



Szlak Zabytków Techniki



LEKCJA MUZEALNA

Materiały dla nauczyciela



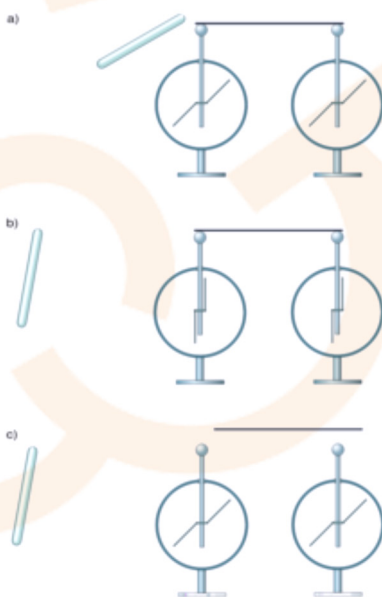
Źródło: <http://wiki.wolnepodreczniki.pl/Fizyka:Gimnazjum/Elektrostatyka>

Elektryzowanie przez indukcję

Wiesz już, że ładunki jednoimienne się odpychają, a różnoimienne się przyciągają. W praktyce można zaobserwować jeszcze jedno zjawisko, a mianowicie: przyciąganie się ciał obojętnych i ciał naelektryzowanych (zarówno ładunkiem dodatnim, jak i ujemnym). Jest to spowodowane **elektryzowaniem przez indukcję** (inaczej **elektryzowaniem przez wpływ**). Przykładem takiego zjawiska jest przyciąganie przez ciało naelektryzowane wahadełka wykonanego z przewodnika — było to jedno z pierwszych doświadczeń przeprowadzonych przez Ciebie w trakcie nauki elektrostatyki.

Doświadczenie 10

Do wykonania kolejnego doświadczenia będą Ci potrzebne: dwa elektroskopy, metalowy pręt z izolowanym uchwytem oraz ciało, które będziesz mógł w łatwy sposób naelektryzować. Elektroskopy połączone (jak na rysunku) metalowym prętem są początkowo obojętne. Do jednego z nich zbliż naładowane ciało — jedynie zbliż i uważaj, aby między ciałem a elektroskopem nie przeskoczyła iskra elektryczna tzn. żeby nie nastąpiło przejście przez powietrze ładunków między ciałem a elektroskopem. Co się dzieje? A co się stanie, gdy odsuniesz naelektryzowane ciało? Wskazówki odchylają się w obydwu elektroskopach, ponieważ elektroskopy zostały naelektryzowane. Gdy usuniesz naelektryzowane ciało, wskazówki opadną, co świadczy o rozładowaniu elektroskopów. Ponownie zbliż do jednego z elektroskopów naelektryzowany przedmiot. Gdy wskazówki znów się odchyliły, usuń łączący je pręt, a następnie naelektryzowane ciało. Co stanie się tym razem?





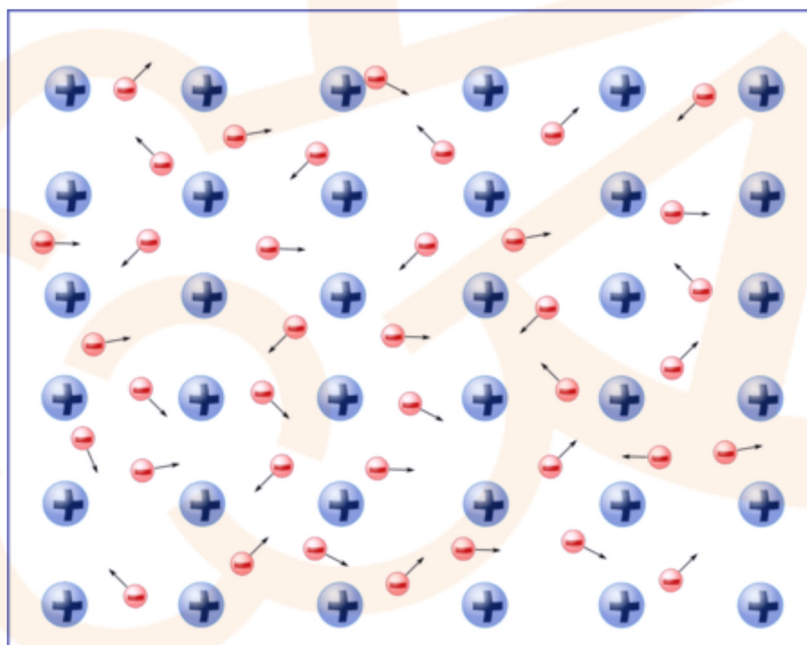
Wskazówki pozostaną odchylone, co świadczy o naelektryzowaniu elektroskopów. Gdy ponownie połączysz kulki elektroskopów prętem, wskazówki opadną — elektroskopy pozostaną obojętne.

