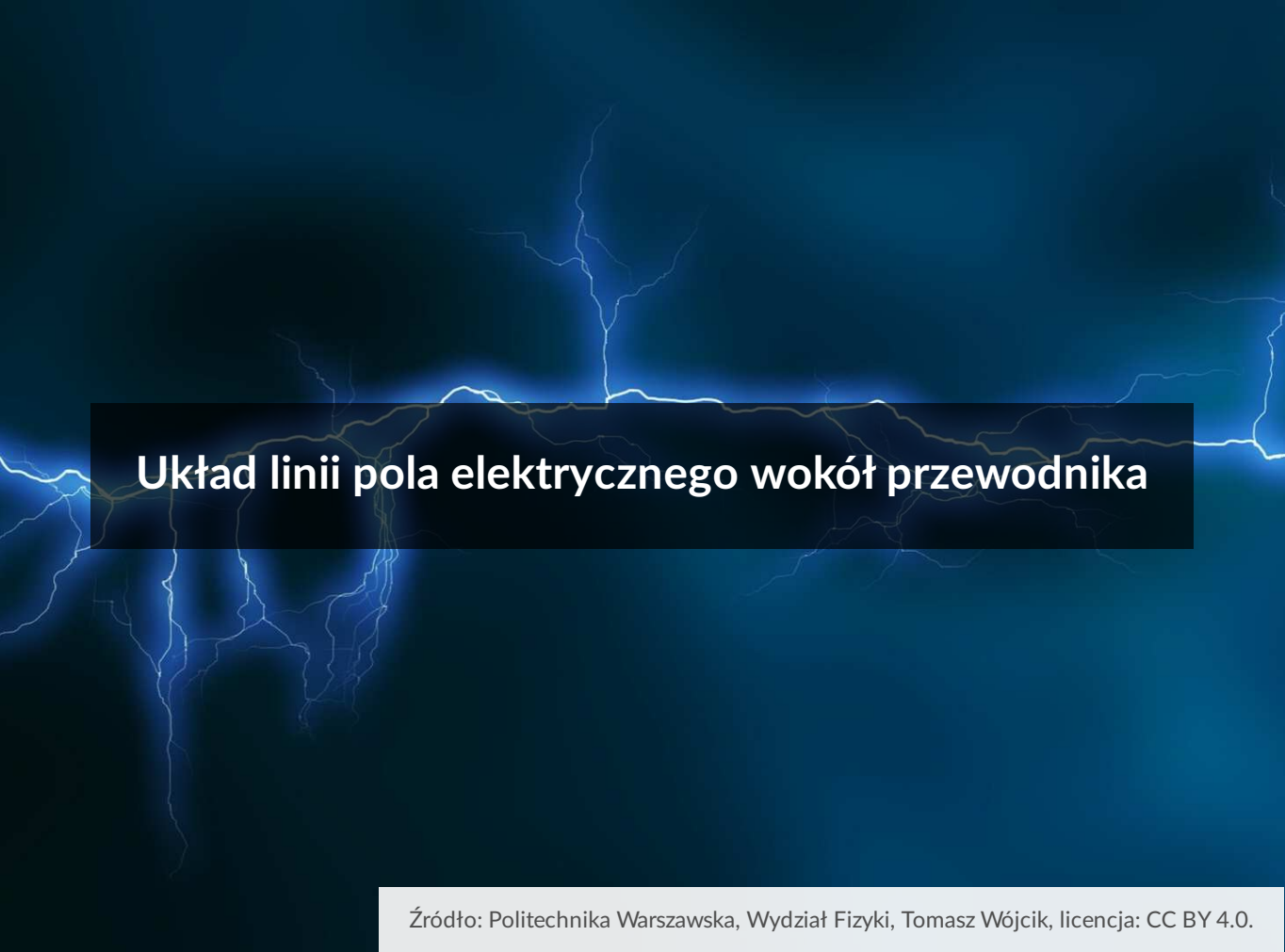




## Układ linii pola elektrycznego wokół przewodnika

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



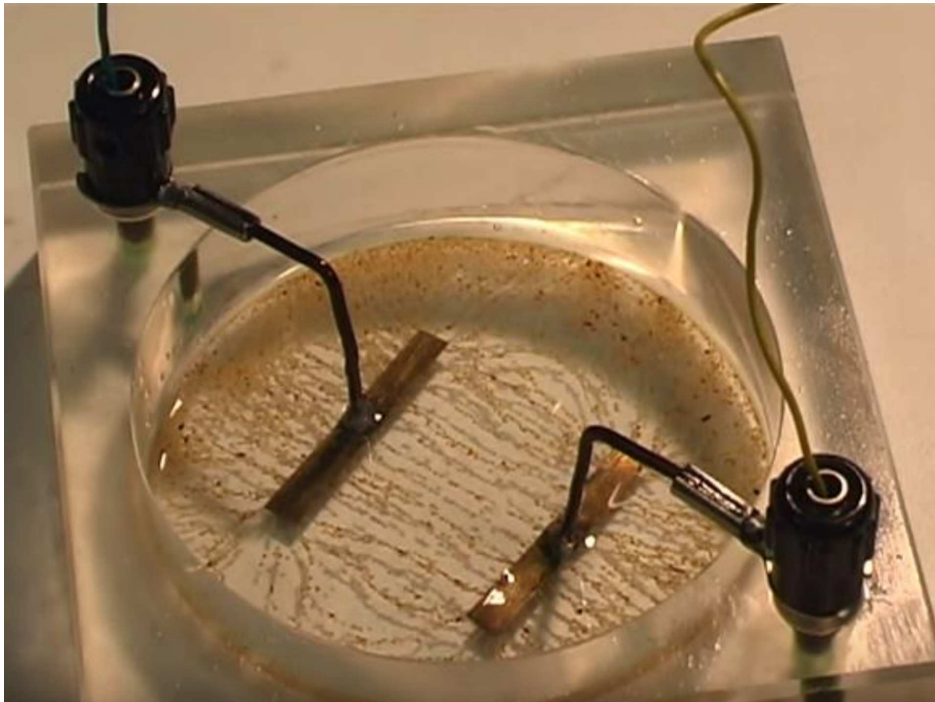
## Układ linii pola elektrycznego wokół przewodnika

