



# Prawo Coulomba

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

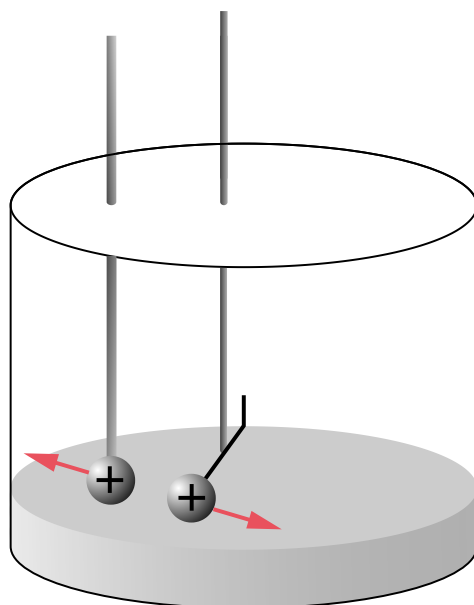


## Prawo Coulomba

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

## Czy to nie ciekawe?

Niektóre ciała po naelektryzowaniu – na przykład przez potarcie o wełniany sweter – przyciągają się. To zjawisko znasz od dawna. Jest ono przejawem oddziaływania elektrycznego. W tym e-materiale poznasz prawo, które dokładnie opisuje to oddziaływanie, czyli prawo Coulomba. Pozwala ono obliczyć siłę, jaką przyciągają się naładowane ciała.



Rys. a. Waga skręceń, przy pomocy której Coulomb odkrył doświadczalnie swoje prawo.

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

### Twoje cele

- poznasz prawo Coulomba rządzące oddziaływaniem między ciałami naładowanymi elektrycznie,
- dowiesz się, od czego zależy siła wzajemnego przyciągania lub odpychania dwóch naładowanych elektrycznie ciał,
- dowiesz się, w jaki sposób siła wzajemnego przyciągania lub odpychania dwóch naładowanych ciał zależy od odległości między nimi,
- zastosujesz prawo Coulomba do obliczenia siły oddziaływania między dwoma naładowanymi ciałami.

# Przeczytaj

---

## Warto przeczytać

Każde dwa ciała naładowane elektrycznie oddziałują ze sobą. Prawo przyrody, rządzące tym oddziaływaniem nazwano [prawem Coulomba](#), na cześć XIX-wiecznego francuskiego fizyka, który je odkrył.

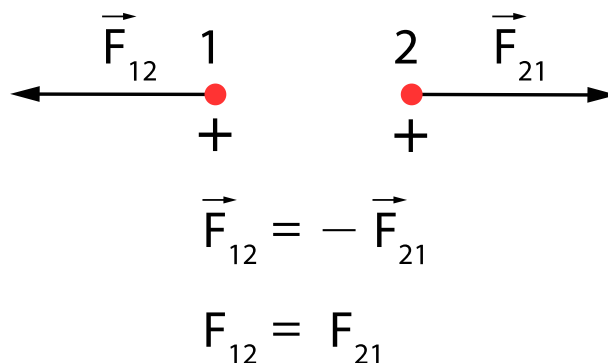
Prawo Coulomba mówi, że ciała naładowane ładunkami o różnych znakach przyciągają się, a ciała naładowane ładunkami o jednakowych znakach odpychają się. Wartość siły, którą działają na siebie naładowane ciała jest wprost proporcjonalna do iloczynu ładunków i odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości między ich środkami. Można ją obliczyć ze wzoru:

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

We wzorze tym

- $q_1$  oraz  $q_2$  to wartości ładunku elektrycznego oddziałujących ciał,
- $r$  to odległość między ciałami,
- $k$  to pewna stała.