Wyniki powyższego doświadczenia pozwalają wyciągnąć następujące wnioski:

- 1) elektryzowanie przez wpływ jest nietrwale (po odsunięciu naładowanego ciała w pierwszej części doświadczenia wskazówki elektroskopów opadły);
- 2) elektroskopy elektryzują się ładunkami jednakowymi co do wartości, ale o przeciwnym znaku — po ponownym połączeniu elektroskopów w drugiej części doświadczenia, wskazówki elektroskopów opadły, czyli ładunek z jednego elektroskopu zneutralizował ładunek drugiego.

Ponadto można stwierdzić, że na elektroskopie, do którego zbliżyłaś/-eś naelektryzowane ciało, znajdują się ładunki o znaku przeciwnym niż znak ładunku ciała, a na elektroskopie stojącym dalej — ładunek o tym samym znaku, co ładunek ciała.

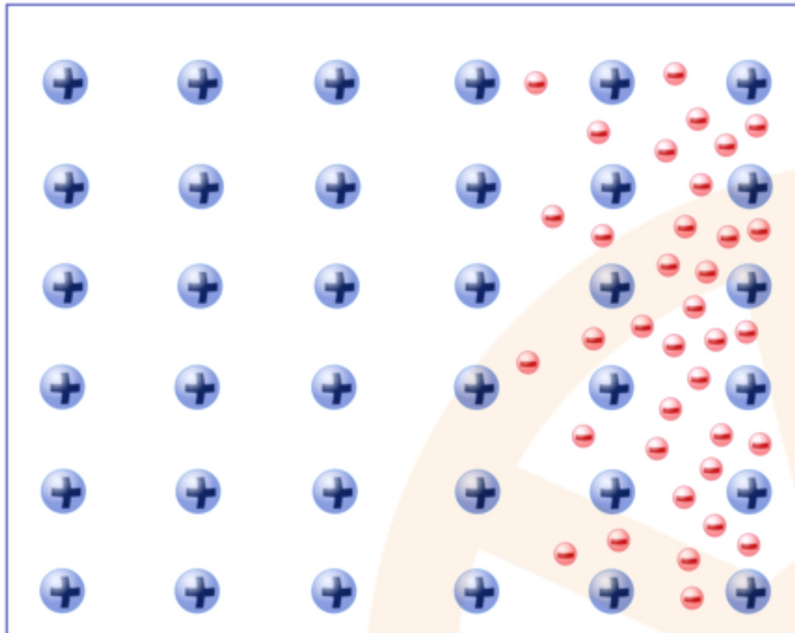
Jak wyjaśnić obserwowane zjawisko na gruncie mikroskopowej budowy materii? Wiesz już, że w metalach mamy dwa rodzaje ładunków elektrycznych: znajdujące się w węzłach sieci krystalicznej dodatnie jony i poruszające się swobodne elektrony.



Swobodne elektrony są rozmieszczone równomiernie w całej objętości metalu.



Metal jest elektrycznie obojętny. Spróbuj zbliżyć do jednego z jego końców przedmiot ujemnie naelektryzowany, podobnie jak w doświadczeniach z elektroskopami.



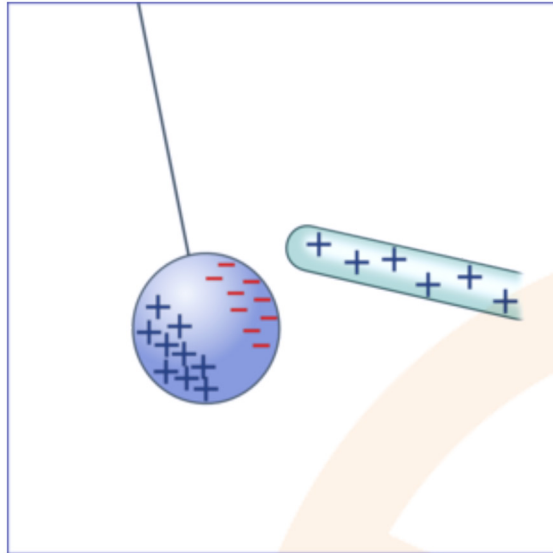
Zewnętrzny ładunek odepchnął elektrony, w wyniku czego w lewej części metalu jest ich teraz mniej. Lewa część wykazuje ładunek dodatni, a prawa, gdzie elektronów jest nadmiar — ładunek ujemny. Gdy zbliżysz do metalu ładunek dodatni, sytuacja będzie odwrotna. Jeżeli oddalimy ładunek zewnętrzny, elektrony powrócą na swoje miejsce.

