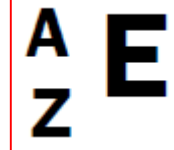
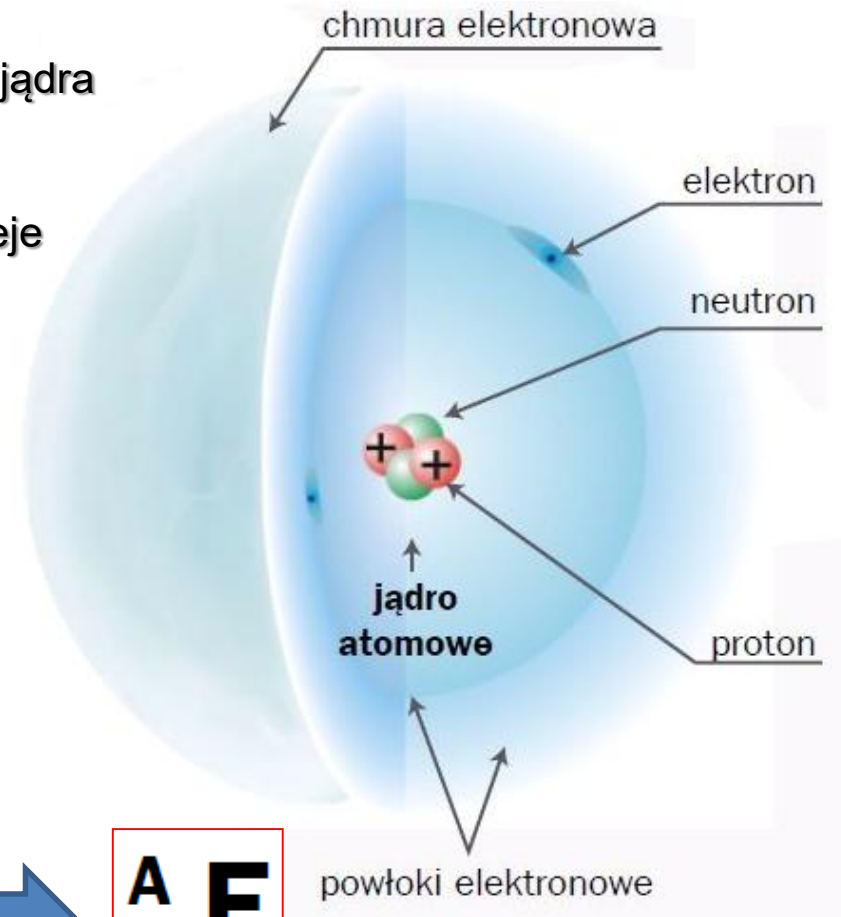


PODSTAWY ELEKTROTECHNIKI

BUDOWA ATOMU

- Atom pierwiastka: elektron i jądro złożone z protonów i neutronów.
- Protony i neutrony (nukleony) wchodzi w skład jądra atomowego
- Chmura elektronowa jest to obszar w zasięgu oddziaływania jądra atomowego, w którym istnieje prawdopodobieństwo znalezienia elektronów
- Powłoka elektronowa jest to część chmury elektronowej, w której prawdopodobieństwo znalezienia elektronu jest największe
- Protony mają ładunek elektryczny $+e$ i masę ≈ 1 u
- Neutrony nie mają ładunku a ich masa ≈ 1 u
- Elektrony mają ładunek elektryczny $-e$ i masę prawie 2000 razy mniejszą od masy protonu
- Jądro atomowe jest bardzo małe w porównaniu z atomem, znajduje się w jego centrum i w nim skupiona jest prawie cała masa atomu
- Liczba protonów w jądrze atomu jest równa liczbie elektronów w chmurze elektronowej i nazywa się liczbą atomową Z
- Liczba nukleonów to liczba masowa A



$+e / -e$ – ładunek e. elementarny

Nazwa pierwiastka	Liczba atomowa Z	Liczba masowa A	Zapis $\begin{matrix} A \\ Z \end{matrix} E$	Liczba protonów	Liczba elektronów	Liczba neutronów	Liczba nukleonów
tlen	8	16	$\begin{matrix} 16 \\ 8 \end{matrix} O$	8	8	8	16
fosfor	15	31	$\begin{matrix} 31 \\ 15 \end{matrix} P$	15	15	16	31
cynk	30	65	$\begin{matrix} 65 \\ 30 \end{matrix} Zn$	30	30	35	65

Elektron walencyjny – elektrony znajdujące się na ostatniej, najbardziej zewnętrznej powłoce atomów, która nazywana jest powłoką walencyjną. Liczba oraz poziomy energetyczne elektronów walencyjnych decydują w dużym stopniu o właściwościach atomów a tym samym i pierwiastków chemicznych.

W metalach elektrony walencyjne mogą się przemieszczać między węzłami sieci krystalicznej, w całej jego objętości. Z tego względu nazwane zostały one **elektronami swobodnymi**.

UKŁAD OKRESOWY PIERWIASTKÓW

1	2											13	14	15	16	17	18	
1	H																He	
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	Ac	Unq	Unp	Unh	Uns	Uno	Une									

■ metale
■ niemetale
■ półmetale

LANTANOWCE

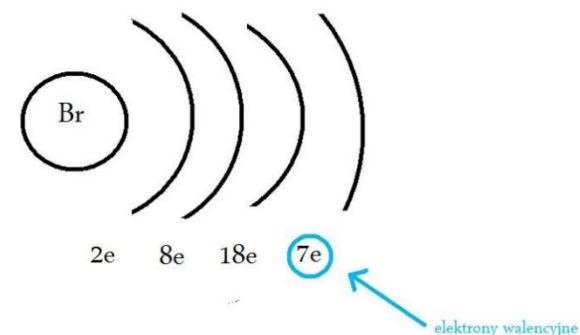
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

AKTYNOWCE

Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Elektrony walencyjne jako słabo związane z jądrem siłami atomowymi, już pod wpływem niewielkich sił mogą „wyzwolić” się ze strefy oddziaływania danego atomu.

- Grupa IA - pierwiastki grupy 1 (litowce) - 1 elektron walencyjny
- Grupa IIA - pierwiastki grupy 2 (berylowce) - 2 e. w.
- Grupa IIIA - pierwiastki grupy 13 (borowce) - 3 e. w.
- Grupa IVA - pierwiastki grupy 14 (węglowce) - 4 e. w.
- Grupa VA - pierwiastki grupy 15 (azotowce) - 5 e. w.
- Grupa VIA - pierwiastki grupy 16 (tlenowce) - 6 e. w.
- Grupa VIIA - pierwiastki grupy 17 (fluorowce) - 7 e. w.
- Grupa VIIIA - pierwiastki grupy 18 (helowce) - 8 e. w.



ELEKTROSTATYKA

ŁADUNEK ELEKTRYCZNY

ŁADUNEK ELEKTRYCZNY ELEMENTARNY – podstawowa stała fizyczna, wartość ładunku elektrycznego niesionego przez proton lub (alternatywnie) wartość bezwzględna ładunku elektrycznego elektronu → $e \approx 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

JEST TO NAJMNIEJSZA I NIEPODZIELNA CZĘŚĆ ŁADUNKU ELEKTRYCZNEGO

- elektron zwykły (ujemny) - ładunek - e
- antyelektron, czyli elektron dodatni (nazywany też pozytonem) - ładunek + e
- proton zwykły (dodatni) - ładunek + e
- antyproton - ładunek - e
- neutron - ładunek 0 (jak sama nazwa wskazuje jest "neutralny")

Cząstki obdarzone ładunkiem mogą występować w pustej przestrzeni, ale mogą też znajdować się w materiale. W zależności od tego czy materiał „pozwala” na ruch ładunków dzielimy materiały na:

- Izolatory / dielektryki
- Przewodniki
- półprzewodniki

PRZEWODNIKI / DIELEKTRYKI

Ciała zawierające ładunki (elektrony lub jony), które mogą się w nich swobodnie przemieszczać, nazywają się **CIAŁAMI PRZEWODZĄCYMI** lub **PRZEWODNIKAMI**.

Ciała nie zawierające takich ładunków, tzn. ciała o umiejscowionych ładunkach, przemieszczających się co najwyżej w obrębie kryształów, noszą miano **DIELEKTRYKÓW** lub **IZOLATORÓW**.

Ciała będące normalnie dielektrykami, a uzyskujące własności przewodników w zmienionych warunkach zewnętrznych, nazywają się **PÓŁPRZEWODNIKAMI**.

Zdolność bądź niezdolność ciał krystalicznych do przemieszczania się w nich ładunków elektrycznych tłumaczy się istnieniem bądź nieistnieniem *elektronów walencyjnych* (sytuujących się na niezapełnionych do końca orbitach atomów). Elektrony walencyjne biorą udział w *wiązaniach chemicznych i krystalicznych*.

