



## Jak wykorzystać prawo Coulomba?

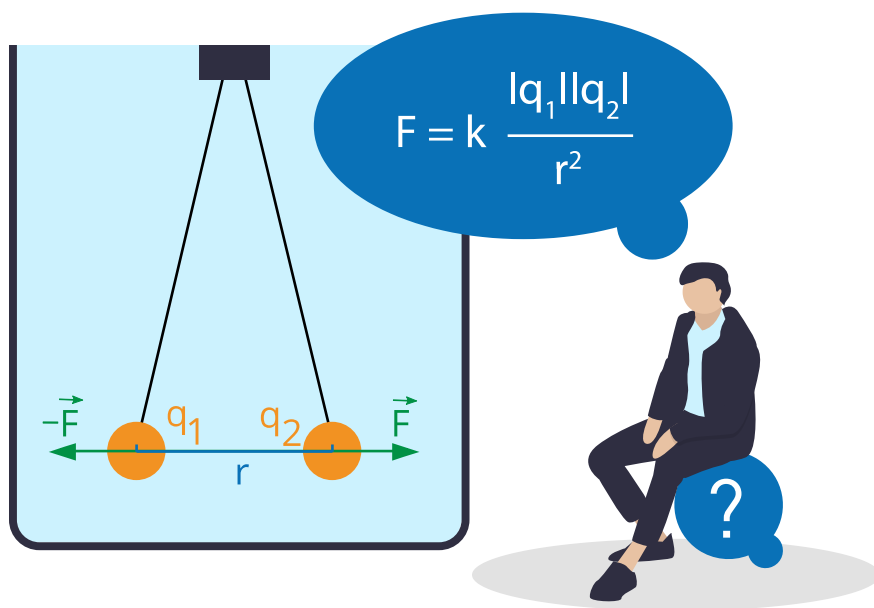
- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Film samouczek](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



## Jak wykorzystać prawo Coulomba?

### Czy to nie ciekawe?

Prawo Coulomba pozwala nam obliczyć wartość siły wzajemnego oddziaływania między ładunkami elektrycznymi. Czy tylko do tego można je wykorzystać? Czy da się z pomocą prawa Coulomba obliczyć takie wielkości, jak odległość między ładunkami lub samą wartość tych ładunków? Można, jeżeli umiemy przekształcać wzory. Wbrew pozorom nie jest to wcale trudne!



Rys. a. Dwie kulki zaczezione na pływaku są zanurzone w cieczy

## Twoje cele

Zapoznanie się z treścią materiału sprawi, że:

- nauczysz się wykorzystywać prawo Coulomba nie tylko do obliczania siły wzajemnego oddziaływania między ładunkami,
- nauczysz się przekształcać wzory fizyczne i zastosujesz tę umiejętność w praktyce na przykładzie prawa Coulomba,
- zapoznasz się z różnymi zastosowaniami prawa Coulomba i przeanalizujesz, w jaki sposób są ze sobą powiązane wielkości, o których ono mówi.

# Przeczytaj

---

## Warto przeczytać

Wartość siły wzajemnego oddziaływania między dwoma ładunkami punktowymi można obliczyć, korzystając z prawa Coulomba. Mówi ono, że siła ta jest wprost proporcjonalna do iloczynu ładunków i odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości między nimi.

Wyraża się ona wzorem:

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2},$$

gdzie

- $q_1$  i  $q_2$  to wartości ładunków,
- $r$  to odległość między ładunkami (zwróć uwagę, że we wzorze występuje w drugiej potęgze),
- $k$  to stała, która wynosi  $8,9875 \cdot 10^9 \frac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{C}^2}$  (łatwym do zapamiętania przybliżeniem jest  $9 \cdot 10^9 \frac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{C}^2}$ ).