Teraz już rozumiesz, dlaczego elektryzowanie przez wpływ jest nietrwałe. W odróżnieniu od elektryzowania przez potarcie czy dotyk, gdzie elektrony przechodziły z jednego ciała na drugie, przy elektryzowaniu przez wpływ następuje jedynie przemieszczanie ładunków w obrębie tego samego ciała.

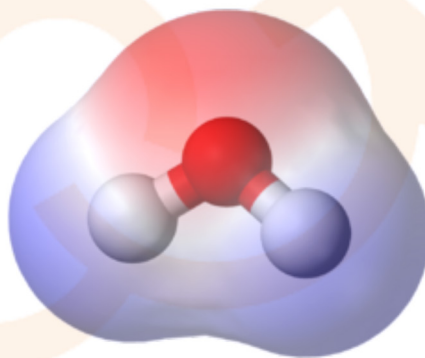
Po zbliżeniu naładowanego ciała, ładunki w metalu się rozsunęły. Pozwala to zrozumieć, dlaczego naelektryzowana laska przyciągała zbliżane do niej wahadełko pokryte metalową folią. Z powodu elektryzowania przez indukcję, znajdująca się bliżej laski strona wahadełka elektryzowała się ładunkiem przeciwnego znaku niż ładunek znajdujący się na lasce. Dalsza część wahadełka elektryzowała się tym



samym ładunkiem (patrz rysunek). Zgodnie z prawem Coulomba siła przyciągająca wahadełko będzie większa niż siła odpychająca.



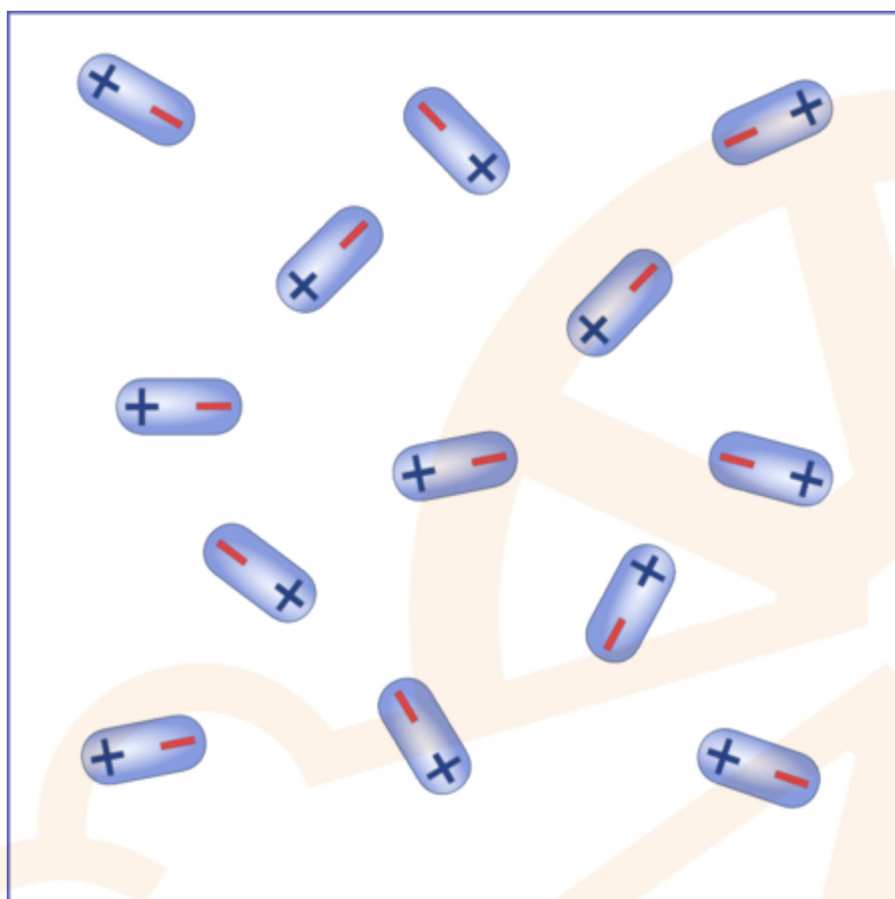
Wiesz już, jak przez indukcję elektryzują się przewodniki. Widziałas/-eś jednak, że czasami przyciągane są również ciała, które nie są przewodnikami, np. skrawki papieru. W odróżnieniu od metali, w dielektrykach nie ma swobodnych ładunków elektrycznych. Elektrony i protony w atomach są związane siłami przyciągania elektrostatycznego. Atomy i składające się z nich cząsteczki są elektrycznie obojętne. Niektóre dielektryki mają budowę dipolową. Oznacza to, że w cząsteczkach, z których są zbudowane, ładunek rozłożony jest nierównomiernie. Cząsteczka taka, mimo że elektrycznie obojętne, ma więcej ładunku dodatniego z jednej strony, a z drugiej — więcej ładunku ujemnego. Taką dipolową naturę mają np. cząsteczki wody.