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

### Czy to nie ciekawe?

Naładowany przewodnik wytwarza wokół siebie pole elektryczne. Czy ono jest widoczne? Po czym możemy poznać, że wokół przewodnika istnieje pole elektryczne?

Poniżej widzisz wyniki eksperymentu obrazujące linie sił pola. Nie jest to wynik symulacji, lecz rzeczywiście przeprowadzonego doświadczenia. W jaki sposób je przeprowadzono? Czy jesteś w stanie powtórzyć je w swojej klasie? Tego dowiesz się w tym materiale.



Rys. a. Eksperyment obrazujący linie sił pola

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

### **Twoje cele**

W tym materiale:

- dowiesz się, czym są linie sił pola elektrycznego,
- zobaczysz, jak układają się linie sił pola wokół naładowanego przewodnika,
- nauczysz się interpretować i analizować kształt linii pola elektrycznego.

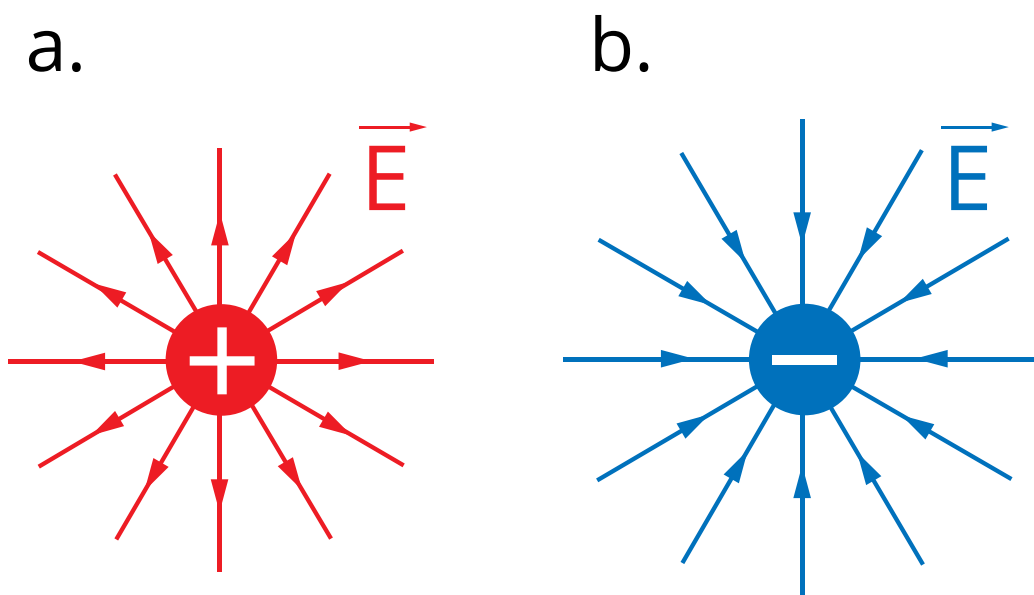
# Przeczytaj

---

## Warto przeczytać

Linie sił pola służą do graficznego przedstawienia pola elektrycznego. Wektor siły działającej na ładunek w polu elektrycznym w każdym miejscu jest styczny do linii sił pola.