PRZEWODNIKI PRĄDU ELEKTRYCZNEGO

Z punktu widzenia teorii elektronowej mechanizm powstania zjawiska prądu elektrycznego jest inny w zaliczanych do:

- **przewodniki pierwszego** → metale
- **przewodników drugiego rodzaju** → elektrolity

W metalach pole elektryczne powoduje uporządkowany ruch elektronów swobodnych, w elektrolitach zaś pod działaniem pola elektrycznego występuje uporządkowany ruch jonów dodatnich i ujemnych, powstających w wyniku dysocjacji – przewodniki pierwszego rodzaju NIE WCHODZA w reakcje chemiczne pod wpływem przepływającego prądu.

W elektrolitach wchodzących mamy do czynienia z ruchem jonów dodatnich (tzw. kationów) do elektrody ujemnej (katody) i jonów ujemnych (tzw. anionów) do elektrody dodatniej (anody). W tym przypadku mówimy o prądzie jonowym. przewodniki drugiego rodzaju WCHODZA w reakcje chemiczne pod wpływem przepływającego prądu – np. wydzielanie gazowego chloru podczas przepływu prądu elektrycznego przez wodny roztwór NaCl.

ŁADUNEK ELEKTRYCZNY

Jako ładunek elektryczny należy rozumieć określoną liczbę ładunków elementarnych e dodatnich lub ujemnych.

Wyróżniamy następujące stany ładunków elektrycznych:

- ładunki nieruchome o wartości niezmiennej w czasie, którym odpowiadają zjawiska elektrostatyczne;
- ładunki w ruchu lub o wartości zmiennej w czasie, którym odpowiadają zjawiska przepływu prądu elektrycznego.

Ładunek elektryczny jest podstawową cechą materii. Wszelka znana jej postać musi występować w jednym z trzech następujących stanów. Ciało materialne:

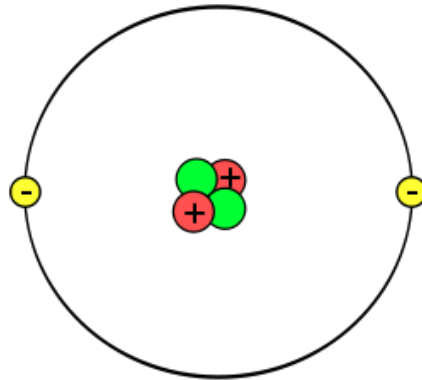
- może mieć ładunek dodatni (+)
- może być obojętne elektrycznie (ładunek zerowy)
- może mieć ładunek ujemny (-)

Zarówno dodatnie, jak i ujemne ładunki mogą mieć różne - większe, lub mniejsze - wartości. Najczęściej wartość ładunku oznaczana jest literą q lub Q .

Siły i oddziaływania tego rodzaju określa się jako elektryczne lub – odnosząc je do ładunków nieruchomych – jako elektrostatyczne (natura zjawiska jest ta sama, niezależnie od tego, czy ładunki pozostają w spoczynku, czy są w ruchu).

PRZEWODNIKI PRĄDU ELEKTRYCZNEGO

Ładunki elektryczne protonu i elektronu są dokładnie sobie równe co do wartości bezwzględnej i są najmniejszą niepodzielną „porcją” elektryczności. W każdym atomie liczba elektronów i protonów jest jednakowa, a zatem atom jest jako całość elektrycznie obojętny.



Ładunku elektrycznego nie można ani stworzyć, ani unicestwić, można tylko pewną liczbę ładunków elementarnych, np. elektronów, przenieść z jednego ciała na drugie, przez co pierwsze będzie wykazywać ładunek elektryczny dodatni, a drugie ujemny o takiej samej wartości bezwzględnej.

Ładunki elektryczne podlegają dwóm fundamentalnym prawom:

1. Ładunek podlega prawu zachowania → **ZASADA ZACHOWANIA ŁADUNKU ELEKTRYCZNEGO**
2. Ładunek może przybierać jedynie wartości będące (co do modułu) wielokrotnością ładunku elektronu → **KWANTYZACJA ŁADUNKU ELEKTRYCZNEGO**

ZASADA ZACHOWNIA ŁADUNKU ELEKTRYCZNEGO

UKŁAD ODOSOBNIONY → układ, przez którego granice nie przenikają ładunki elektryczne.

Sumaryczny ładunek układu elektrycznie izolowanego (odosobnionego), tj. suma algebraiczna ładunków dodatnich i ujemnych układu, jest stały, czyli nie może ulegać zmianie. Ewentualna zmiana ładunku elektrycznego układu musi być rezultatem wymiany ładunku z otoczeniem.

W układach izolowanych elektrycznie od wszystkich innych ciał, ładunek może być przemieszczany z jednego ciała do drugiego, ale jego całkowita wartość nie ulega zmianie.

Zasada ta została sformułowana przez B. Franklina i jest jednym z podstawowych praw fizyki.

$$\left(\sum q_i \right)_{izol} = 0$$

Jedną z bezpośrednich konsekwencji zasady zachowania ładunku jest pierwsze prawo Kirchhoffa. Może ono być sformułowane w sposób nawiązujący do zasady zachowania ładunku w następujący sposób:

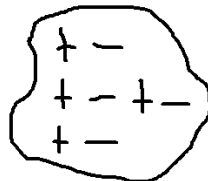
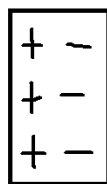
Ilość ładunków wpływających do węzła sieci równa jest ilości ładunków wypływających z tego węzła.

ZASADA ZACHOWNIA ŁADUNKU ELEKTRYCZNEGO

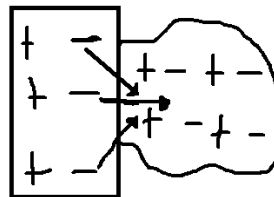
Ładunek elektryczny jest niezniszczalny: nigdy nie ginie i nie może być stworzony.

- Ładunki mogą się natomiast przemieszczać z jednego miejsca w inne, ale nigdy nie biorą się znikąd. Mówi się więc, że ładunek elektryczny jest zachowany.
- Można także potocznie mówić o generowaniu, wytwarzaniu ładunków, rozumiejąc przez to generalnie przemieszczanie, przenoszenie elektronów z jednego ciała na drugie, które powoduje, że ciała stają się naelektryzowane wskutek nadmiaru albo niedomiaru (braku) ładunków elektrycznych.
- Proces taki nazywa się elektryzowaniem (się), elektryzacją ciał i jest fizycznym odzwierciedleniem, potwierdzeniem zasady zachowania ładunku elektrycznego.

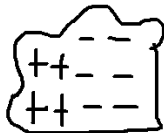
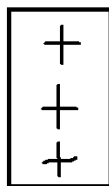
Przed elektryzowaniem



Elektryzowanie



Po elektryzowaniu



ZASADA ZACHOWNIA ŁADUNKU ELEKTRYCZNEGO

Ładunek elektryczny jest niezniszczalny: nigdy nie ginie i nie może być stworzony. Ładunki mogą się natomiast przemieszczać z jednego miejsca w inne, ale nigdy nie biorą się znikąd. Mówi się więc, że ładunek elektryczny jest zachowany.

Można także potocznie mówić o generowaniu, wytwarzaniu ładunków, rozumiejąc przez to generalnie przemieszczanie, przenoszenie elektronów z jednego ciała na drugie, które powoduje, że ciała stają się naelektryzowane wskutek nadmiaru albo niedomiaru (braku) ładunków elektrycznych.

Proces taki nazywa się elektryzowaniem (się), elektryzacją ciał i jest fizycznym odzwierciedleniem, potwierdzeniem zasady zachowania ładunku elektrycznego.

Podział na ładunki dodatnie i ujemne dotyczy zarówno skali makro, jak mikro. W ciałach zgromadzone są olbrzymie ilości, powiązanych wzajemnie, ładunków obu znaków, lecz w normalnych warunkach ich działania się równoważą i ciała są elektrycznie obojętne.

Analizując zjawiska związane z oddziaływaniami elektrycznymi, bierze się pod uwagę tylko niezrównoważone w ciałach ładunki o określonych znakach. Przez ładunek zgromadzony w ciele, np. na okładzinie kondensatora, rozumie się więc ładunek występujący w nim poza wewnątrznie zrównoważonymi strukturami cząsteczkowymi.

KWANTYZACJA ŁADUNKU ELEKTRYCZNEGO

Ładunki znanych w przyrodzie obiektów są "skwantowane", co oznacza, że mogą przyjmować tylko wartości ściśle określone → ładunki występują tylko w ściśle określonych porcjach (nie mogą one jednak pochodzić spomiędzy dwóch najbliższych siebie możliwych wartości). Tą najmniejszą porcją ładunku jest tzw. ładunek elementarny.

Ładunek elektryczny może występować jedynie w całkowitej wielokrotności najmniejszej porcji, tzw. kwantu ładunku, jakim jest ładunek elementarny.