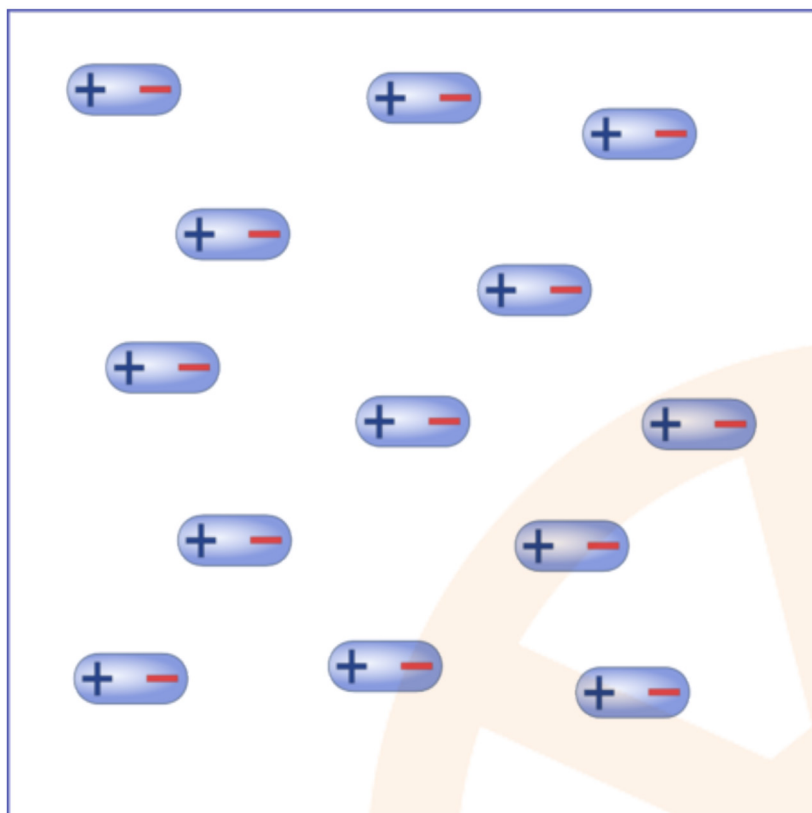
W cząsteczce wody ładunek rozłożony jest nierównomiernie. Czerwony kolor ilustruje przewagę ładunku ujemnego, niebieski — dodatniego.



Jeśli zbudowane z dipoli ciało znajduje się daleko od ciała naładowanego, dipole rozmieszczone są chaotycznie.



Gdy zbliżysz do niego naelektryzowany przedmiot, wszystkie dipole pod wpływem siły Coulomba ustawią się w jednym kierunku. Mówimy, że ciało uległo polaryzacji. W wyniku polaryzacji ładunki o znaku przeciwnym do ładunku naelektryzowanego ciała będą bliżej, a ładunki przeciwne dalej. Ponieważ siła Coulomba maleje wraz z odległością, przyciąganie będzie silniejsze niż odpychanie i ciało, mimo że elektrycznie obojętne, będzie przyciągane.