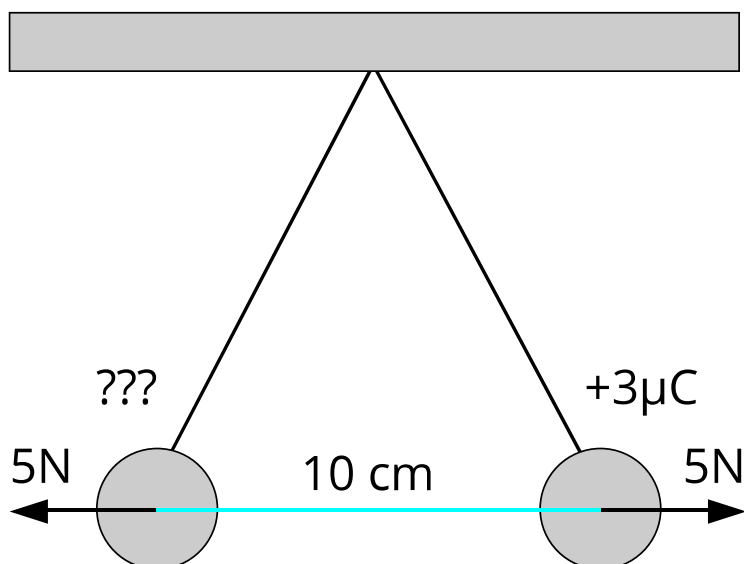
Prawo Coulomba można stosować także dla ciał, których nie można traktować jako ładunki punktowe, ale które mają symetrię sferyczną (np. dwie naładowane kule metalowe).

Wzór  $F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$  najłatwiej wykorzystać do obliczenia wartości siły wzajemnego oddziaływania między dwoma ładunkami. Wiemy jednak, że każdy wzór fizyczny można przekształcić i użyć go do obliczenia dowolnej wielkości, która w nim występuje, pod warunkiem, że pozostałe wielkości będą znane. Możemy więc wykorzystać prawo Coulomba do obliczenia odległości między ładunkami, do obliczenia samych wartości tych ładunków, a nawet do wyznaczenia stałej elektrostatycznej  $k$ . Jak to zrobić?

Przekształcanie wzorów nie jest trudne, jeżeli pamiętamy, że wzór fizyczny to po prostu równanie. Niewiadomą jest szukana wielkość, natomiast wszystkie pozostałe wielkości traktujemy jako wiadome, nawet jeżeli chwilowo nie znamy ich faktycznej wartości. Najłatwiej będzie to zrozumieć, analizując poniższy przykład.

### Przykład

Dwie małe kulki naładowane elektrycznie zawieszono na izolujących niciach (Rys. 1). Kulki odchyliły się od siebie tak, że odległość między ich środkami wynosi 10 cm. Zmierzono także, że kulki odpychają się siłą o wartości 5 N. Oblicz ładunek zgromadzony na jednej z kulek, gdy wiadomo, że ładunek drugiej to  $+3 \mu\text{C}$ .



Rys. 1

### Rozwiązanie

Przedstawmy wielkości dane w zadaniu w jednostkach podstawowych układu SI – ułatwi to obliczenia.

*Dane:*

$$r = 0,1 \text{ m},$$

$$F = 5 \text{ N},$$

$$q_2 = 3 \cdot 10^{-6} \text{ C}.$$

Chcemy znaleźć wartość ładunku  $q_1$ .

*Szukane:*

$$q_1 = ?$$

Chcemy zatem skorzystać z prawa Coulomba i uzyskać wzór w postaci

$$q_1 = \text{jakieś wyrażenie}.$$

Zapiszmy prawo Coulomba,

$$\frac{k|q_1||q_2|}{r^2} = F.$$

Niewiadoma  $q_1$  stoi teraz w liczniku po lewej stronie, ale „w towarzystwie” innych zmiennych, których chcemy się z lewej strony pozbyć. Pomnożmy obie strony równania przez  $r^2$ , otrzymując

$$k|q_1||q_2| = Fr^2,$$

a następnie podzielimy obie strony przez  $k$ . Dostajemy

$$|q_1||q_2| = \frac{Fr^2}{k}.$$

Jest to wzór, który pozwala obliczyć iloczyn ładunków. Czasem to wystarczy, gdy jednak interesuje nas konkretnie wartość ładunku  $q_1$ , musimy obie strony równania podzielić jeszcze przez  $|q_2|$ . Mamy wtedy

$$|q_1| = \frac{Fr^2}{k|q_2|}.$$

To, co otrzymujemy, to wartość bezwzględna szukanego ładunku. Znak ładunku musimy „zgadnąć” na podstawie informacji o znaku ładunku  $q_2$  oraz o tym, czy siła między ładunkami jest odpychająca, czy przyciągająca.