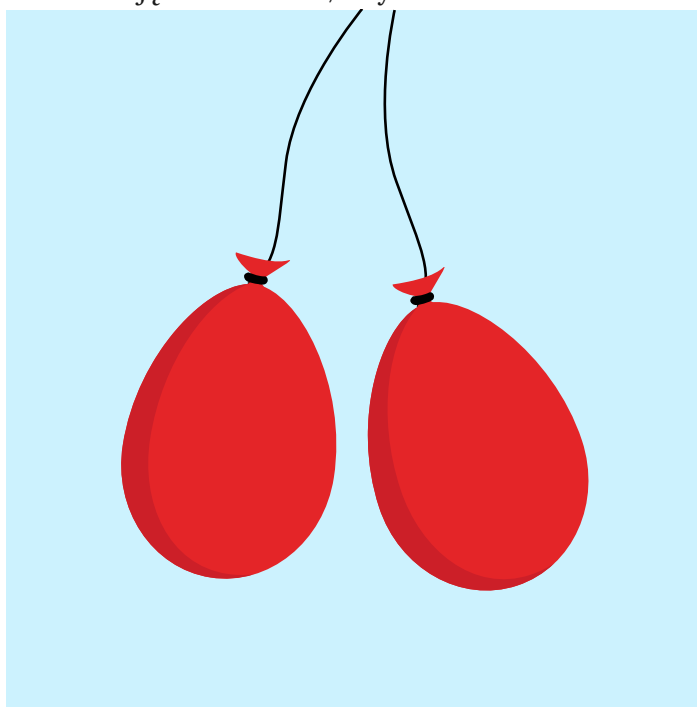
Przeanalizujmy powyższy wzór, żeby dobrze zrozumieć, co on oznacza. Po pierwsze: mówimy o oddziaływaniu dwóch ciał. Ktoś mógłby zapytać: na które z nich działa omawiana siła? Na takie pytanie odpowiedź może być tylko jedna. Zgodnie z III zasadą dynamiki wszelkie oddziaływania między ciałami są wzajemne. Oba naładowane ciała działają na siebie siłą o takiej samej wartości. Właśnie tę wartość obliczamy, korzystając z [prawa Coulomba](#).



Rys. 1. Na rysunku  $\vec{F}_{mn}$  oznacza siłę, która działa na ciało  $m$ , wywieraną przez ciało  $n$ . Siły wzajemnego oddziaływania między ciałami są zawsze równe co do wartości i przeciwnie skierowane, mówi o tym trzecia

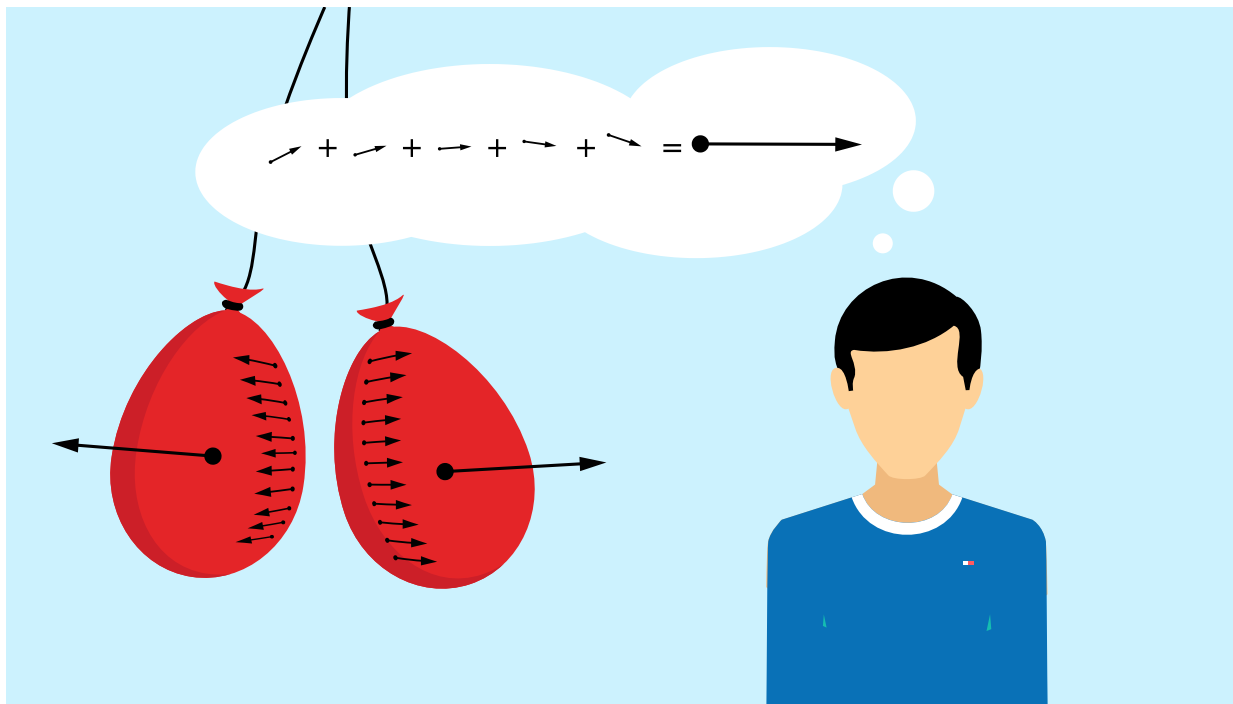
zasada dynamiki. Obowiązuje ona także dla sił elektrostatycznego odpychania i przyciągania