Nieco inaczej następuje polaryzacja w ciałach, w których atomy i cząsteczki nie są dipolami. Z dala od naładowanego ciała takie atomy i cząsteczki nie wykazują istnienia ładunku elektrycznego, ponieważ środek ciężkości ujemnego ładunku otoczki elektronowej przypada dokładnie w środku atomu, gdzie znajduje się dodatnie jądro. Jeżeli atom znajdzie się w pobliżu ciała naładowanego, to na elektrony i jądro atomu zadziałają siły przeciwnie skierowane, co spowoduje deformację atomu i przesunięcie dodatniego ładunku jądra i środka ujemnego ładunku elektronów na niewielką odległość. Atom stanie się dipolem i będzie się zachowywał tak, jak dielektryki o budowie dipolowej.

Pytania:

1. Na czym polega elektryzowanie przez indukcję?
2. Co można zaobserwować, gdy do bardzo słabego strumienia wody zbliżymy ciało naelektryzowane? Jak to wyjaśnisz?
3. Gdy zbliżamy do wahadła naelektryzowane ciało, to kulka wahadła zostanie przez to ciało przyciągana. Zjawisko to zachodzi zarówno wtedy, gdy zbliżamy naładowaną dodatnio łaskę szklaną, jak i wtedy, gdy zbliżamy naładowaną ujemnie łaskę ebonitową. Jeżeli podczas tych



doświadczeń kulka dotknie lasek, to natychmiast od nich odskoczy.
Wyjaśnij przebieg tego doświadczenia.

Pole elektrostatyczne

Aby mogło dojść do oddziaływania mechanicznego, konieczne jest zetknięcie się ciał. Wyjątek stanowią oddziaływania grawitacyjne, które mogą zachodzić na odległość. W przypadku oddziaływania ładunków elektrycznych również może się to zdarzyć - dzięki polom elektrycznym.

Ważne

Polem elektrycznym nazywamy taką cechę przestrzeni, która powoduje, że na każdy umieszczony w niej ładunek elektryczny działa siła.

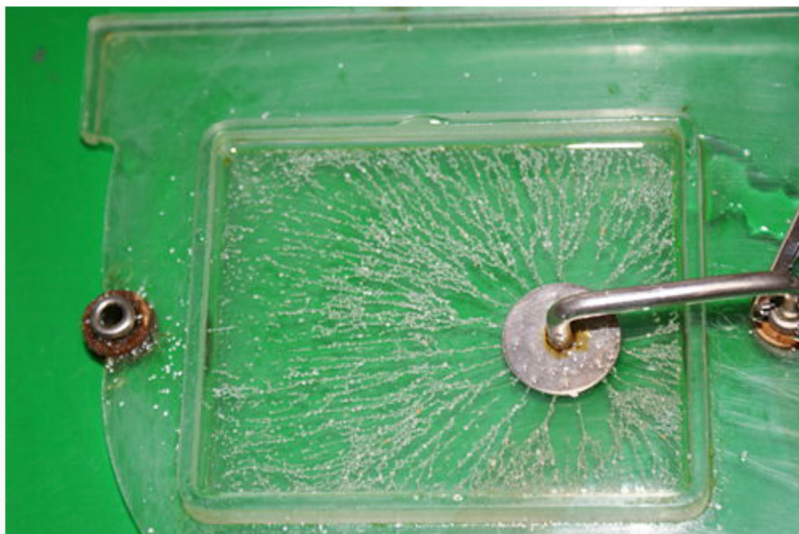


maszyna elektrostatyczna

O polu elektrostatycznym mówimy wtedy, gdy nie zmienia się ono wraz z upływem czasu. Takie pole wytwarzane jest przez ładunki pozostające w spoczynku. Aby zilustrować wpływ ładunku na otaczającą przestrzeń, wykonajmy proste doświadczenie. Użyjemy w nim maszyny elektrostatycznej, która wykorzystując zjawiska elektryzowania przez tarcie i elektryzowania przez indukcję, może rozdzielać i gromadzić ładunki elektryczne.

Doświadczenie 11

Do płaskiego naczynia (może być talerz) wlej trochę oleju. Następnie końcem przewodnika połączonego z jedną kulką maszyny elektrostatycznej dotknij powierzchni oleju na środku talerza. W ten sposób do miejsca dotknięcia doprowadzasz ładunek elektryczny, który wytwarza pole elektrostatyczne. Następnie posyp powierzchnię oleju ziarenkami kaszy manny lub kryształkami gipsu. Zobacz, jak się polaryzują i ustawiają zgodnie z kierunkiem sił działających w tym polu.



Doświadczenie 12

Jeżeli chcesz uzyskać obraz linii pola wytworzonego przez dwa ładunki, dotknij powierzchni oleju końcami dwóch przewodników połączonych z dwiema kulkami maszyny elektrostatycznej.