KWANTYZACJĘ ŁADUNKU ELEKTRYCZNEGO ZALICZA SIĘ DO
PODSTAWOWYCH PRAW NATURY.

$$e = 1,602 \cdot 10^{-19} [C],$$

$$Q = \pm n \cdot e, \quad n \in N$$



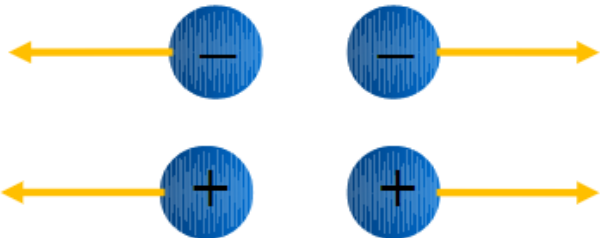
ŁADUNEK ELEKTRYCZNY

Wyróżniamy następujące stany ładunków elektrycznych:

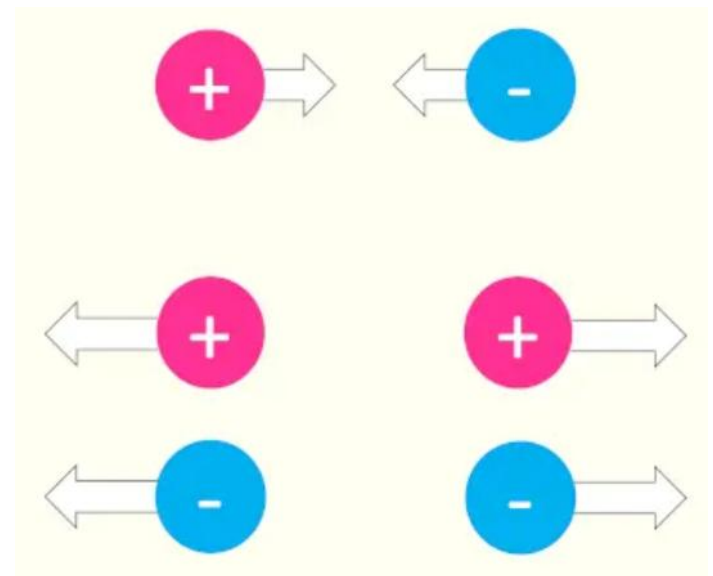
- **ŁADUNKI NIERUCHOME** o wartości niezmiennej w czasie, którym odpowiadają **ZJAWISKA ELEKTROSTATYCZNE**;
- **ŁADUNKI W RUCHU** lub o wartości zmiennej w czasie, którym odpowiadają **ZJAWISKA PRZEPŁYWU PRĄDU ELEKTRYCZNEGO**.

Ładunki elektryczne oddziałują ze sobą siłą elektrostatyczną i mogą podlegać **WZAJEMNEMU PRZYCIĄGANIU LUB ODPYCHANIU SIĘ**

Ładunki jednoimienne odpychają się.



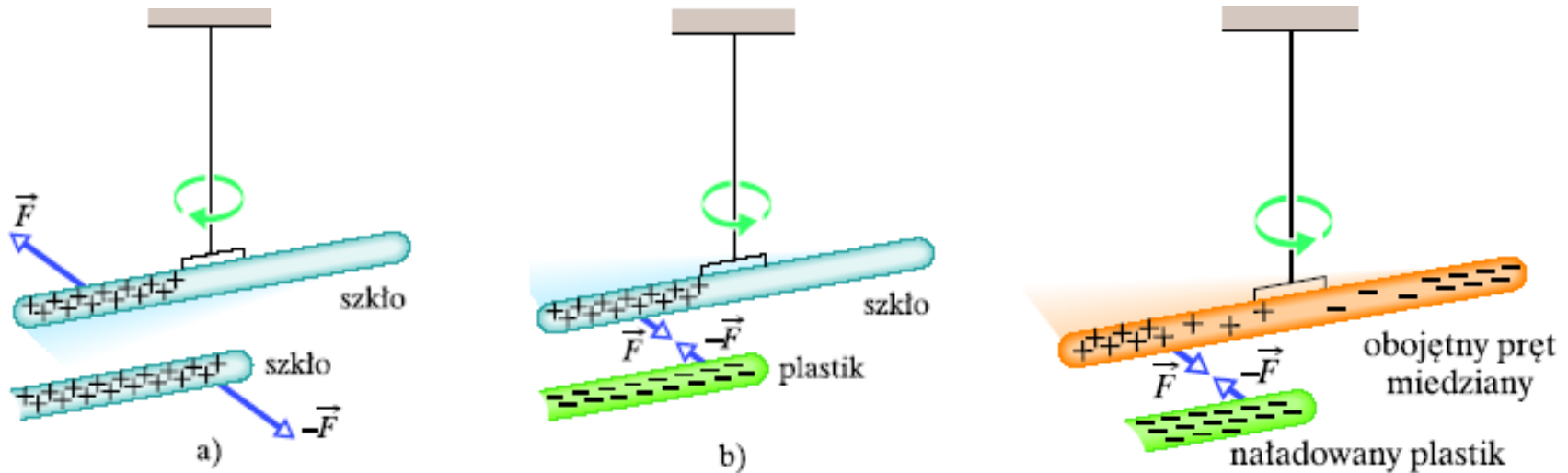
Ładunki różnoimienne przyciągają się.



CIAŁO NAELEKTRYZOWANE / ROZELEKTRYZOWANE

Zakłócenie równowagi elektrycznej ciała poprzez udzielenie mu dodatkowego ładunku nazywa się naelektryzowaniem (naładowaniem). Odebranie ciała nadmiaru ładunków dodatnich lub ujemnych nazywa się rozelektryzowaniem (rozładowaniem)

→ suma ładunków elementarnych dodatnich jest różna od sumy ładunków elementarnych ujemnych.



Ciała obdarzone ładunkami elektrycznymi (naładowane, naelektryzowane) mogą się przyciągać lub odpychać, przy czym:

- ładunki jednoimienne – odpychają się (a)
- ładunki różnoimienne – przyciągają się (b)

$$Q = I \cdot t \rightarrow [C] = [A] \cdot [s]$$

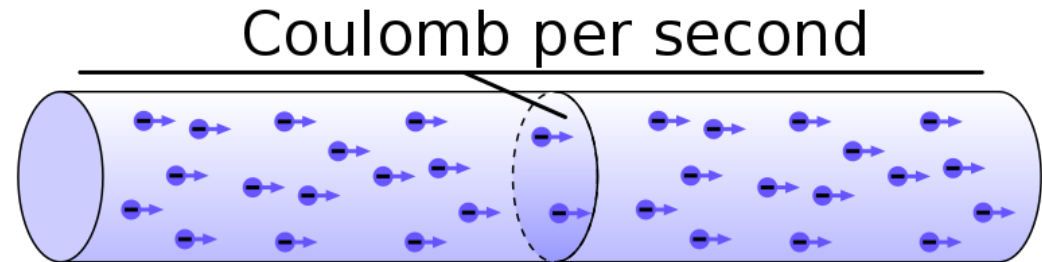
Jednostką ładunku elektrycznego jest kulomb [C], przy czym 1 kulomb jest to ładunek przenoszony przez prąd elektryczny o natężeniu 1 ampera [A] w czasie 1 sekundy [s]

ŁADUNEK ELEKTRYCZNY

Jednostką ładunku elektrycznego jest kulomb [C], przy czym 1 kulomb jest to ładunek przenoszony przez prąd elektryczny o natężeniu 1 ampera [A] w czasie 1 sekundy [s]

$$Q = I \cdot t \rightarrow [C] = [A] \cdot [s]$$

Kulomb jest miarą ładunku elektrycznego i jest definiowany jako ładunek, który płynie prądem stałym o natężeniu jednego ampera (1 amper) w ciągu jednej sekundy. Ładunek może być dodatni lub ujemny. Jest to równoważne $6,241 \times 10^{18}$ elektronów.



Właściwości elektryczności są często porównywane do fizyki wody w rurach lub rzekach. W tej analogii ampery to natężenie przepływu wody, a kulomb to ilość wody transportowanej w danym okresie czasu.

ŁADUNEK ELEKTRYCZNY

Jak wyobrazić sobie kulomba? W zasadzie to niemożliwe, łatwiej wyobrazić sobie większą ilość kulombów.

- Naelektryzowana laska ebonitowa posiada ładunek kilku mikrokulombów
- Typowa bateria AA (paluszek) posiada pojemność 5000 C (1400 mAh)
- Baterie smartfonów mają zwykle pojemność 7200 – 14400 C (2000-4000 mAh)
- Bateria samochodu Tesla Model 3/Y składa się z 4416 ogniw o pojemności 18 000 C (5000 mAh) każda. To łącznie blisko 80 milionów kulombów.

Dlaczego tak ciężko wyobrazić sobie **jednego kulomba?**

Ponieważ, w praktyce nie istnieje. Stosując definicję kolumba (wykorzystującą definicje ampera) dostaniemy liczbę, która nie tworzy pełnej liczby ładunków elementarnych.

A ładunek elementarny to najmniejsza możliwa ilość ładunku.

$1 \text{ C} = 1 / (1.602176634 \times 10^{-19})$ ładunków elementarnych =
6241509074460762607.**776** e

ŁADUNEK ELEKTRYCZNY

Czym jest amperogodzina (Ah)?

Amperogodzina to często używana miara pojemności ogniw i baterii. Jedna amperogodzina jest równa ładunkowi elektrycznemu przenoszonemu przez prąd o natężeniu 1 A w ciągu godziny.