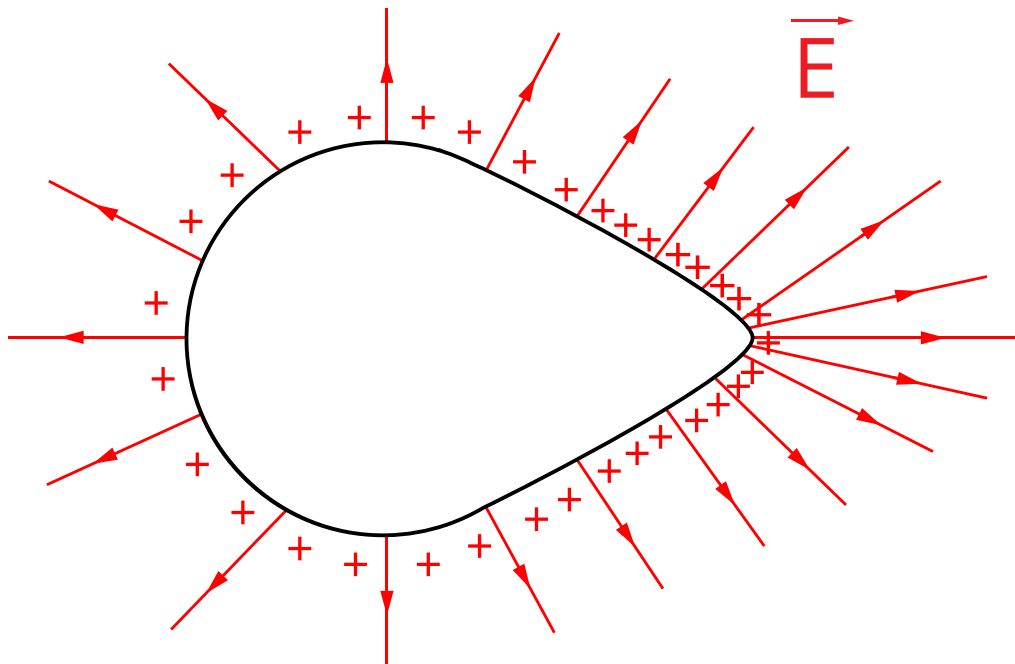
Dla pola elektrycznego wytworzonego przez ładunek punktowy linie te rozchodzą się promieniście. Przyjmujemy, że zwrot linii jest skierowany zgodnie z kierunkiem siły działającej na ładunek próbny, czyli dodatni. Zatem jeśli pole wytwarzane jest przez ładunek punktowy dodatni, to zwrot jest od ładunku, a jeśli przez ujemny to ku niemu (Rys. 1.).



Rys. 1. Rozkład linii sił pola wokół ładunku punktowego

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

Linie sił mogą obrazować pole nie tylko wokół ładunków punktowych, ale także wokół każdego **przewodnika**, który został naładowany elektrycznie. Do tej pory rozpatrywaliśmy przewodniki symetryczne. Zastanówmy się teraz, jak wygląda rozkład linii sił pola wokół przewodnika w kształcie ostrza. Na początku zauważmy, że na powierzchni o małym promieniu krzywizny gęstość ładunku jest dużo większa niż tam, gdzie promień krzywizny jest duży (jeśli chcesz wiedzieć, dlaczego tak się dzieje przeczytaj materiał „*Elektryzowanie ciała i rozkład ładunku na powierzchni elektryzowanych ciał*”). Czyli na ostrzu jest największa gęstość ładunku. Natężenie pola jest przy powierzchni przewodnika wprost proporcjonalne do gęstości ładunku. Im większa gęstość ładunku, tym większe natężenie pola, a więc gęściej ułożone są linie sił pola. Oznacza to, że na ostrzu linie sił pola ułożone są gęściej niż tam, gdzie promień krzywizny jest duży. Na Rys. 2. pokazano rozkład linii sił pola wokół ostrza na który naniesiono ładunek dodatni.



Rys. 2. Rozkład linii sił pola wokół ostrza, na które naniesiono ładunek dodatni

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

Zauważ jednak, że gęstość linii sił nie jest bezpośrednio powiązana z konkretną wartością ładunku na przewodniku – nie można na podstawie linii sił określić wartości ładunku lub gęstości ładunku.

Kolejnym ciekawym przypadkiem jest przewodnik pusty w środku (Rys. 3.). Kiedy przewodnik ma postać pustej w środku kuli, wówczas przekazywane mu ładunki gromadzą się na jego zewnętrznej powierzchni. Wewnątrz takiego przewodnika ładunki nie gromadzą się, więc nie występują tam linie sił pola.

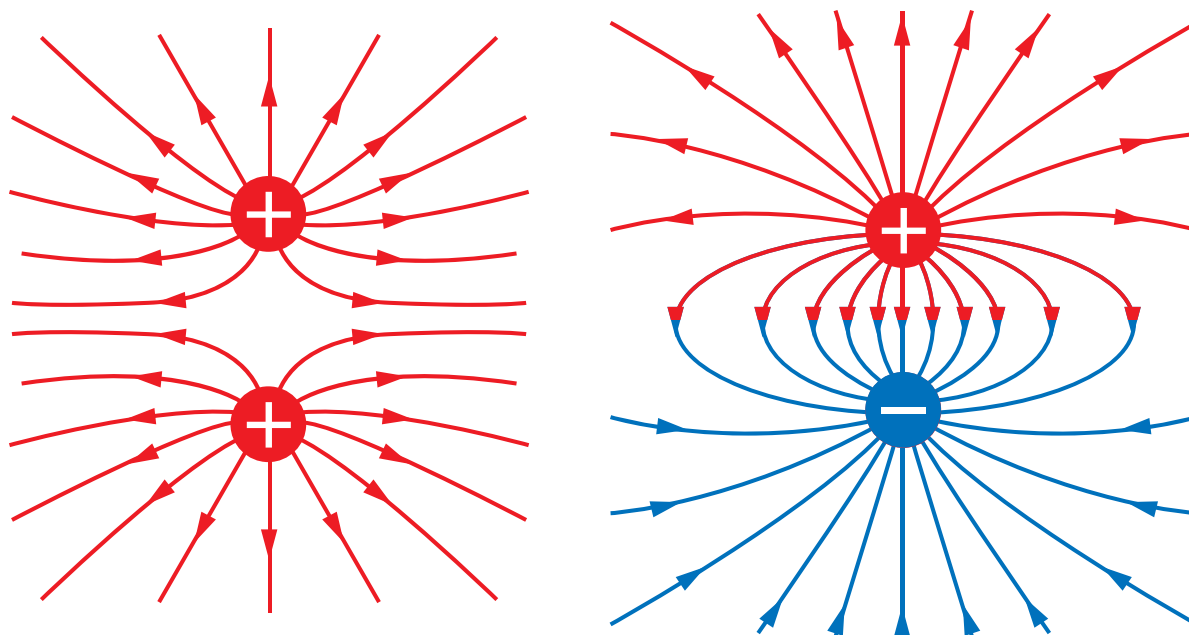
Linie te występują tylko na zewnętrznej powierzchni przewodnika, a ich zwrot zależy od znaku ładunku.