W wyżej opisanych przykładach ciała ustawiały się pod wpływem sił na nie działających. Do opisu pola elektrycznego dobrze jest wprowadzić pojęcie linii pola, czyli linii pokazujących, jak działać będzie siła na znajdujący się w danym miejscu

ładunek. Umownie przyjęto, że zwrot linii sił wyznaczać będzie siła działająca na ładunki dodatnie. Kierunek sił działających w każdym punkcie pola wyznaczają styczne do tych linii w każdym punkcie.

W celu dokładniejszego opisu pola elektrostatycznego należy wprowadzić pojęcie natężenia pola:

Ważne

Natężeniem pola elektrostatycznego w danym punkcie przestrzeni nazywamy stosunek siły elektrostatycznej działającej na dany ładunek umieszczony w tym punkcie do wartości tego ładunku:

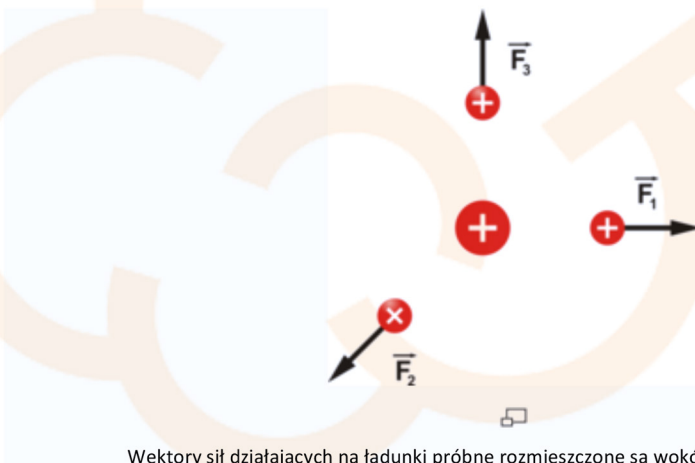
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

Natężenie możemy określić w każdym punkcie przestrzeni. Zastanówmy się, na przykład, jakie jest natężenie pola wytworzonego przez punktowy ładunek dodatni Q . W tym celu umieszczamy w polu ładunek próbny (niewielki ładunek dodatni q , który nie zaburzy badanego pola). Na ładunek działa siła, której kierunek i zwrot określamy zgodnie z prawem Coulomba (ładunek jest odpychany wzdłuż prostej łączącej oba ładunki), a jej wartość wynosi:

$$F = k \cdot \frac{Q \cdot q}{r^2}$$

Przez r oznaczyliśmy odległość między ładunkami.

Poniższy rysunek pokazuje siły działające na ładunek q umieszczony po kolei w kilku punktach przestrzeni.

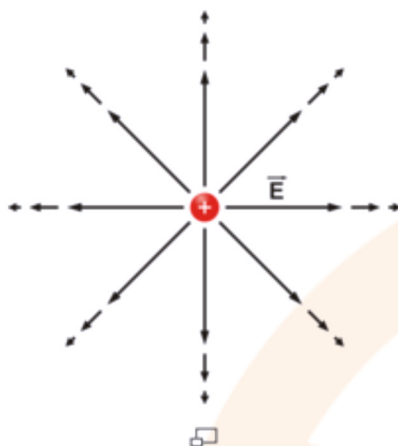


Wektory sił działających na ładunki próbne rozmieszczone są wokół ładunku punktowego.

Kierunek i zwrot natężenia pola w danym punkcie będzie taki jak kierunek i zwrot siły działającej na ładunek dodatni. Wartość natężenia liczymy zgodnie z jego definicją, dzieląc wartość siły przez wartość ładunku próbnego:

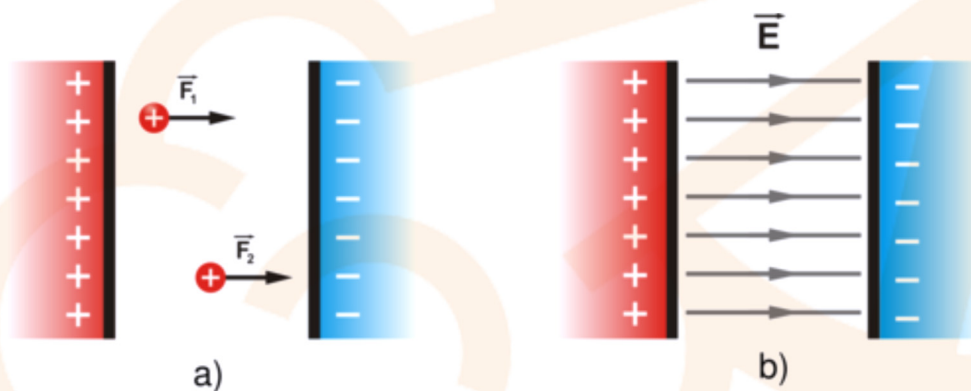
$$E = \frac{F}{q} = k \cdot \frac{Q}{r^2}$$