Jedna amperogodzina to 3600 kulombów. Zauważmy, że w jednej godzinie jest 3600 s (60 · 60).

$$1Ah = \frac{1A}{1s} \cdot 3600s = 3600C$$

W praktyce często używamy miliamperogodziny (mAh) czyli 1/1000 części amperogodziny. Jedna miliamperogodzina to 3,6 kulomba.

$$1mAh = 3,6C$$

ŁADUNEK ELEKTRYCZNY

JEDNOSTKA ŁADUNKU ELEKTRYCZNEGO

1 KULOMB (C)

to ładunek elektryczny przenoszony przez prąd
o natężeniu 1 ampera przez 1 sekundę



ELEKTRYZOWANIE CIAŁ

ELEKTRYZOWANIE CIAŁ

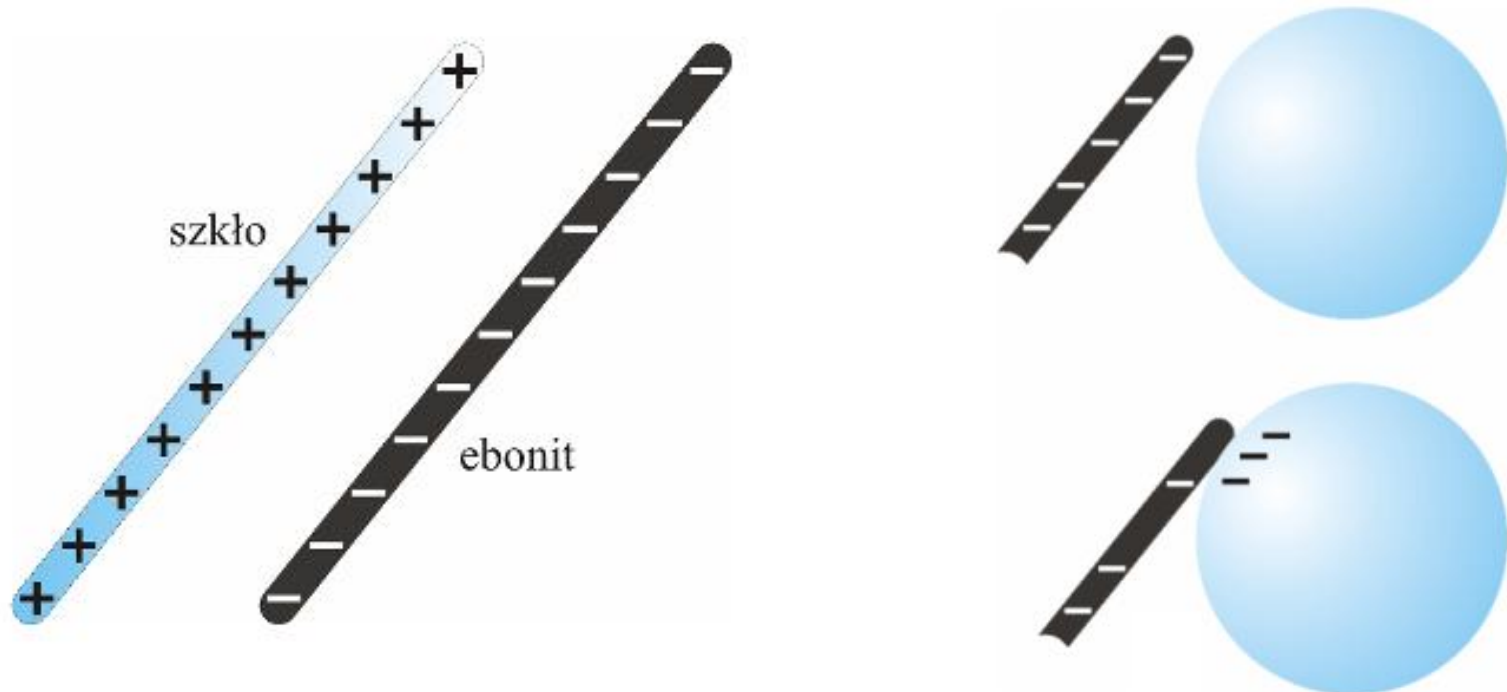


CIAŁO NAELEKTRYZOWANE / ROZELEKTRYZOWANE

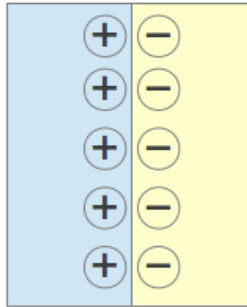
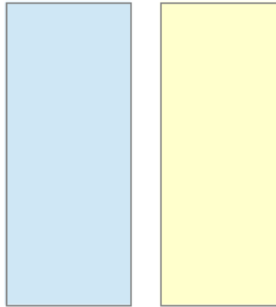
Zakłócenie równowagi elektrycznej ciała poprzez udzielenie mu dodatkowego ładunku nazywa się **NAELEKTRYZOWANIEM (NAŁADOWANIEM)**.

Odebranie ciała nadmiaru ładunków dodatnich lub ujemnych nazywa się **ROZELEKTRYZOWANIEM (ROZŁADOWANIEM)**

→ suma ładunków elementarnych dodatnich jest różna od sumy ładunków elementarnych ujemnych.



CIAŁO NAELEKTRYZOWANE / ROZELEKTRYZOWANE



Elektryzowanie ciał przez tarcie

Pocierając o siebie dwa ciała będące izolatorami, możemy uzyskać trwałe naelektryzowanie obu ciał. Elektryzują się one przeciwnym ładunkiem, a ich suma jest równa zero (czyli tyle ile było przed elektryzowaniem).

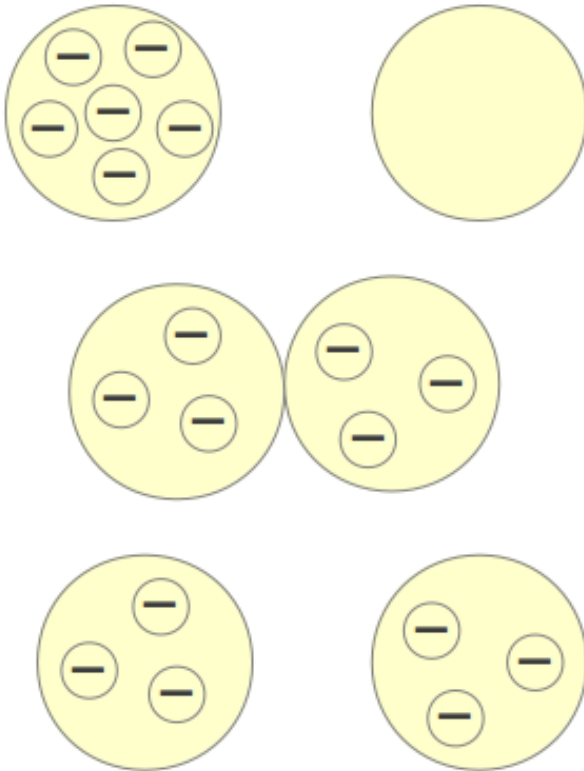
Pocieranie służy jak największemu zbliżeniu cząsteczek ciał obu substancji. Substancje muszą być izolatorami, gdzie jedna jest skłonna oddać ładunek ujemny, a druga pobrać ten ładunek np. szkło - papier, bursztyn - wełna, polar - włosy.

Na przykład podczas czesania suchych i świeżo umytych włosów plastikowym grzebieniem, elektrony przechodzą z włosów na grzebień. Grzebień elektryzuje się ujemnie i przyciąga do dodatnio naelektryzowanych włosów. Poszczególne dodatnio naelektryzowane włosy wzajemnie odpychają od siebie.



CIAŁO NAELEKTRYZOWANE / ROZELEKTRYZOWANE

Elektryzowanie ciał przez dotyk



Dotykając ciała nienaektryzowanego ciałem naelektryzowanym, elektryzujemy je w sposób trwały. Ładunek elektryczny przechodzi między ciałami. Ciało naelektryzowane traci tyle ładunków ile zyskuje ciało początkowo nienaładowane. W efekcie oba ciała są naelektryzowane ładunkiem tego samego znaku.