Po drugie: co oznaczają  $q_1$  i  $q_2$ ? Są to wartości **ładunków elektrycznych** zgromadzonych na oddziałujących ciałach. Ciałami tymi mogą być na przykład jony sodu i chloru w kryształach soli kuchennej albo elektron i proton w atomie wodoru. Mogą to być również – o ile są naładowane elektrycznie – przedmioty dużo większe: kulki wykonane z różnych materiałów, długopis, kawałki papieru, balony. Zwróć uwagę, że do wzoru podstawiamy wartość bezwzględną ładunków i otrzymujemy w wyniku wartość siły. Zwrot tej siły będzie zależał od tego, czy ładunki mają takie same, czy różne znaki.



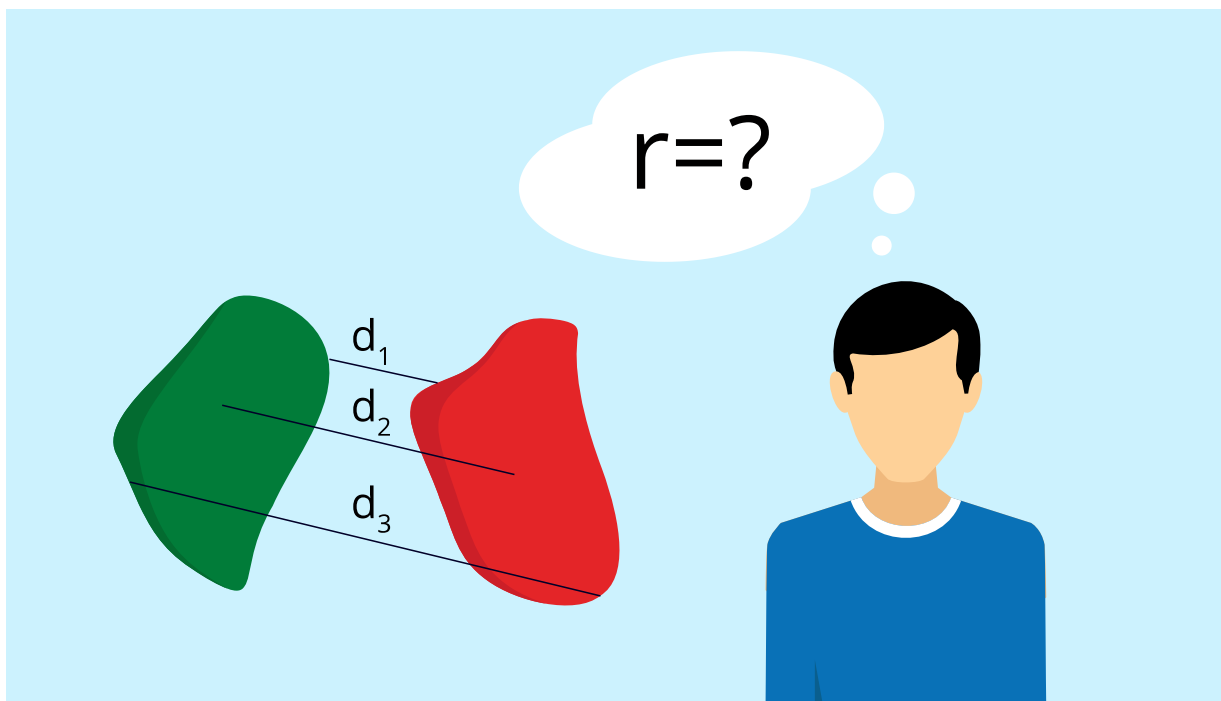
Rys. 2. Dwa baloniki naładowane jednoimiennymi ładunkami elektrycznymi odpychają się