Natężenie pola elektrostatycznego wokół ładunku punktowego zilustrowane jest na poniższym rysunku.



Wektory natężenia pola elektrostatycznego wokół ładunku punktowego.

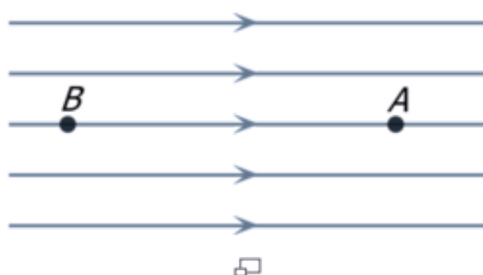
Innym przykładem natężenia pola elektrostatycznego jest pole wytworzone między dwiema płaskimi płytkami naładowanymi przeciwnymi ładunkami. Na umieszczony między nimi ładunek dodatni działać będzie siła skierowana prostopadle do płytek, w kierunku od ładunku dodatniego do ładunku ujemnego (patrz rysunek a). Natężenie pola zilustrowane jest na rysunku b).



a) siły działające na ładunki dodatnie umieszczone między naładowanymi płytkami b) linie pola elektrostatycznego

Wiesz już, że na umieszczone w polu elektrycznym naładowane ciało działa siła. Jeśli pozwolisz ciału poruszać się swobodnie, siła wykona nad nim pracę, a ciało zwiększy swoją energię kinetyczną. Jeśli natomiast zechcesz samodzielnie przesunąć to ciało, to Ty musisz wykonać nad nim pewną pracę.

Rozważmy najprostszy przykład pola jednorodnego:



Jeśli umieścisz ciało o ładunku dodatnim q w punkcie B, zacznie się ono przemieszczać wzdłuż linii pola pod wpływem siły elektrostatycznej. Jeśli natomiast zechcesz samodzielnie przenieść to ciało z punktu A do punktu B, musisz wykonać nad nim pracę równą:

$$W_{AB} = F \cdot s_{AB}$$

Przez s_{AB} oznaczyliśmy drogę, którą przebyło ciało po prostej łączącej punkty A i B.

Można więc wprowadzić wielkość, która będzie informowała, jaką pracę należy wykonać nad ciałem obdarzonym jednostkowym ładunkiem, aby przemieścić je z punktu A do punktu B. Wielkość tę nazywamy napięciem.

Ważne

Napięcie elektryczne między punktami A i B to stosunek pracy wykonanej podczas przenoszenia ładunku elektrycznego między tymi punktami do wartości tego ładunku:

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}$$

Jednostką napięcia jest volt:

$$1V = \frac{1J}{1C}$$

Napięcie jest wielkością charakteryzującą dwa punkty pola. Mówimy, że między dwoma punktami pola panuje napięcie 10 V. Pojęcie to jest szczególnie istotne przy omawianiu zagadnień związanych z przepływem prądu. Żeby w obwodzie popłynął prąd (przesunięcie ładunków), niezbędne jest źródło napięcia. W kolejnym rozdziale omówimy to dokładniej.

Gdy ciało o ładunku Q pod wpływem działającej na nie siły elektrostatycznej przemieści się z punktu A do punktu B (między którymi panuje napięcie U), kosztem pracy wykonanej przez pole, zostanie mu przekazana energia E równa:

$$E = Q \cdot U$$



Niekiedy lepiej jest stosować inną jednostkę energii zamiast dżula — jest nią **elektronowolt**. Jeden elektronowolt to energia, którą uzyska ciało o ładunku elementarnym przyspieszone napięciem 1V.

Pytania:

1. Jaka siła będzie działała na ciało naelektryzowane ładunkiem

w polu elektrycznym, którego natężenie ma wartość $50 \frac{N}{C}$?