Rys. 3. Linie sił pola wewnątrz i na zewnątrz przewodnika pustego

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

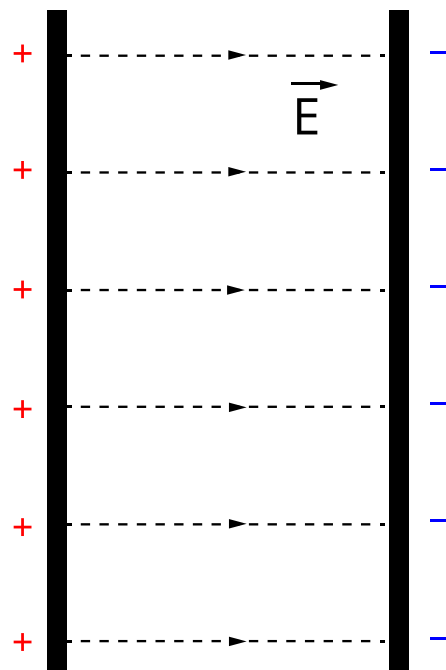
Na przebieg linii sił pola ma wpływ nie tylko kształt przewodnika, ale też oddziaływanie z innymi przewodnikami znajdującymi się w pobliżu. Jeśli mamy do czynienia z układem dwóch ładunków, to linie sił wyglądają jak na Rys. 4., to znaczy w przypadku ładunków różnoimiennych linie „wychodzą” od ładunku dodatniego i „wchodzą” do ładunku ujemnego. W przypadku ładunków jednoimiennych linie z jednego ładunku „odpychają” się od linii drugiego ładunku. Dobrym przykładem ładunku punktowego może być niewielkich rozmiarów metalowa kuleczka.



Rys. 4. Linie sił pola dla układu dwóch ładunków

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

Innym przykładem dwóch naładowanych różnoimiennie przewodników i pola między nimi jest układ dwóch równoległych do siebie płyt (tak ułożone przewodniki tworzą kondensator płaski). Linie sił w takim przypadku skierowane są od płyty naładowanej dodatnio do płyty naładowanej ujemnie (Rys. 5.). Linie te są do nich w dobrym przybliżeniu prostopadłe, a im bliżej brzegu płyt, tym gorsze jest to przybliżenie.

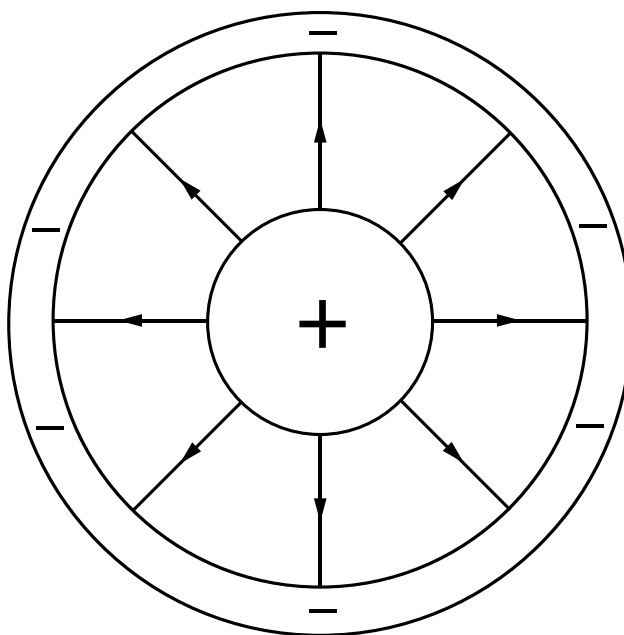


Rys. 5. Układ dwóch równoległych względem siebie naładowanych płyt

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

W powyższym przykładzie mieliśmy do czynienia z **polem jednorodnym**. A co, jeśli przewodniki nie będą ułożone równolegle do siebie? Rozpatrzmy przykład, w którym **elektrody** mają kształt kolisty. Niech kolistą elektrodą o promieniu  $R$  otacza kolistą elektrodę o promieniu  $r < R$  tak, że ich środki się pokrywają. Na elektrody te nanosimy ładunki o takiej samej wartości i przeciwnych znakach (Rys. 6.).