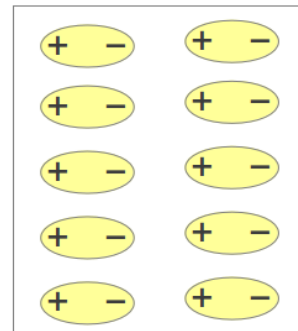
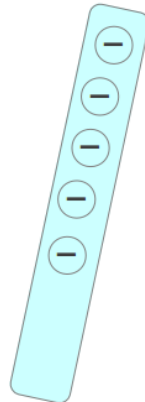
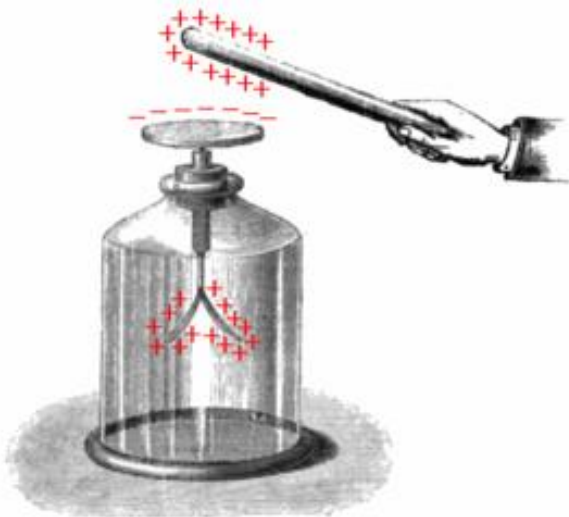
Jest to zgodne z zasadą zachowania ładunku – w układzie ciał izolowanych elektrycznie od otoczenia, całkowity ładunek (suma ładunków ujemnych i dodatnich) nie uległa zmianie, a ładunek może jedynie przemieszczać się z jednego ciała (lub jego części) do innego ciała (lub jego części).

CIAŁO NAELEKTRYZOWANE / ROZELEKTRYZOWANE

Elektryzowanie ciał przez indukcję (wpływ)

Jeżeli zbliżymy do ciała nienaektryzowanego ciało naelektryzowane, ciało nienaładowane zaczyna być przyciągane przez to drugie ciało. Elektryzowanie przez indukcję, czyli wpływ innego znajdującego się w pobliżu ciała naelektryzowanego (pod wpływem ładunku zbliżanego ciała naelektryzowanego), polega na przemieszczeniu się elektronów swobodnych wewnątrz metalu lub polaryzację atomów izolatora (powstają dipole elektryczne).

W efekcie ciało jako całość nadal jest elektrycznie obojętne, ale jedną stroną ma naładowaną „+” a drugą „-”



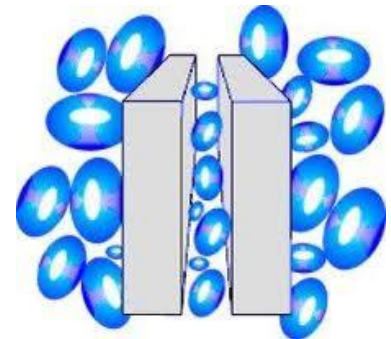
Właściwości elektryczne ciała nienaładowanego zanikają natychmiast po usunięciu ciała elektryzującego.

POLE ELEKTRYCZNE

POLE FIZYCZNE

- W naukach fizycznych w I połowie XIX, wprowadzono pojęcie pewnej substancji, za pomocą której próbowano wyjaśnić niektóre znane zjawiska fizyczne, np. zjawisko przenoszenia ciepła, elektryzowania ciał,...
- Wprowadzono istnienie hipotetycznych nieważkich, niewidzialnych substancji → „cieplików” i „fluidów”, wypełniających wszystkie ciała.
- Ciało, które miało ja w nadmiarze, było cieplejsze od otoczenia, zaś przenoszenie ciepła odbywało się na drodze wymiany „cieplików”.
- Teoria „cieplika” nie utrzymała się długo. Przyjęcie, e istnieje cos, co jest nieważkie i niewidzialne, czego nie można wykryć przyrządami, nie wytrzymało krytyki. Fizyka nie mogła przyjąć, e istnieje cos, czego istnienia nie można dowieść ani empirycznie, ani teoretycznie.
- Jednak obserwowane zjawiska oddziaływania ciał na odległość (m.in. elektryzacja ciał przez indukcje, oddziaływania w postaci sił między oddalonymi ładunkami elektrycznymi, przenoszenie ciepła) nie dawało fizykom spokoju.

POLE FIZYCZNE jest to przestrzeń fizyczna (obszar) odpowiedzialna za oddziaływanie między obiektami wprowadzonymi do tej przestrzeni lub w niej przebywającymi.



POLE SKALARNE / WEKTOROWE

Pola fizyczne są wytwarzane zarówno przez obiekty nieruchome w przestrzeni, jak i przez obiekty poruszające się z określoną prędkością.

W przyrodzie występuje bardzo wiele różnych pól. Ogólnie dzielą się one na pola:
SKALARNE I WEKTOROWE.

- POLE SKALARNE – pole, którego każdy punkt można scharakteryzować za pomocą wielkości skalarnej → np. pole temperatur, pole energii, pole potencjałów → np. Izotermy, które są liniami pola temperatur
- POLE WEKTOROWE – pole, którego każdy punkt można scharakteryzować za pomocą wielkości wektorowej → np. pole prędkości, pole przyspieszeń, pole ciśnień, pole sił (pole grawitacyjne, pole elektryczne, pole magnetyczne).

POLE SIŁ – pole wektorowe, w którym na obiekt wprowadzony do tego pola działa określona siła.

np. pole grawitacyjne, pole elektrostatyczne, pole magnetyczne, pole elektromagnetyczne i pole sił jądrowych.

POLE SIŁ

POLE ELEKTRYCZNE – stan przestrzeni otaczającej ładunki elektryczne lub zmienne pole magnetyczne.

W polu elektrycznym na ładunek elektryczny działa **SIŁA ELEKTROSTATYCZNA** → **SIŁA COULOMBA**.

Każdy ładunek jest źródłem pola elektrycznego działającego na inne ładunki, ale sam też podlega działaniu pól wytworzonych przez nie → **WZAJEMNOŚĆ ODDZIAŁYWAŃ**.

Za pośrednictwem pola elektrycznego możliwe jest oddziaływanie pomiędzy oddalonymi od siebie naelektryzowanymi ciałami, czyli oddziaływanie na odległość.

JEŚLI POLE ELEKTRYCZNE NIE ZMIENIA SIĘ W CZASIE, TO MÓWIMY, ŻE JEST

POLEM ELEKTROSTATYCZNYM.

LINIE SIŁ POLA ELEKTRYCZNEGO

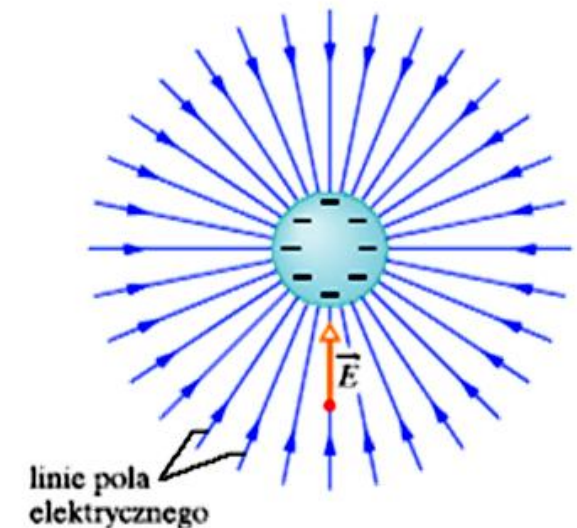
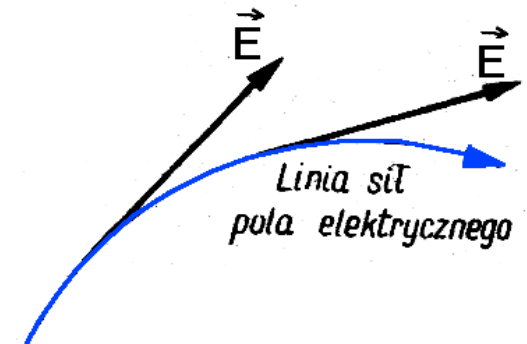
LINIE SIŁ POLA ELEKTRYCZNEGO (linie sił, linie pola)

są to linie, po których poruszają się ładunki elektryczne wprowadzone do tego pola. Przez każdy, dowolny punkt pola przechodzi linia sił.

