R^2} \left(1 - 2\frac{x}{R}\right) - G \frac{M}{R^2} = -2GM \frac{x}{R^3} = -2\gamma(R) \frac{x}{R}.\end{aligned}$$

Zatem różnica pomiędzy potencjałem grawitacyjnym na poziomie Ziemi i na wysokości na przykład 100 metrów wynosi

$$2 \gamma 0,1 [km] / 6370 [km] = 0,000032 \gamma,$$

czyli praktycznie można przyjąć, że na tej odległości potencjał grawitacyjny jest stały i przybliżenie pola grawitacyjnego polem jednorodnym jest prawidłowe.

## Słowniczek

### **natężenie pola grawitacyjnego**

(ang.: *gravitational field intensity*) – wielkość wektorowa będąca ilorazem siły grawitacyjnej działającej na ciało o masie  $m$  i masy tego ciała; kierunek i zwrot natężenia są zgodne z kierunkiem i zwrotem działającej siły.

### **zasada superpozycji**

(ang. *superposition principle*) – zasada mówiąca, że pole (siła) pochodzące od kilku źródeł jest wektorową sumą pól (sił), jakie wytwarza każde z tych źródeł. Spełniają ją, w dość dużym zakresie, pole elektromagnetyczne i pole grawitacyjne, a w konsekwencji siły pochodzące od nich.

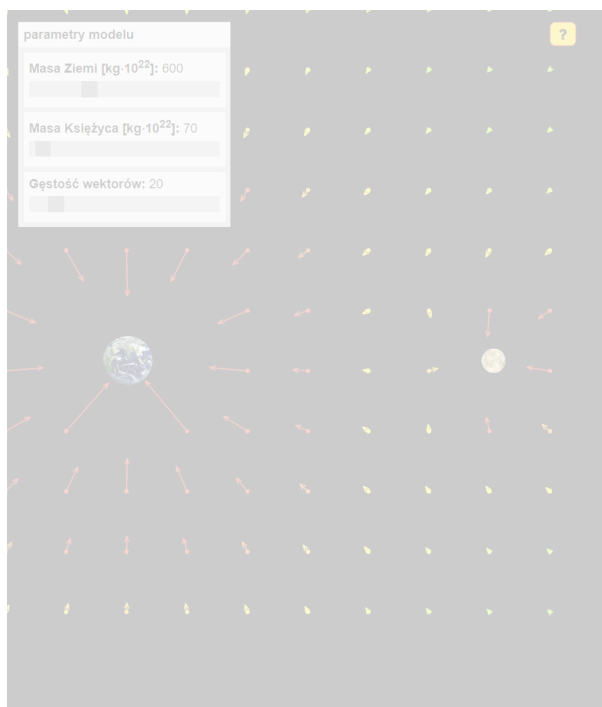
# Symulacja interaktywna

---

## Jak definiuje się natężenie pola grawitacyjnego?

Poniższa symulacja prezentuje natężenie pola grawitacyjnego występujące wokół dwóch mas (Ziemi i Księżyca). Ponieważ jest ono opisane poprzez wielkości wektorowe, natężenie pola grawitacyjnego w każdym punkcie przestrzeni jest wypadkową wektorów natężeń pochodzących od poszczególnych mas.

Na symulacji taki wypadkowy wektor natężenia w każdym punkcie przestrzeni przedstawiony jest za pomocą strzałki, której długość i kolor (od zielonego poprzez żółty do czerwonego) odzwierciedlają jego wartość. Odległość między Ziemią a Księżycem, ani też masa Księżyca nie zostały zachowane (pomyśl dlaczego). Pobaw się symulacją, obserwując, jak zmieniałoby się natężenie pola grawitacyjnego w przestrzeni, gdyby masy obu ciał były podobne lub też skrajnie różne - oczywiście wszelkie podobieństwo powierzchni obu obiektów do znanych nam ciał niebieskich należałoby wtedy uznać za przypadkowe.



Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/D5u6b3LMx>

### **Polecenie 1**

Zwiększ na symulacji gęstość rysowanych wektorów na tyle, na ile pozwala Ci wydajność Twojego komputera. Czy potrafisz na podstawie kolorów i długości strzałek wskazać punkt, w którym natężenie pola grawitacyjnego wynosi zero.