Linie sił rozchodzą promieniście od wewnętrznej elektrody do zewnętrznej i są skierowane od elektrody naładowanej dodatnio do elektrody o ładunku ujemnym.



Rys. 6. Elektrody o kształcie kolistym

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

Linie sił zwykle rysujemy jako symboliczne zobrazowanie pola. Ale czy jesteśmy w stanie je zobaczyć podczas doświadczeń fizycznych? Owszem, możemy to zrobić, na przykład umieszczając elektrody w zawieszynie kaszy w oleju. Po podłączeniu maszyny elektrostatycznej do tych elektrod elektryzujemy je różnoimiennie. Wytworzone w ten sposób pole elektryczne powoduje ruch ziarenek kaszy, które układają się zgodnie z liniami sił pola. Na Rys. 7. pokazano wyniki takiego eksperymentu dla pojedynczej naładowanej elektrody.



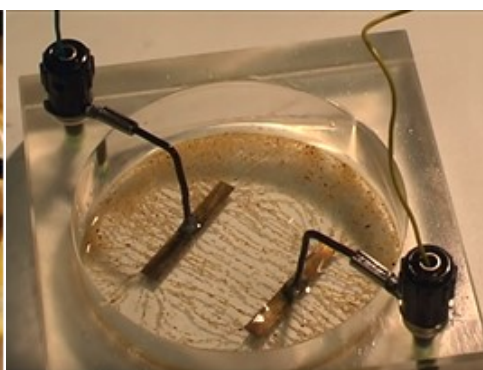
Rys. 7. Demonstracja linii pola elektrycznego z pomocą pojedynczej elektrody

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

Natomiast na Rys. 8. pokazano wyniki analogicznego eksperymentu dla dwóch naładowanych różnoimiennie przewodników: kolistych (mogą w przybliżeniu obrazować ładunki punktowe) (Rys. 8a), płaskich ułożonych równoległe (Rys. 8b) oraz kolistych ułożonych koncentrycznie (Rys. 8c).



a



b



c

Rys. 8. Eksperyment dla dwóch naładowanych różnoimiennie przewodników: kolistych (a), płaskich ułożonych równoległe (b) oraz kolistych ułożonych tak, że ich środki się pokrywają (c)

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

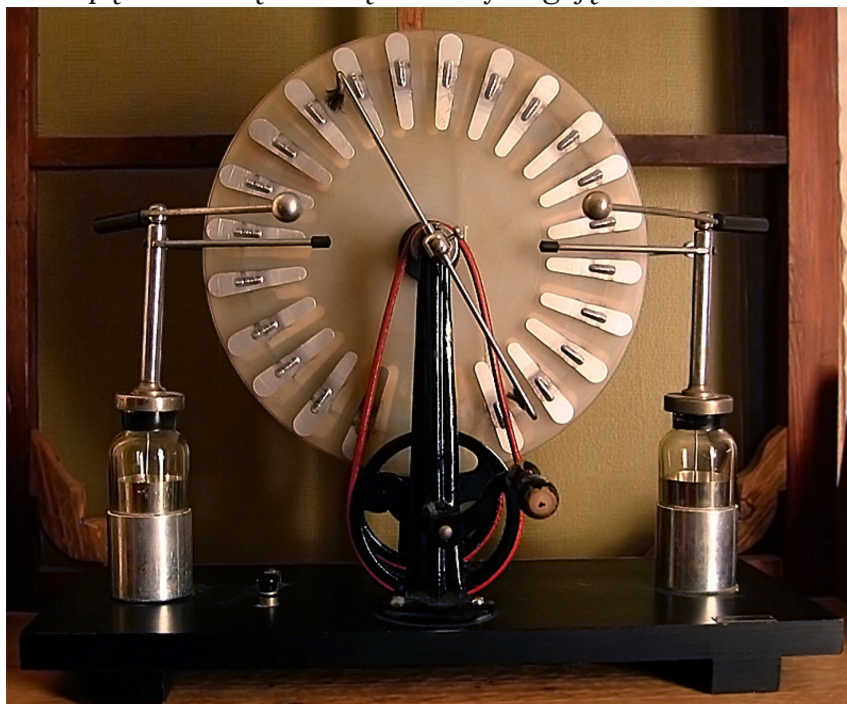
Jeśli w szkole dysponujecie **maszyną elektrostatyczną**, możecie sami wykonać ten eksperyment. Jako elektrod można użyć odpowiednio wygiętych kawałków drutu (należy pamiętać, aby zdjąć izolację z drutu w miejscu styku z kablem podłączonym do maszyny elektrostatycznej oraz w miejscu zanurzonego w oleju).