W naszym przykładzie kulki odpychają się, a jedna z nich ma ładunek dodatni. Stąd wnioskujemy, że ładunki na obu kulkach mają ten sam znak, czyli „+”. Warto sprawdzić, czy stosując wyprowadzony wzór, otrzymamy poprawną jednostkę ładunku – upewni nas to, że dobrze wykonaliśmy wszystkie przekształcenia.

$$\left[ q_1 \right] = \frac{[F][r]^2}{[k][q_2]} = \frac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\frac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{C}^2}\cdot\text{C}} \cdot \frac{1}{\text{C}} = \text{C}.$$

Szukaną wartość ładunku obliczamy, podstawiając dane liczbowe do wyprowadzonego wzoru:

$$|q_1| = \frac{5 \cdot (0,1)^2}{9 \cdot 10^9 \cdot 3 \cdot 10^{-6}} \text{ C} \approx 1,85 \cdot 10^{-6} \text{ C} = 1,85 \mu\text{C}.$$

**Odpowiedź:** Ładunek zgromadzony na pierwszej z kulek to  $+1,85 \mu\text{C}$ .

## Słowniczek

### ładunek punktowy

(ang.: *point charge*) - punkt materialny obdarzony ładunkiem elektrycznym.

Teoretycznie ładunek punktowy ma nieskończenie małe rozmiary. Jako ładunki punktowe możemy traktować ciała naładowane, których rozmiary są bardzo małe w porównaniu z ich odległością do innych ciał.

### ładunek elementarny

(ang.: *elementary charge*) - najmniejszy ładunek, jaki mogą mieć samodzielne cząstki elementarne; ma wartość  $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  i jest oznaczany literką  $e$ . Proton ma ładunek  $+e$ , elektron  $-e$ . Każdy ładunek ciała makroskopowego jest całkowitą wielokrotnością ładunku elementarnego.

### kulomb

(*ang.: coulomb*) - jednostka ładunku elektrycznego w układzie SI. Symbolem kulomba jest duża litera C. Ładunek o wartości 1 C odpowiada  $6,242 \cdot 10^{18}$  ładunkom elementarnym.

### **przenikalność elektryczna**

(*ang.: permittivity*) - wielkość fizyczna charakteryzująca właściwości elektryczne substancji, zwykle oznaczana grecką literą  $\epsilon$ . Przenikalność elektryczna próżni, oznaczana  $\epsilon_0$ , ma w przybliżeniu wartość  $8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N}\cdot\text{m}^2}$ .

### **względna przenikalność elektryczna**

(*ang.: relative permittivity*) - stosunek przenikalności elektrycznej danej substancji do przenikalności elektrycznej próżni. Oznaczana  $\epsilon_r$  („r” od *ang. relative* - względny).

# Film samouczek

---

## Jak wykorzystać prawo Coulomba?

### Polecenie 1

Na filmie samouczku zostaje postawione, a następnie rozwiązane, zadanie: „W jakiej odległości trzeba umieścić dwa ładunki punktowe, żeby odpychały sięadaną siłą?” Zwróć uwagę na kolejne elementy rozwiązania.

Film dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/DPjvrX4qO>

Zapoznaj się z treścią samouczka.

---




### Polecenie 2

Wyobraź sobie, że wartość jednego z ładunków zwiększono 9-krotnie, wartość drugiego pozostawiając niezmienną. Jak daleko trzeba je teraz odsunąć, żeby siła odpychania między nimi miała nadal wartość  $1 N$ ?

# Sprawdź się

---

We wszystkich zadaniach przyjmij wartość stałej elektrostatycznej  $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{C}^2}$  oraz wartość ładunku elementarnego  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Ćwiczenie 2



Ćwiczenie 3



Ćwiczenie 4



Ćwiczenie 5



Ćwiczenie 6



## Ćwiczenie 7



Jeżeli ładunki elektryczne nie znajdują się w próżni, ale przestrzeń między nimi wypełnia jakaś substancja, siła elektrostatycznego oddziaływania między nimi będzie inna, niż wynikałoby to z prawa Coulomba dla próżni. Zamiast wzoru

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

w którym występuje przenikalność elektryczna próżni  $\epsilon_0$ , należy użyć wzoru

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

We wzorze tym  $\epsilon$  oznacza przenikalność elektryczną ośrodka i jest liczbą różną dla różnych substancji. Siła oddziaływania elektrostatycznego obliczana z tego wzoru będzie przyjmowała różne wartości w zależności od ośrodka, w którym znajdują się oddziałujące ładunki.