### **Polecenie 2**

### **Polecenie 3**

Wyjaśnij, w jakiej sytuacji pole grawitacyjne Ziemi można uznać za pole centralne. Co należałoby zmienić w symulacji, by centralność tego pola jak najbardziej uwidocznić.

# Sprawdź się

---

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Ćwiczenie 2



Ćwiczenie 3



Ćwiczenie 4



Ćwiczenie 5



Ćwiczenie 6



Punktowe masy  $M$  i  $4M$  są oddalone od siebie o  $x$ . Wyprowadź wzór na natężenie pola grawitacyjnego w środku łączącego je odcinka.

Ćwiczenie 7



Ćwiczenie 8



# Dla nauczyciela

---

<b>Imię i nazwisko autora:</b>	Ewelina Kędzierska
<b>Przedmiot:</b>	Fizyka
<b>Temat zajęć:</b>	<b>Natężenie pola grawitacyjnego</b>
<b>Grupa docelowa:</b>	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzający zapis podstawy programowej dla kształcenia rozszerzonego
<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>16) przeprowadza obliczenia i zapisuje wynik zgodnie z zasadami zaokrąglania oraz zachowaniem liczby cyfr znaczących wynikającej z dokładności pomiaru lub z danych.</p> <p>IV. Grawitacja i elementy astronomii. Uczeń:</p> <p><i>Temat rozszerza zapis podstawy programowej dla kształcenia rozszerzonego.</i></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. określi, od czego zależy wartość siły grawitacyjnej,</li> <li>2. wytłumaczy, czym jest pole grawitacyjne i je scharakteryzuje,</li> <li>3. ilościowo określi to pole za pomocą pojęcia natężenia pola grawitacyjnego.</li> </ol>
<b>Strategie nauczania:</b>	formative feedback
<b>Metody nauczania:</b>	merytoryczna dyskusja wprowadzająca, obserwacja, doświadczenie, podsumowująca rozmowa kierowana
<b>Formy zajęć:</b>	praca w parach (małych grupach), praca indywidualna
<b>Środki dydaktyczne:</b>	tablica multimedialna / rzutnik
<b>Materiały pomocnicze:</b>	-
<b>PRZEBIEG LEKCJI</b>	
<b>Faza wprowadzająca:</b>	
<p>Nauczyciel rozpoczyna lekcję poprzez zaciekawienie uczniów tematem. Następnie nauczyciel rozpoznaje wiedzę wyjściową uczniów w kontekście realizowanego tematu oraz nawiązuje do tej wiedzy w merytorycznej dyskusji wprowadzającej. Uczniowie przedstawiają posiadane informacje na temat siły oddziaływania grawitacyjnego oraz pola grawitacyjnego, które poznali na poprzednich lekcjach.</p>	
<b>Faza realizacyjna:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konstruowanie wiedzy z zakresu nowego tematu: <ul style="list-style-type: none"> <li>- nauczyciel przypomina uczniom informacje na temat pola grawitacyjnego oraz wprowadza wzór na natężenie pola grawitacyjnego (wychodząc od ilorazu siły grawitacyjnej i masy),</li> <li>- uczniowie słuchają nauczyciela i zadają pytania dotyczące kwestii problemowych lub niezrozumiałych,</li> <li>- uczniowie określają cechy wektora natężenia pola grawitacyjnego,</li> <li>- nauczyciel tłumaczy uczniom, czym różni się pole centralne od jednorodnego.</li> </ul> </li> <li>• Kolejny etap lekcji obejmuje rekonstruowanie wiedzy uczniów: <ul style="list-style-type: none"> <li>- uczniowie na podstawie informacji uzyskanych od nauczyciela rozwiązują samodzielnie zadania (mogą być to zadania zawarte w niniejszym e-materiale),</li> <li>- 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,</li> <li>- nauczyciel podchodzi do każdej z par i sprawdza wyniki pracy.</li> </ul> </li> </ul>	
<b>Faza podsumowująca:</b>	

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 cztery wybrane przez nauczyciela zadania rachunkowe, spośród dołączonych do e-materiału.

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

Animacja może być wykorzystana w pracy samodzielnej ucznia na lekcji.