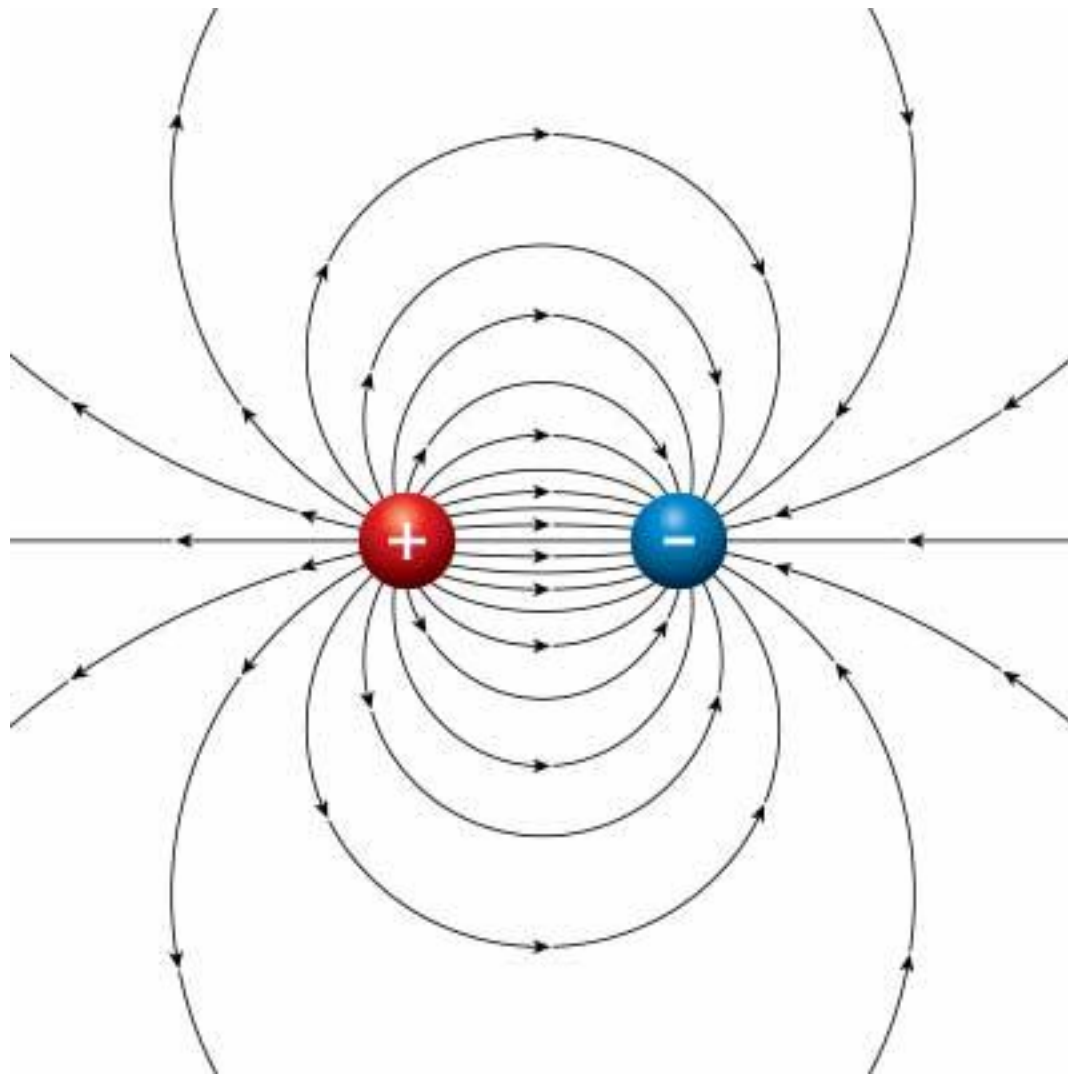
LINIE SIŁ POLA SĄ:

- styczne każdym punkcie przestrzeni do wektora siły działającej w tym polu na dodatni ładunek punktowy (w dowolnym punkcie pola)
- skierowane od ładunku elektrycznego dodatniego do ujemnego
- liczba linii na jednostkę powierzchni jest proporcjonalna do natężenia pola elektrycznego
- linie te nigdy nie przecinają się

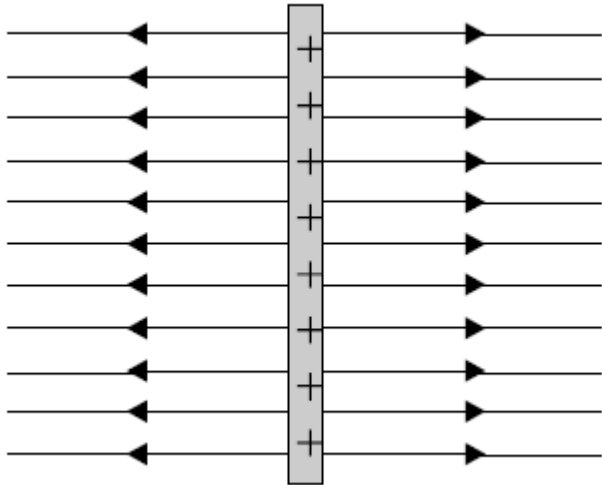
ŁADUNKI PUNKTOWE - ciała naelektryzowane, których wymiary są znikomo małe w stosunku do odległości pomiędzy nimi. Elektrony i protony można traktować jako ładunki punktowe ponieważ stosunek rozmiaru jąder atomowych do rozmiaru atomów (odpowiadających rozmiarowi (zewnątrzne powłoki elektronowe) jest rzędu 10^{-4}



LINIE SIŁ POLA ELEKTRYCZNEGO



LINIE SIŁ POLA ELEKTRYCZNEGO



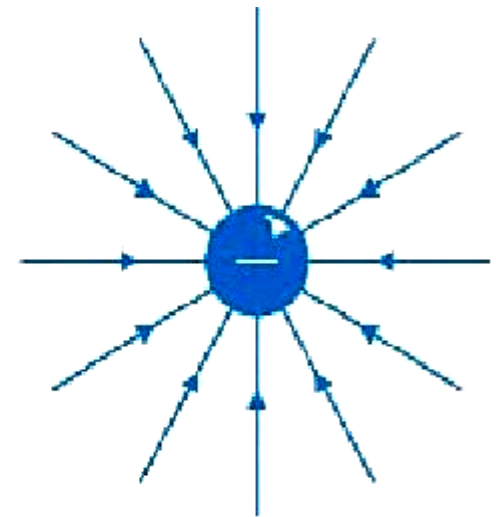
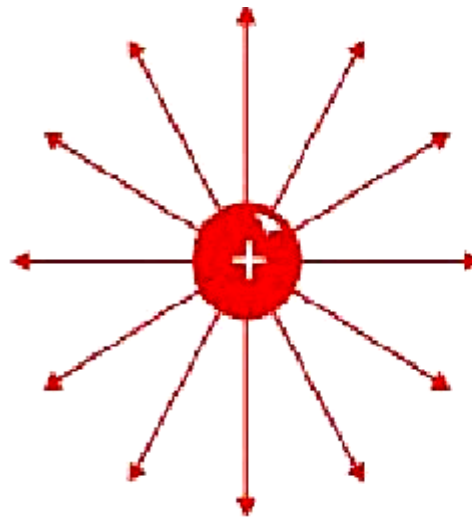
Linie sił pola elektrycznego wytworzonego przez dodatnio naładowaną, płaską, nieskończenie wielką płytę.

Linie sił pola ładunku punktowego

Jest to pole centralne – siły działają wzdłuż promienia

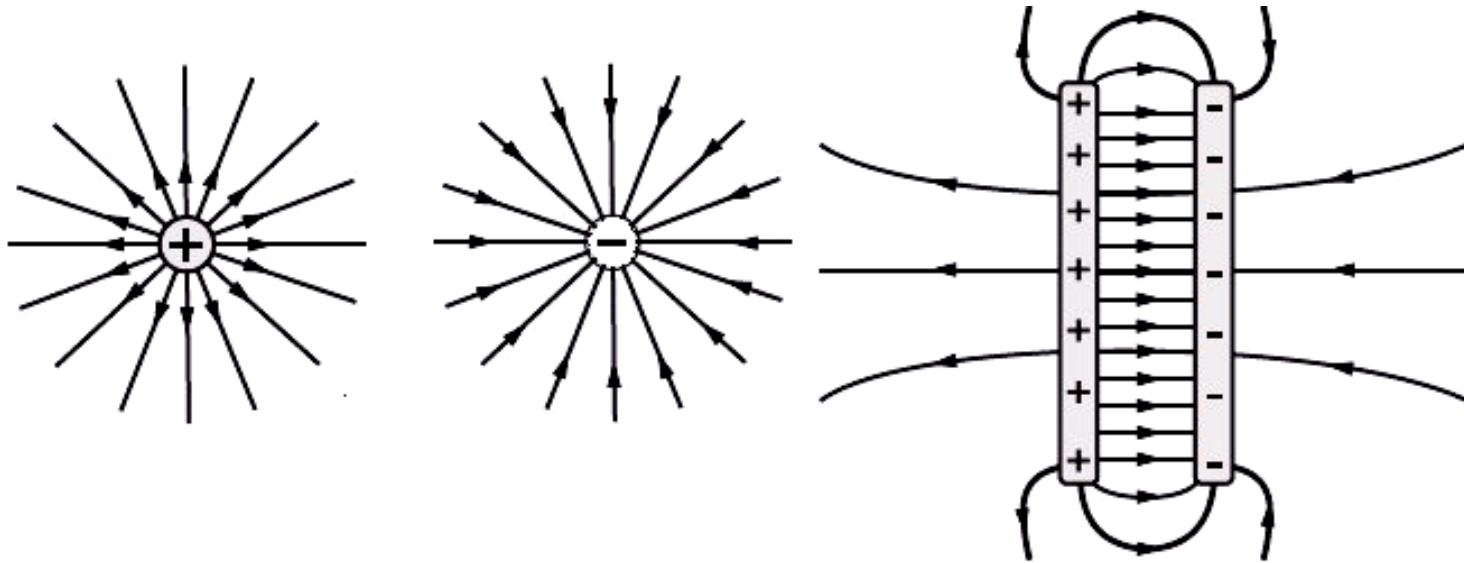
LINIE SIŁ POLA ZACZYNAJĄ SIĘ ZAWSZE NA ŁADUNKACH DODATNICH, A KOŃCZĄ NA ŁADUNKACH UJEMNYCH.