Wartości przenikalności elektrycznej wielu substancji można znaleźć w dostępnych źródłach, przy czym najczęściej podaje się tzw. względną przenikalność elektryczną  $\epsilon_r$ , która mówi, ile razy większa jest przenikalność danej substancji od przenikalności dla próżni. Przenikalność elektryczną  $\epsilon$  oblicza się wtedy jako  $\epsilon = \epsilon_0\epsilon_r$ .

Oblicz stałą  $\epsilon$  dla benzyny, alkoholu metylowego i wody, wiedząc, że przenikalności względne  $\epsilon_r$  tych substancji wynoszą odpowiednio: 2, 30 i 80.

Przyjmij wartość  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N}\cdot\text{m}^2}$ .

Czy oddziaływanie między ciałami naładowanymi w omawianych substancjach jest silniejsze czy słabsze niż w próżni?



## Ćwiczenie 8



Dwie kulki, które można traktować jak ładunki punktowe, naładowano identycznym ładunkiem  $+40 \mu\text{C}$ , a następnie, zawieszono na nitkach, zanurzono w pewnej cieczy. Kulki, na skutek elektrostatycznego odpychania, odchyliły się od siebie. Na podstawie kąta odchylenia kulek oraz znanych wartości ciężaru i siły wyporu ustalono, że siła odpychania między kulkami ma wartość  $F = 3 \text{ N}$ . Zmierzono też odległość między kulkami: wyniosła ona  $r = 44 \text{ cm}$ . Przekształcając odpowiednio wzór

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \cdot \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

wyznacz względną przenikalność substancji, w której zanurzono kulki (wynik podaj zaokrąglony do wartości całkowitej). Korzystając z dostępnych źródeł, spróbuj ustalić, jaka mogłaby to być substancja.

Przyjmij  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N}\cdot\text{m}^2}$  oraz  $\pi = 3,14$ .

# Dla nauczyciela

---

<b>Imię i nazwisko autora:</b>	Jan Kamiński
<b>Przedmiot:</b>	Fizyka
<b>Temat zajęć:</b>	<b>Przekształcanie wzorów na przykładzie prawa Coulomba</b>
<b>Grupa docelowa:</b>	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres podstawowy i rozszerzony

**Podstawa programowa:**

**Cele kształcenia – wymagania ogólne**

II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.

**Zakres podstawowy**

**Treści nauczania – wymagania szczegółowe**

I. Wymagania przekrojowe.

Uczeń:

2) posługuje się materiałami pomocniczymi, w tym tablicami fizycznymi i chemicznymi oraz kartą wybranych wzorów i stałych fizykochemicznych;

14) przeprowadza obliczenia i zapisuje wynik zgodnie z zasadami zaokrąglania oraz zachowaniem liczby cyfr znaczących wynikającej z dokładności pomiaru lub z danych;

VI. Elektrostatyka.

Uczeń:

2) oblicza wartość siły wzajemnego oddziaływania ładunków, stosując prawo Coulomba;

**Zakres rozszerzony**

**Treści nauczania – wymagania szczegółowe**

I. Wymagania przekrojowe.

Uczeń:

2) posługuje się materiałami pomocniczymi, w tym tablicami fizycznymi i chemicznymi oraz kartą wybranych wzorów i stałych fizykochemicznych;

16) przeprowadza obliczenia i zapisuje wynik zgodnie z zasadami zaokrąglania oraz zachowaniem liczby cyfr znaczących wynikającej z dokładności pomiaru lub z danych;

VII. Elektrostatyka.

Uczeń:

2) oblicza wartość siły wzajemnego oddziaływania ładunków stosując prawo Coulomba.