Po trzecie: Musimy zdawać sobie sprawę, kiedy można stosować prawo Coulomba. Gdy oddziałujące ciała są małe albo mają symetrię sferyczną, można je potraktować jako ładunki punktowe i prawo Coulomba można stosować bezpośrednio. Natomiast w przypadku ciał o nieregularnych kształtach lub nierównomiernym rozmieszczeniu ładunku, ich oddziaływanie jest wypadkową wielu oddziaływań między ładunkami zgromadzonymi w różnych miejscach tych ciał. I chociaż każde z tych oddziaływań jest opisywane przez prawo Coulomba, to wypadkowa może być skomplikowana i niekoniecznie da się obliczyć z prostego wzoru.



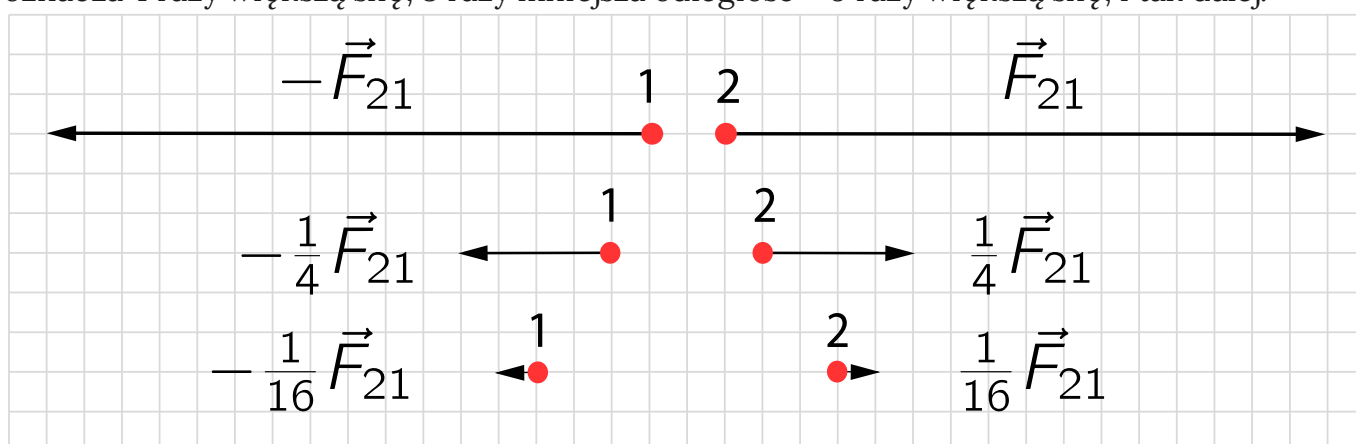
Rys. 3. Prawo Coulomba „działa” dla ciał rozciągniętych, ale wtedy opisuje ono siłę, z jaką poszczególne małe „cząstki” jednego ciała oddziałują z „cząstkami” innego ciała. Wypadkowy efekt tych oddziaływań może być trudny do przewidzenia, o ile rozłożenie ładunku na ciałach nie wykazuje symetrii. W szczególnych przypadkach ciała rozciągnięte można potraktować jak ładunki punktowe i stosować prawo Coulomba bezpośrednio