Fotografie pokazują, że linie pomiędzy dwoma płytkami są równoległe i taki obraz jest ilustracją pola jednorodnego, czyli pola, które ma jednakowe natężenie w każdym punkcie. W wypadku pola wytworzonego przez pojedynczą elektrodę (ładunek punktowy) linie ułożone są promieniście. Jest to dobre wyobrażenie pola niejednorodnego, centralnego.

## Słowniczek

### Maszyna elektrostatyczna

(ang. *electrostatic generator*) – prosta maszyna służąca do wytwarzania i ładunków elektrycznych, które następnie są magazynowane za pomocą butelek lejdejskich. Maszyny te zwykle napędzane są korbką i nie wymagają zasilania z sieci.



Źródło: dostępny w internecie: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wimshurst.jpg> [dostęp 2.07.2022], domena publiczna.

### Elektroda

(ang. *electrode*) – przewodnik elektryczny, często używany jako końcowy element układu elektrycznego, mogący służyć między innymi do kształtowania pola elektrycznego w swoim otoczeniu.

### Przewodnik

(ang. *conductor*) – materiał mogący przewodzić prąd elektryczny, na przykład żelazo, złoto, grafit.

### Pole jednorodne

(ang. *uniform field*) – pole, którego wektor natężenia ma wszędzie taki sam kierunek, zwrot i wartość.

# Symulacja interaktywna

---

## Układ linii pola elektrycznego wokół przewodnika

W poniższej symulacji masz dostępne dwa ładunki punktowe w odległości  $t$  od siebie. Możesz wybrać ich znak (dodatni, ujemny). Sprawdź, jak ładunki oddziałują na siebie. Zaleca się korzystanie w trybie pełnoekranowym.

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

### Polecenie 1

W warunkach równowagi elektrostatycznej nadmiarowy ładunek w przewodniku gromadzi się na jego powierzchni. Czy to oznacza, że wszystkie elektrony przewodnictwa w przewodniku znajdują się na powierzchni?

### Polecenie 2

Wyobraź sobie kulę naładowaną dodatnio na całej jej powierzchni. Co się zmieni, gdy na zewnątrz kuli umieścimy inne naładowane obiekty?

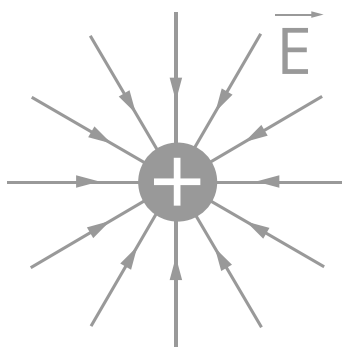
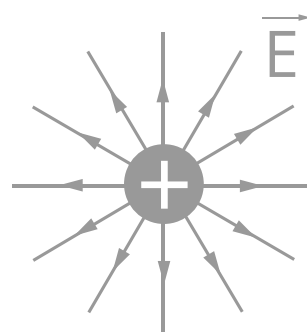
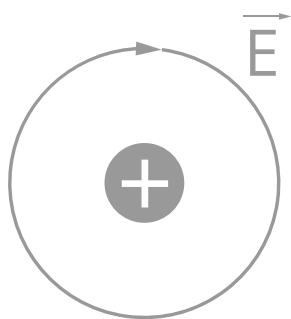
# Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

## Ćwiczenie 1



Poniżej widzisz trzy rysunki. Który z nich poprawnie przedstawia linie sił pola wokół dodatniego ładunku punktowego?

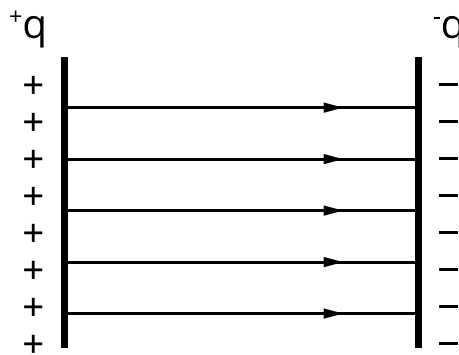
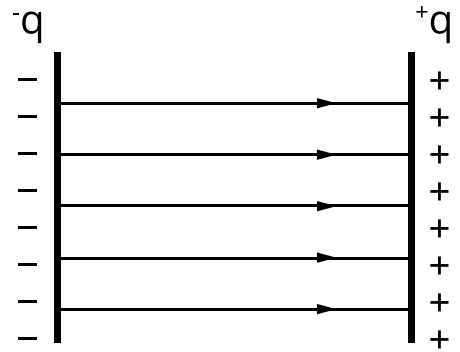
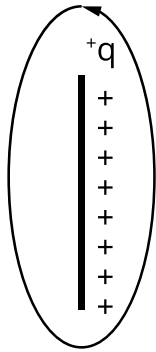
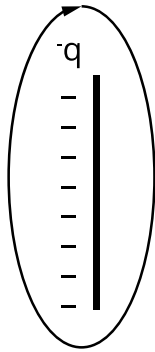


Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

## Ćwiczenie 2



Na którym z poniższych rysunków prawidłowo przedstawiono linie jednorodnego pola elektrostatycznego?



### Ćwiczenie 3



Wskaż zdanie/zdania prawdziwe:

Jeśli przewodnik ma kształt ...