1. Jaki jest zwrot linii pola elektrostatycznego?
2. W ośrodku CERN pod Genewą, w nowym akceleratorze LHC, cząstki elementarne będą przyspieszane do wielkich prędkości. Rozpędzony proton uzyska energię $7 TeV$ (siedem teraelektronowoltów, czyli $7 \cdot 10^{12}$ elektronowoltów). Spróbuj wyrazić tę wielkość w dżulach.

Zadania

1. Znamy dwa rodzaje ładunków elektrycznych: dodatnie i ujemne. Jak nazywa się cząstka obdarzona najmniejszym (elementarnym) ładunkiem ujemnym, a jak dodatnim?
2. Opisz, jak zbudowany jest atom.
3. Kiedy atom staje się jodem dodatnim, a kiedy ujemnym?
4. Wiemy, że za pomocą elektroskopu możemy stwierdzić, czy dane ciało jest naelektryzowane czy elektrycznie obojętne. Jednak niezależnie od tego, czy dotkniemy elektroskopu ciałem naelektryzowanym dodatnio czy ujemnie, zewnętrzny efekt będzie taki sam. Opisz, w jaki sposób można sprawdzić, jakim ładunkiem został naelektryzowany elektroskop.
5. Naelektryzowaną laskę ebonitową zawieszamy na nitce tak, aby przyjęła pozycję poziomą, a następnie zbliżamy do jej końca ciało naelektryzowane nieznanym ładunkiem. Jak można poznać, jakim ładunkiem jest naelektryzowane ciało?
6. Wyjaśnij, jak to się dzieje, że ładunki elektryczne mogą na siebie działać na odległość. Jak się nazywa wielkość fizyczna, którą to zjawisko opisuje?
7. O czym informuje nas natężenie pola elektrostatycznego w danym punkcie?
8. Opisz doświadczenie, w którym można zaobserwować linie pola elektrostatycznego.



9. Opisz, co się stanie i dlaczego, gdy do bardzo wąskiego strumienia wody lejącego się z kranu zbliżymy ciało naelektryzowane.
10. Dwa ładunki o wartościach q_1 i q_2 oddalone od siebie o r działają na siebie siłą F . Oblicz, jak zmieni się siła oddziaływania między nimi, jeżeli ich wartości zmienią się do $2q_1$ i $4q_2$, a odległość między nimi wzrośnie czterokrotnie.
11. Ładunek $+Q$ wytwarza w punkcie A oddalonym od źródła pola o r pole elektryczne o natężeniu E . Narysuj wektory natężenia pola w punkcie a oraz w punkcie b oddalonym od źródła o $r_1 = 0,5r$.
12. Stosowane do prześwietleń promienie Roentgena wytwarzane są w lampach, w których elektrony są przyspieszane napięciem 70 000V. Oblicz energię, jaką uzyskują elektrony oraz ich prędkość. Masa elektronu $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$.

Krótkie podsumowanie najważniejszych pojęć

Ciała naładowane jednoimiennie się przyciągają, a różnoimiennie — się odpychają, zgodnie z **prawem Coulomba**:

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

gdzie: q_1 i q_2 – to wartości ładunków, r – to odległość między ładunkami, k – to współczynnik proporcjonalności, którego wartość zależy od rodzaju ośrodka, w którym znajdują się ładunki.

Jednostką ładunku jest jeden Coulomb:

$$[q] = 1C$$

Ciała przewodzące ładunek nazywamy **przewodnikami**, a te, przez które ładunek nie płynie, nazywamy **izolatorami** lub **dielektrykami**.

Najmniejszy ładunek elektryczny $1e$, zwany **ładunkiem elementarnym**, niosą elektrony (ujemny) i protony (dodatni).

$$1e = 1,6 \cdot 10^{-19}C$$

Poznałaś/-eś trzy **sposoby elektryzowania ciał**: 1) przez tarcie, 2) przez indukcję, 3) przez dotyk.



Polem elektrycznym nazywamy taką cechę przestrzeni, która powoduje, że na każdy umieszczony w niej ładunek elektryczny działa siła.

Natężeniem pola elektrostatycznego w danym punkcie przestrzeni nazywamy stosunek siły elektrostatycznej działającej na dany ładunek umieszczony w tym punkcie, do wartości tego ładunku:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

Napięcie elektryczne między punktami A i B to stosunek pracy wykonanej podczas przenoszenia ładunku elektrycznego między tymi punktami do wartości tego ładunku:

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}$$

Jednostką napięcia jest wolt:

$$1V = \frac{1J}{1C}$$