Po czwarte: co oznacza  $r$ ? Jest to odległość między ciałami – w przypadku, gdy ta odległość jest duża w porównaniu z rozmiarami ciał, nie mamy problemu z jej określeniem. Ale w przypadku dużych ciał położonych blisko siebie, bardzo sensowne będzie pytanie: o jaką konkretnie odległość chodzi? Wyobraźmy sobie na przykład dwie kule o promieniu 20 cm, które niemal stykają się ze sobą. Odległość między najbliższymi punktami tych kul jest bliska zeru, środki kul są oddalone od siebie o 40 cm, a ich najdalsze punkty o 80 cm. Czy do wzoru należy podstawić którąś z tych wartości, czy jakąś jeszcze inną? W przypadku kul i innych obiektów podobnie symetrycznych, odpowiedź jest prosta: należy wziąć odległość między ich środkami. Jak już powiedziano, w przypadku ciał o bardziej skomplikowanych kształtach nie da się stosować wprost [prawa Coulomba](#). To nie znaczy, że siły ich elektrostatycznego oddziaływania nie da się obliczyć. Wychodząc od prawa Coulomba, można wyprowadzić wzory na siłę między ciałami o różnych kształtach i rozmieszczeniu ładunku, czasem jednak rachunki prowadzące do jej wyznaczenia są bardzo skomplikowane.



Rys. 4. Ciała rozciągnięte trudno traktować jako ładunki punktowe i stosować do nich prawo Coulomba. Jest to dopuszczalne tylko w szczególnych przypadkach

Po piąte: kwadrat w mianowniku! Zwróć uwagę, że w mianowniku naszego wzoru mamy  $r^2$ , a nie  $r$  i nie jest to bez znaczenia. Wyobraźmy sobie, że mamy dwa jednakowo naładowane ciała odległe o 1 metr. Wiemy, że odpychają się one pewną siłą. Jak zmieni się ta siła, gdy zwiększymy odległość między ciałami do 2 metrów? Gdyby siła była po prostu odwrotnie proporcjonalna do odległości ( $r$  w mianowniku w pierwszej potęgce), to zmalałaby dwukrotnie, bo dwukrotnie wzrosła odległość. W prawie Coulomba mamy jednak odwrotną proporcjonalność do **kwadratu odległości** (druga potęga  $r$  w mianowniku). Przy dwukrotnym zwiększeniu oddalenia, nasza siła zmaleje czterokrotnie. Ile razy zmaleje siła, jeżeli zwiększymy odległość między ciałami trzykrotnie? Oczywiście: 9 razy, bo  $3^2 = 9$ . W podobny sposób siła rośnie, gdy zbliżamy ciała do siebie: 2 razy mniejsza odległość oznacza 4 razy większą siłę, 3 razy mniejsza odległość – 9 razy większą siłę, i tak dalej.



Rys. 5. Prawo Coulomba mówi, że siła elektrostatycznego oddziaływania między ładunkami jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości między nimi. Na rysunkach zaznaczono siłę odpychania między dwoma ładunkami o tym samym znaku, umieszczonymi w odległościach  $d$ ,  $2d$  oraz  $4d$ .

Po szóste: co oznacza stała  $k$ ? **Prawo Coulomba** nie mówi, że siła oddziaływania między naładowanymi ciałami jest równa iloczynowi ładunków dzielonemu przez kwadrat odległości, mówi tylko, że jest do niego proporcjonalna. Aby obliczyć wartość tej siły, musimy  $\frac{|q_1||q_2|}{r^2}$  pomnożyć przez stałą proporcjonalności  $k$ , nazywaną czasami **stałą elektrostatyczną**. Wynosi ona  $8,9875 \cdot 10^9 \frac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{C}^2}$ . Zwróć uwagę na jednostki. Gdy podstawimy ładunek oraz odległość w jednostkach układu SI i pomnożymy stałą  $k$  przez  $\frac{|q_1||q_2|}{r^2}$ , to otrzymamy wynik w niutonach – jednostkach siły układu SI:

$$[F] = \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \cdot \frac{\text{C} \cdot \text{C}}{\text{m}^2} = \text{N} .$$