- ☐ pustego cylindra, to wewnątrz tego cylindra nie występuje pole elektryczne – nie ma linii sił pola.
- ☐ ostrza, to na czubku ostrza gęstość linii sił pola jest największa.
- ☐ ostrza, to na czubku ostrza gęstość linii sił pola jest najmniejsza.
- ☐ pustego cylindra, to wewnątrz tego cylindra gęstość linii sił pola jest największa.

### Ćwiczenie 4



W jakiej sytuacji zmieni się układ (kształt lub zwrot) linii sił pola? Wskaż zdanie/zdania prawdziwe:

- ☐ Gdy zmienimy kształt przewodnika
- ☐ Gdy w pobliżu umieścimy inny przewodnik naładowany ładunkiem tego samego znaku
- ☐ Gdy przewodnik prostoliniowy zwiniemy w pętlę
- ☐ Gdy w pobliżu umieścimy inny przewodnik naładowany ładunkiem o przeciwnym znaku

## Ćwiczenie 5



Połącz poprawnie w pary początek i koniec zdania:

|                        |                                                                  |
|------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Kształt przewodnika    | wpływa na kształt linii sił pola                                 |
| Kształt linii sił pola | zależy od znaku ładunku na przewodniku                           |
| Zwrot linii sił pola   | zależy od wartości ładunku na przewodniku i kształtu przewodnika |
| Gęstość linii sił pola | zależy od przewodników znajdujących się w pobliżu                |

## Ćwiczenie 6



Chcesz doświadczalnie zaprezentować linie sił pola elektrycznego. Wybierz trzy rzeczy z niżej podanej listy, które będą ci potrzebne tym doświadczeniu:

- ☐ drobna kasza
- ☐ skrawki papieru
- ☐ kawałek jedwabiu
- ☐ maszyna elektrostatyczna
- ☐ opiłki metalu
- ☐ piasek
- ☐ olej
- ☐ woltomierz

## Ćwiczenie 7



Uzupełnij zdanie wstawiając hasła w odpowiednie pola:

Odpowiedź:

“Linie sił pola skierowane są od ładunku  do . W przypadku ładunku punktowego linie te rozchodzą się .

prostopadle

dodatniego

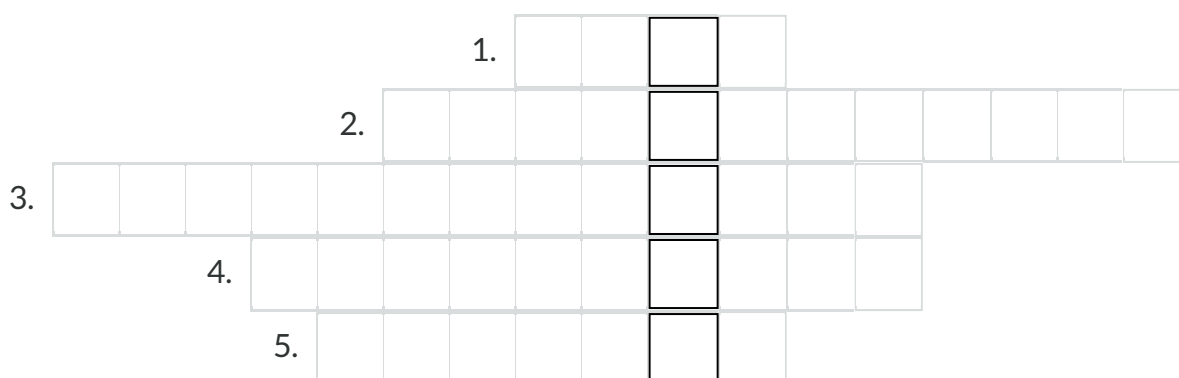
ujemnego

promieniście

## Ćwiczenie 8



Rozwiąż krzyżówkę



1. Może być elektryczne, magnetyczne lub uprawne.
2. Linie sił pola wokół punktowego naładowanego przewodnika układają się ...
3. Kierunek linii sił pola ... pokrywa się z kierunkiem wektora natężenia pola.
4. Linie sił pola wokół ładunku ... skierowane są na zewnątrz (od środka).
5. Może być dodatni lub ujemny.

# Dla nauczyciela

---

|                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Imię i nazwisko autora:</b> | Martyna Jakubowska                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Przedmiot:</b>              | Fizyka                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Temat zajęć:</b>            | <b>Układ linii pola elektrycznego wokół przewodnika</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>7) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach.</p> <p>VI. Elektrostatyka. Uczeń:</p> <p>6) doświadczalnie:</p> <p>a) ilustruje pole elektryczne oraz układ linii pola wokół przewodnika.</p> <p><b>Zakres rozszerzony</b></p> <p><b>Treści nauczania – wymagania szczegółowe</b></p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:</p> <p>7) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach.</p> <p>VII. Elektrostatyka. Uczeń:</p> <p>13) doświadczalnie:</p> <p>a) ilustruje pole elektryczne oraz układ linii pola wokół przewodnika.</p> |