W NIEKTÓRYCH PRZYPADKACH LINIE SIŁ POLA BIEGNĄ DO NIESKOŃCZONOŚCI → uważamy wtedy, że odpowiednie ładunki, na których te linie się kończą, znajdują się nieskończenie daleko.



Całkowita liczba linii sił w dowolnej odległości od ładunku jest zawsze taka sama

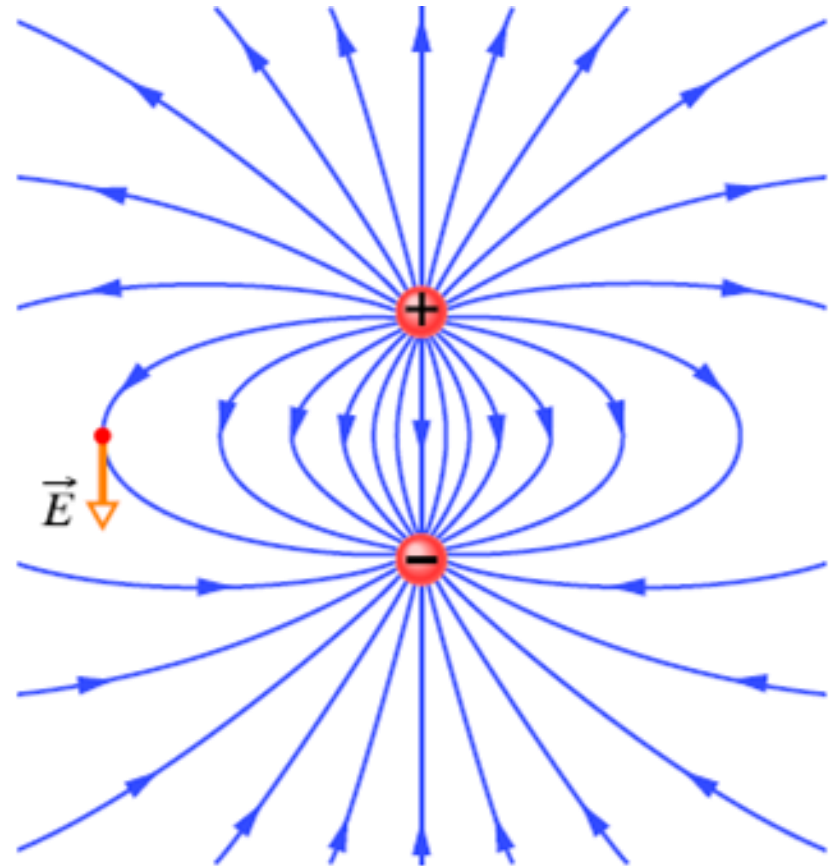
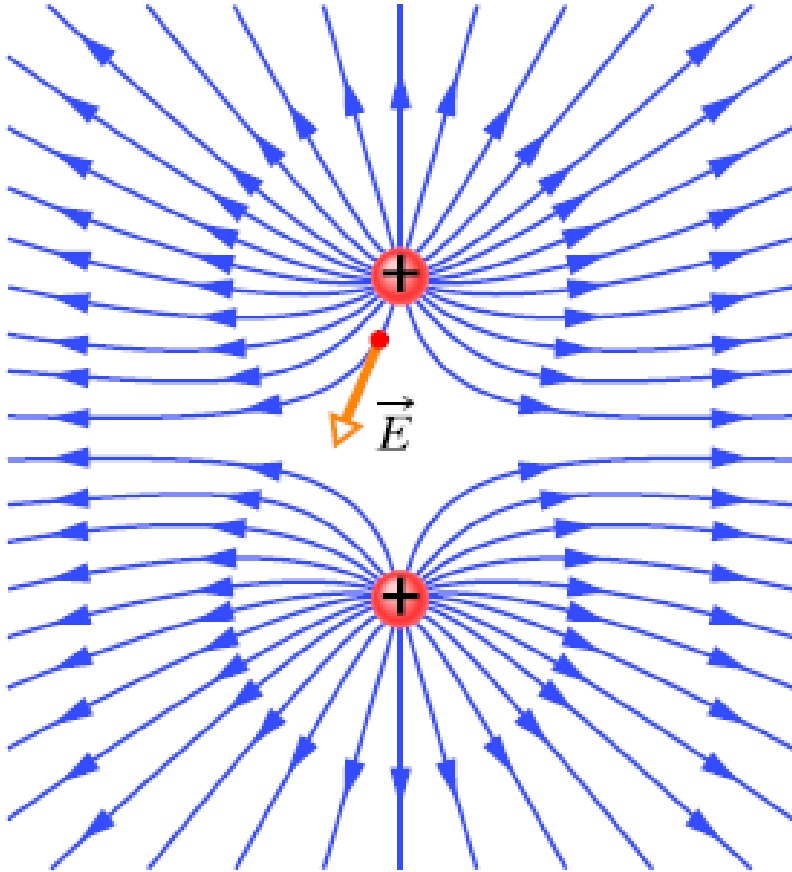
LINIE SIŁ POLA ELEKTRYCZNEGO



POLE CENTRALNE to pole wytworzone przez dodatni lub ujemny ładunek punktowy. Linie pola centralnego rozchodzą się promieniście i przecinają się w miejscu, w którym znajduje się ładunek będący źródłem tego pola. Linie te są zwrócone tak jak siły, które działałyby na umieszczony w tym polu ładunek próbny. Pole centralne nazywamy polem kulombowskim.

POLE JEDNORODNE to pole wytworzone przez dwie równoległe, płaskie płytki naelektryzowane ładunkami o takiej samej wartości i o przeciwnym znaku. Linie pola jednorodnego są do siebie równoległe i są zwrócone od płytki dodatniej do ujemnej.

LINIE SIŁ POLA ELEKTRYCZNEGO



Linie sił pola dla dwóch jednoimiennych i różnoimiennych ładunków punktowych.

Ładunki jednoimienne – odpychają się, różnoimienne – przyciągają się.

\vec{E} - WEKTOR NATĘŻENIA POLA ELEKTRYCZNEGO w każdym punkcie jest styczny do linii sił pola przechodzącej przez ten punkt.

LINIE SIŁ POLA ELEKTRYCZNEGO

Dla układu wielu ładunków, układ linii sił jest bardzo złożony, a linie sił nie są półprostymi, lecz liniami o bardziej złożonym przebiegu.

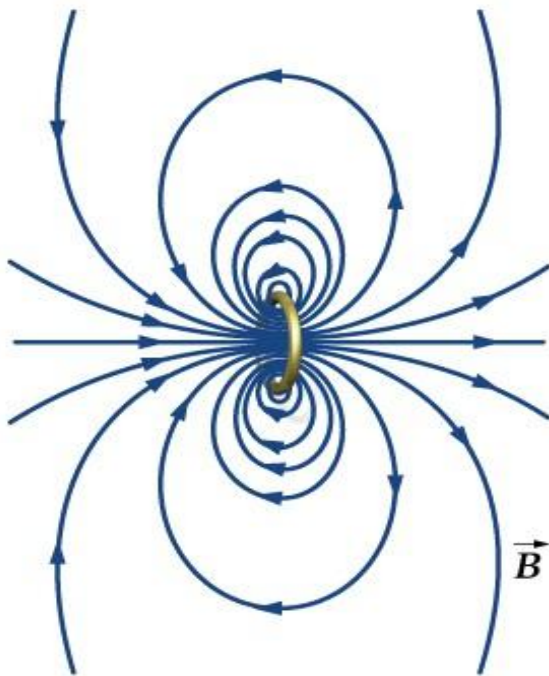
Niezależnie jednak od kształtu pola (wyznaczonego graficznie przez układ linii sił) linie sił pola elektrostatycznego są zawsze liniami „otwartymi” (w przeciwieństwie do linii „zamkniętych” – np. pole magnetyczne), tzn. zaczynają się na powierzchni danego ładunku w przypadku pola ładunku punktowego lub kończą się na innych ładunkach w przypadku pola wytwarzanego przez układ ładunków.

Taka właściwość posiadają tylko pola źródłowe. „Otwarte” linie sił są więc cechą PÓL ŹRÓDŁOWYCH.

ŹRÓDŁEM LINII SIŁ POLA ELEKTROSTATYCZNEGO SĄ NIERUCHOME ŁADUNKI ELEKTRYCZNE WYTWARZAJĄCE POLA ROZCIĄGAJĄCE SIĘ W NIESKOŃCZONOŚĆ.