<b>Kształtowane kompetencje kluczowe:</b>	<b>Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.:</b> <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. podaje prawo Coulomba i objaśnia jego znaczenie.</li> <li>2. wykorzystuje prawo Coulomba do obliczania odległości między ładunkami i wartości ładunków.</li> <li>3. przekształca wzory fizyczne i stosuje tę umiejętność w praktyce na przykładzie prawa Coulomba.</li> <li>4. analizuje, w jaki sposób są ze sobą powiązane wielkości, o których mówi prawo Coulomba.</li> </ol>
<b>Strategie nauczania:</b>	odwrócona klasa
<b>Metody nauczania:</b>	oglądanie filmu-samouczka, samodzielne rozwiązywanie przykładowego problemu, burza mózgów, wspólne omawianie rozwiązania, argumentowanie
<b>Formy zajęć:</b>	praca samodzielna w domu, praca samodzielna na lekcji, dyskusja na forum klasy
<b>Środki dydaktyczne:</b>	przygotowane kserokopie przykładu (bez rozwiązania) z części tekstowej e-materiału
<b>Materiały pomocnicze:</b>	brak
<b>PRZEBIEG LEKCJI</b>	
<b>Faza wprowadzająca:</b>	

Jako zadanie przed lekcją uczniowie mają za zadanie obejrzeć film-samouczek. Na początku lekcji nauczyciel przypomina pojęcie wzoru fizycznego. Ważne by położyć nacisk na dwie sprawy:

1) Wzór opisuje współzależności między różnymi wielkościami fizycznymi; trzeba odwrócić uwagę od „operacyjnego” aspektu wzoru („wzór na coś”, wzór jako przepis na obliczenie czegoś), a zwrócić uwagę na jego aspekt „relacyjny” (wzór wiąże wielkości, wielkości we wzorze nawzajem zależą od siebie, a wzór tę zależność ujmuje).

2) Wzór jest niczym innym jak równaniem matematycznym; trudnością dla uczniów jest zrozumienie, że symbole literowe mogą oznaczać zarówno wielkości niewiadome (jak „x” na lekcji matematyki), jak i wiadome (które na lekcjach matematyki są zazwyczaj explicite dane, stąd trudności uczniów, gdy przechodzą do rozwiązywania równań fizycznych).

### **Faza realizacyjna:**

Nauczyciel przypomina prawo Coulomba, zapisując na tablicy wzór  $F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$ . Potem podaje uczniom jako zadanie przykład (bez rozwiązania) z części tekstowej e-materiału do rozwiązania. Uczniowie pracują kilka minut samodzielnie a następnie, na polecenie nauczyciela, porównują wyniki, które otrzymali. Następnie nauczyciel rozwiązuje przykład na tablicy, tak jak jest on rozwiązany w e-materiale. Uczniowie porównują otrzymane sposoby z rozwiązaniem wzorcowym. Nauczyciel zadaje pytanie: „Kto otrzymał prawidłowy wynik?”. Do kilku osób, którym nie udało się rozwiązać zadania, nauczyciel podchodzi i sprawdza, gdzie popełnili błąd. Wykorzystuje błędy uczniów, żeby pokazać, jak ich unikać (nie stygmatyzuje uczniów, którzy popełnili błąd, lecz przeciwnie: pokazuje, że taki błąd może zdarzyć się każdemu i na co zwracać uwagę, aby go uniknąć).

### **Faza podsumowująca:**

Po omówieniu przykładu i najczęstszych błędów, uczniom jest prezentowane zadanie 5 z zestawu ćwiczeń. Uczniowie mają chwilę na zastanowienie, po czym prawdziwość kolejnych wzorów jest oceniana przez głosowanie. Jeżeli nauczyciel widzi trudność (niepewność uczniów w ocenie, wynik głosowania 50:50), poddaje temat pod dyskusję a następnie poświęca więcej czasu na omówienie wzoru, przy którym trudność się pojawiła, by bezsprzecznie wykazać uczniom jego prawdziwość bądź fałszywość (najlepiej, jeśli uczniowie w toku dyskusji sami dojdą do rozwiązania).

### **Praca domowa:**

Jako pracę domową uczniowie mają wykonać zadanie 1 i 2 z zestawu ćwiczeń.

<b>Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium:</b>	Film-samouczek, poza przedstawioną propozycją, można wykorzystać: <ul style="list-style-type: none"><li>• Jako pracę domową – podsumowującą lekcję na temat przekształcania wzorów na przykładzie prawa Coulomba.</li><li>• Jako materiał oglądany w czasie lekcji w fazie wprowadzającej.</li></ul>
--	--