|                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <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. określa czym są linie sił pola elektrycznego,</li> <li>2. omawia, jak układają się linie sił pola wokół naładowanego przewodnika,</li> <li>3. tłumaczy, czym różnią się linie sił pola wokół przewodnik naładowanego dodatnio i wokół przewodnika naładowanego ujemnie.</li> </ol>                                                                    |
| <b>Strategie nauczania:</b>                                                                                                                                                        | blended-learning                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Metody nauczania:</b>                                                                                                                                                           | nauczanie hybrydowe                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Formy zajęć:</b>                                                                                                                                                                | symulacja/model 3D, praca w grupach                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Środki dydaktyczne:</b>                                                                                                                                                         | komputer dla każdego ucznia, długopis                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Materiały pomocnicze</b>                                                                                                                                                        | –                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>PRZEBIEG LEKCJI</b>                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Faza wprowadzająca:</b>                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <p>W ramach pogadanki wstępnej, uczniowie przypominają, co to jest pole elektrostatyczne, przewodnik i elektroda.</p> <p>Przeczytanie i omówienie pkt I „Czy to nie ciekawe?”.</p> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Faza realizacyjna:</b>                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

Uczniowie samodzielnie czytają tekst „Warto przeczytać”.

Uczniowie wykorzystując zdobytą wiedzę rozwiązują zadania z punktu „Sprawdź się”. Nauczyciel pyta uczniów, gdzie według nich linie pola elektrycznego mają początek. Uzgadniają, że mają one swój początek w ładunkach dodatnich lub biegną z nieskończoności, kończąc się na ładunkach ujemnych lub biegną do nieskończoności. Następnie nauczyciel pyta, czy linie sił pola przecinają się. Oczywiście nigdy się nie przecinają. Ponieważ linie pola elektrycznego pokazują kierunek pola w danym punkcie, to gdyby dwie linie przecinały się w tym punkcie, oznaczałoby to, że mamy do czynienia z polem elektrycznym skierowanym w dwie różne strony w jednym punkcie. To z kolei oznaczałoby, że (wypadkowa) siła działająca na ładunek próbny umieszczony w tym punkcie jest skierowana w różne strony. Ponieważ jest to z oczywistych powodów niemożliwe, to linie pola elektrycznego nie mogą się przecinać.

Teraz nauczyciel może zainteresować uczniów praktycznymi zastosowaniami elektrostatyki. Tłumaczy, jak działa kserokopiarka, jak na aluminiowy bęben kopiarki, pokryty warstwą selenu, rozpylany jest ładunek dodatni. Selen ma bardzo interesujące właściwości – jest fotoprzewodnikiem, co oznacza, że w ciemności ma właściwości izolatora, natomiast pod wpływem ekspozycji na światło staje się przewodnikiem. W pierwszym etapie kopiowania bęben jest uziemiony, dlatego w obecności dodatnio naładowanej warstwy selenu cały ujemny ładunek odpływa z bębna do ziemi. Następnie obraz kopiowanego kształtu jest nanoszony na bęben. W obszarach, w których obraz jest jasny, selen staje się przewodzący i dodatni ładunek na bębnie zostaje zneutralizowany. W obszarach ciemnych nadmiarowy ładunek dodatni pozostaje, w ten sposób mamy utrwalony obraz kopiowanego kształtu.

W trzecim etapie czarny (lub kolorowy) proszek obdarzony ładunkiem ujemnym, nazywany tonerem, jest rozpylany na powierzchnię bębna i przyciągany do dodatnio naładowanych obszarów na selenowej powierzchni bębna. Następnie kartka papieru, na której zgromadzono ładunek dodatni większy niż ten na bębnie kopiarki, jest przykładana do bębna za pomocą odpowiedniego zestawu rolek. Cząsteczki tonera są odrywane od bębna i przenoszone na papier.

Teraz czas na uczniów, jakie jeszcze znają zastosowania elektrostatyki. Okazuje się, że zjawiska elektrostatyczne są powszechnie wykorzystywane w wielu praktycznych urządzeniach, nie tylko kserokopiarkach, ale też drukarkach laserowych i atramentowych oraz filtrach elektrostatycznych (np. w oczyszczaczach powietrza).

**Faza podsumowująca:**

Uczniowie dzielą się na 4 grupy.

Uczniowie w grupach omawiają rozwiązania zadań z rozdziału „Sprawdź się”, wspólnie zastanawiając się nad zadaniami, które sprawiły im trudność. Każda z grup omawia dwa zadania „na forum klasy”.

Nauczyciel sprawdza, które zadania sprawiły uczniom kłopot i dlaczego.

Poprzez analizę wypowiedzi uczniów nauczyciel określa, w jakim stopniu osiągnięte zostały wyznaczone cele.

**Praca domowa:**

Nauczyciel wcześniej przygotowuje pulę zadań podobnych do zadań z części „Sprawdź się” o zróżnicowanym stopniu trudności. Po przeanalizowaniu wyników testu „Sprawdź się” i uwag uczniów odnośnie zadań, które sprawiły im największą trudność, nauczyciel wybiera trzy analogiczne do zadań, z którymi uczniowie mieli problemy.

**Wskazówki  
metodyczne  
opisujące różne  
zastosowania danego  
multimedium**

Multimedium może być wykorzystane po lekcji do powtórzenia i utrwalenia wiadomości.