Podana wartość **stałej elektrostatycznej** dotyczy oddziaływania między ciałami umieszczonymi w próżni. W powietrzu jej wartość jest bardzo podobna, ale już dla ciał zanurzonych w oleju lub takich, pomiędzy którymi umieszczono jakieś inne ciało, zauważymy osłabienie ich elektrycznego oddziaływania. Bierze się to stąd, że w ciele umieszczonym „pomiędzy” również zachodzą zmiany, wywołane obecnością ciał naładowanych. Elektrony i protony tego ciała przemieszczają się, oddziałując z kolei na ciała naładowane. Ten skomplikowany efekt można ująć w zadziwiająco prosty sposób – przyjmując inną wartość stałej  $k$ . W wodzie wynosi ona na przykład tylko 1/80 wartości w próżni. Oznacza to, że dwa ciała naelektryzowane, umieszczone w wodzie, przyciągałyby się 80 razy słabiej, niż w próżni czy w powietrzu! Jaka szkoda, że nie można podobnie łatwo osłabić grawitacji. Loty kosmiczne mogłyby być wtedy dużo tańsze...

## Słowniczek

### **prawo Coulomba**

(*ang.: Coulomb's law*) – prawo fizyki, które pozwala obliczyć siłę oddziaływania między ciałami naładowanymi, gdy znamy wartość ładunków tych ciał oraz odległość między nimi.

### **siła elektrostatyczna**

(*ang.: electrostatic force*) – siła jaką przyciągają lub odpychają się spoczywające ładunki elektryczne.

### **przyciąganie elektrostatyczne**

(*ang.: electrostatic attraction*) – zjawisko polegające na przyciąganiu się ciał naładowanych ładunkiem o różnych znakach.

### **odpychanie elektrostatyczne**

(*ang.: electrostatic repulsion*) – zjawisko polegające na odpychaniu się ciał naładowanych ładunkiem o tym samym znaku.

### **ładunek elektryczny**

(*ang.: electric charge*) - cecha ciała polegająca na zdolności do oddziaływania elektromagnetycznego z innymi ciałami obdarzonymi takim ładunkiem.

**cząstka naładowana**

(*ang.: charged particle*) - cząstka, która posiada niezerowy ładunek elektryczny.

Cząstkami naładowanymi są na przykład proton i elektron.

**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.

**stała elektrostatyczna**

(*ang.: electrostatic constant*) - stała proporcjonalności między siłą elektrostatyczną a iloczynem ładunków dzielonym przez kwadrat odległości. W przybliżeniu ma wartość

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}.$$

# Animacja

---

## Prawo Coulomba

Animacja przedstawia, w jaki sposób zmienia się siła oddziaływania między ciałami naładowanymi, gdy zmienia się odległość między nimi.

Zwróć uwagę na wektory sił:

$\vec{F}_1, \vec{F}_2$  - elektrostatycznego oddziaływania,  $\vec{N}_1, \vec{N}_2$  - napięcia nici,  $\vec{Q}$  - ciężkości.


# Trwa wczytywanie danych ..

### Polecenie 1

### Polecenie 2

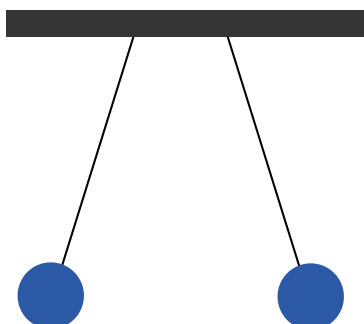
W animacji przedstawiono oddziaływanie naładowanych kulek o równych masach. Naładowane jednoimiennie kulki odchylają się od pionu o ten sam kąt. Czy kulki o różnych masach również odchylą się o ten sam kąt? Odpowiedź uzasadnij.

# Sprawdź się

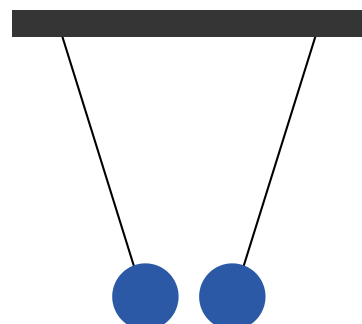
Pokaż ćwiczenia:   

We wszystkich zadaniach poniżej przyjmij wartość stałej elektrostatycznej  $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{C}^2}$  oraz wartość przyspieszenia ziemskiego  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

## Ćwiczenie 1



a)



b)

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

## Ćwiczenie 2



## Ćwiczenie 3



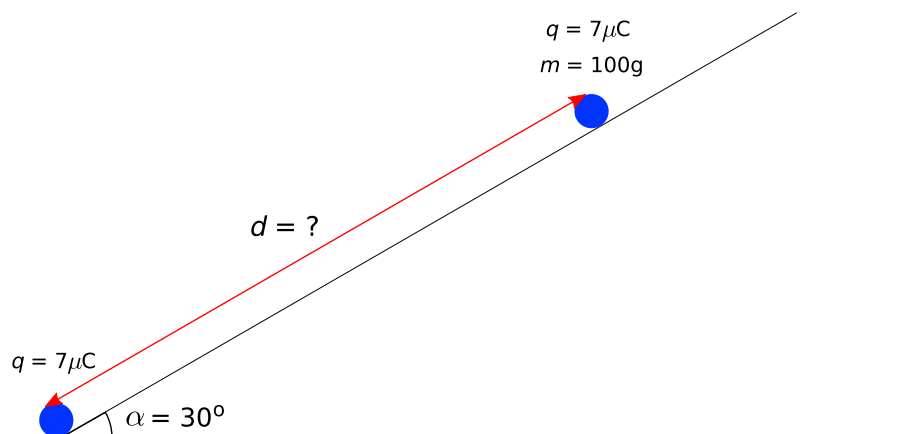
## Ćwiczenie 4



## Ćwiczenie 5

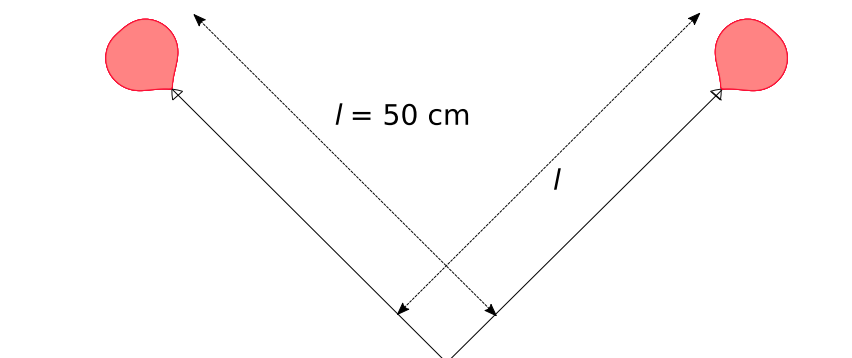


## Ćwiczenie 6



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

## Ćwiczenie 7



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

## Ćwiczenie 8



# Dla nauczyciela

---

<b>Imię i nazwisko autora:</b>	Jan Kamiński
<b>Przedmiot:</b>	Fizyka
<b>Temat zajęć:</b>	<b>O co chodzi w prawie Coulomba?</b>
<b>Grupa docelowa:</b>	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres podstawowy i 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 podstawowy</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>VI. Elektrostatyka. Uczeń:</p> <p>oblicza wartość siły wzajemnego oddziaływania ładunków, stosując prawo Coulomba.</p> <p><b>Zakres rozszerzony Treści nauczania - wymagania szczegółowe</b></p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:</p> <p>4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem;</p> <p>VII. Elektrostatyka. Uczeń:</p> <p>2) oblicza wartość siły wzajemnego oddziaływania ładunków stosując prawo Coulomba.</p>
<b>Kształtowane kompetencje kluczowe:</b>	<p><b>Zalecenie 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. formułuje prawo Coulomba;</li> <li>2. wymienia, od czego zależy siła wzajemnego przyciągania lub odpychania dwóch naładowanych elektrycznie ciał;</li> <li>3. objaśnia, w jaki sposób siła wzajemnego przyciągania lub odpychania dwóch naładowanych ciał zależy od odległości między nimi;</li> <li>4. stosuje prawo Coulomba do obliczenia siły oddziaływania między dwoma naładowanymi ciałami.</li> </ol>
<b>Strategie nauczania:</b>	odwrócona klasa
<b>Metody nauczania</b>	oglądanie animacji, samodzielne rozwiązywanie zadań, burza mózgów, wspólna analiza własnej pracy
<b>Formy zajęć:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- praca samodzielna w domu,</li> <li>- praca w parach,</li> <li>- praca indywidualna,</li> <li>- dyskusja na forum klasy.</li> </ul>
<b>Środki dydaktyczne:</b>	komputer i rzutnik z ekranem (do wyświetlania zadań)
<b>Materiały pomocnicze:</b>	-
<b>PRZEBIEG LEKCJI</b>	
<b>Faza wprowadzająca:</b>	
<p>Uczniowie mają za zadanie zapoznać się w domu z animacją. Nauczyciel zadaje pytanie:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Jak będą na siebie oddziaływać dwa ciała naładowane dodatnio?</li> </ul> <p>Uczniowie odpowiadają (być może po kilku naprowadzeniach):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Będą się odpychać.</li> </ul> <p>Nauczyciel kontynuuje dyskusję na temat jakościowego aspektu zależności siły kulombowskiej od odległości:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Czy ta siła odpychania będzie się zmieniać, jeśli zmienimy odległość między kulkami?</li> <li>- Przy zbliżaniu ciał siła rośnie czy maleje?</li> <li>- Co się stanie, gdy naładujemy kulki większym ładunkiem?</li> </ul>	
<b>Faza realizacyjna:</b>	

Nauczyciel mówi, że wnioski dotyczące zachowania ciał naładowanych można sformułować w postaci jednego prostego wzoru. Formułuje prawo Coulomba i zapisuje wzór na tablicy. Wyjaśnia, co oznaczają symbole we wzorze. Zwraca uwagę, że do wzoru podstawiamy wartości bezwzględne ładunków, a zwrot siły określamy osobno.

Następnie nauczyciel rozwiązuje wspólnie z uczniami zadania: 1-4 z zestawu interaktywnych ćwiczeń multimedialnych. Uczniowie chwilę zastanawiają się nad każdym zadaniem samodzielnie. Następnie przeprowadzane jest głosowanie nad odpowiedziami do wyboru. Jeśli uczniowie nie są pewni odpowiedzi, proszeni są o skonsultowanie rozwiązania z sąsiadem z ławki i głosowanie jest powtarzane.

#### **Faza podsumowująca:**

Uczniowie samodzielnie rozwiązują zadanie 5 z zestawu interaktywnych ćwiczeń multimedialnych. Na koniec nauczyciel rozwiązuje zadanie wzorcowo na tablicy.

Uczniowie mają za zadanie sprawdzić zadanie „koledze z ławki” i wystawić sobie oceny (nie będą one wpisane do dziennika! mają być tylko informacją zwrotną dla samych uczniów).

#### **Praca domowa:**

Uczniowie mają rozwiązać jedno zadanie spośród zadań 6-8 z zestawu ćwiczeń

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

Animację można wykorzystać, pokazując ją na lekcji uczniom, by zilustrować prawo Coulomba.

Można odtworzyć animację wraz z narracją lub odtwarzać tylko obraz, samemu komentując i odpowiadając na pytania uczniów, w razie potrzeby zatrzymując animację i wyjaśniając trudności.

Można również jako pracę domową zaproponować uczniom obejrzenie animacji i sporządzenie notatki (najlepiej z rysunkami).