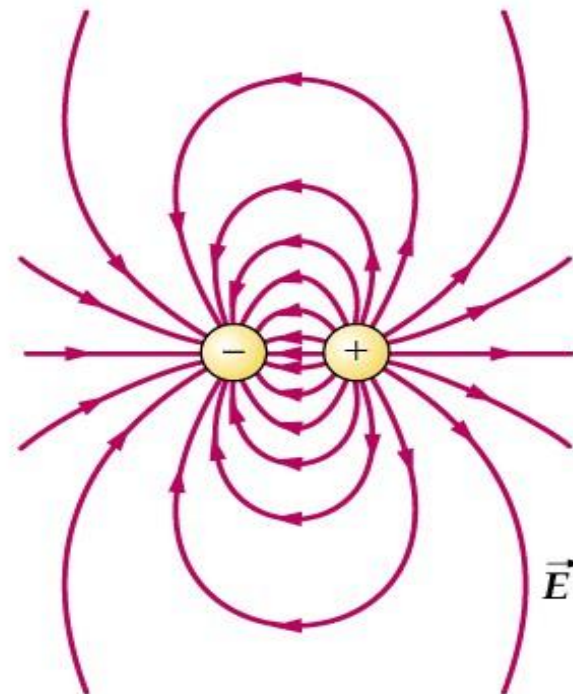
Do celów analizy pól nie jest jednak dogodnie używanie siły działającej na ładunki wprowadzone do tego pola, gdy siła ta zależy jednocześnie od wartości Q_1 i Q_2 . Dlatego też wprowadza się pojęcie: NATEŻENIA POLA ELEKTRYCZNEGO

PORÓWNANIE PÓL: MAGNETYCZNEGO I ELEKTRYCZNEGO



Linie sił pola magnetycznego są krzywymi zamkniętymi:

Pole magnetyczne jest „polem bezźródłowym” w tym sensie, że nie istnieją ładunki magnetyczne



Linie sił pola elektrycznego wychodzą ze źródła – ładunku dodatniego a kończą się na ładunku ujemnym:

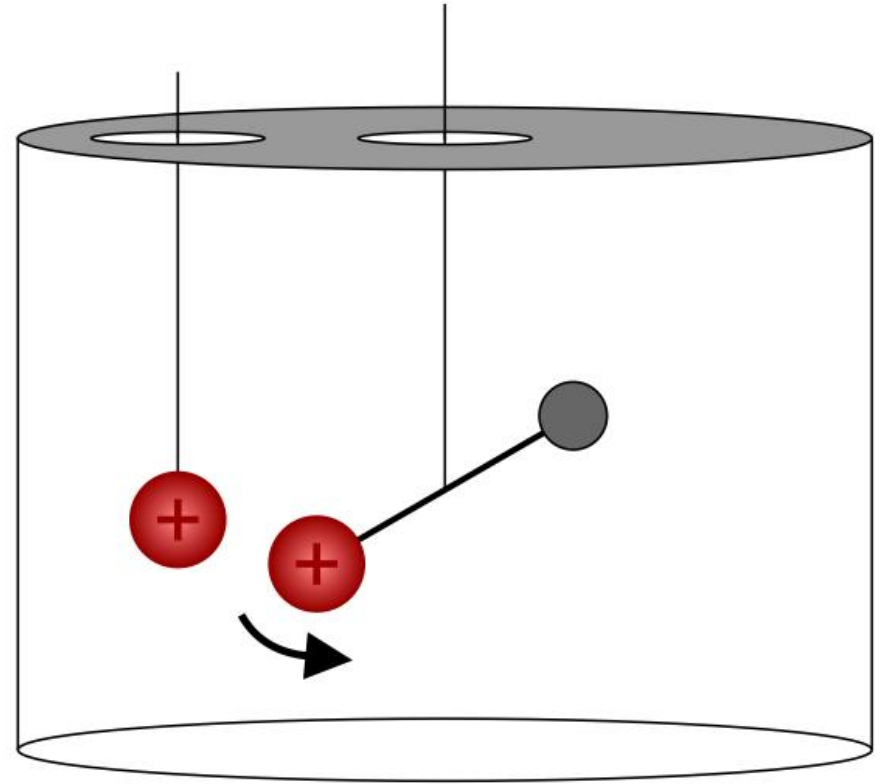
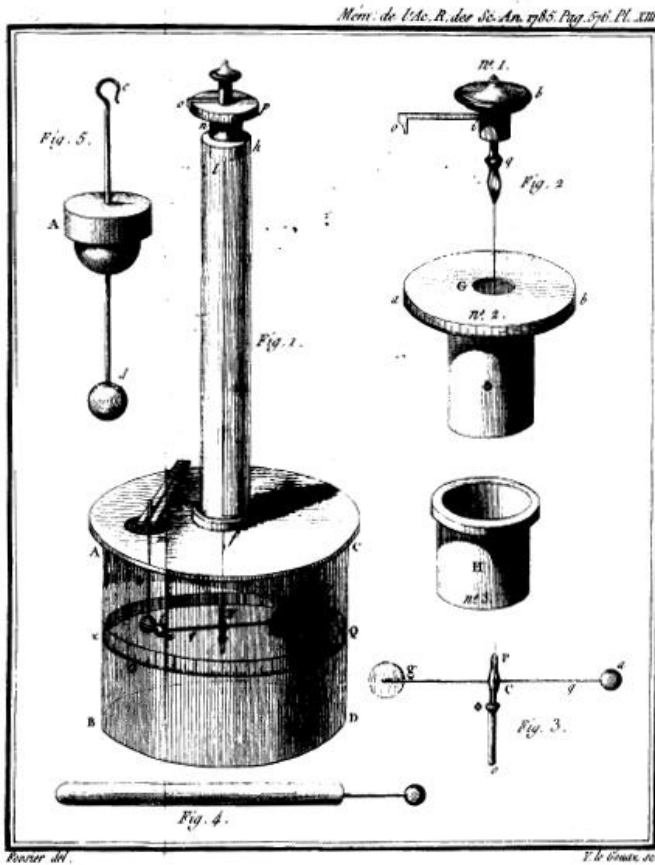
Pole elektryczne jest „polem źródłowym” w tym sensie, że istnieją ładunki elektryczne, z których „wychodzą” lub na których kończą się linie sił pola elektrycznego

PRAWO COULOMBA

PRAWO COULOMBA

- W starożytności odkryto, że pocierając futrem o bursztyn, ten zyskuje niezwykłą właściwość przyciągania drobnych obiektów. Przez kolejne wieki nauczono się w ten sposób gromadzić na obiektach coraz to większe ładunki i przenosić je przy pomocy dotyku z jednego obiektu na drugi.
- Ówcześni uczeni nie wiedzieli, że materia składa się z atomów, a elektryczność traktowali jak płyn, podobny w swej naturze do wody. Cała zebrana wtedy wiedza pochodziła z szeregu eksperymentów na zwykłych przedmiotach, a największy rozgłos zyskał eksperyment przeprowadzony przez Charlesa Coulomba
- Wewnątrz szklanego naczynia, na cienkim włóknie zawiesił igłę. Na jednym jej końcu umieścił mosiężną sferę, na drugim końcu przeciwwagę, tak by całość utrzymywała równowagę. Następnie umieścił w naczyniu drugą, naładowaną wcześniej sferę. Po zetknięciu się sfer następował podział ładunku między nimi, po czym zaczęły się one odpychać.
- Mierząc kąt obrotu igły, powtarzając eksperyment z nieco innymi warunkami, był w stanie opisać naturę występującej między ładunkami siły, formułując w 1785 r. Prawo Coulomba dotyczące oddziaływania dwu nieruchomych, punktowych ładunków elektrycznych.

PRAWO COULOMBA



Po lewej rycinie aparatury Coulomba, po prawej schemat jej działania

PRAWO COULOMBA

Siła oddziaływania elektrostatycznego F dwóch ładunków punktowych o wartościach Q_1 i Q_2 (q_1 i q_2), umieszczonych w próżni (ośrodku) i oddalonych od siebie o r (R) jest określona równaniem

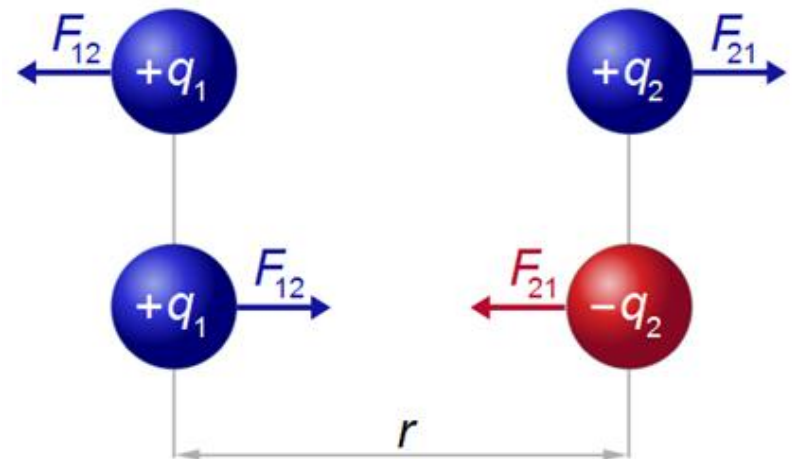
$$F = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{R^2} = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} [N]$$

Wartość siły F oddziaływania dwóch ładunków punktowych (lub ciał kulistych równomiernie naładowanych) jest wprost proporcjonalna do wielkości ładunków q_1 i q_2 , a odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości r między nimi.

Ze zmniejszania się siły oddziaływania elektrostatycznego F z kwadratem odległości r od ładunków, wynika jego ograniczony zasięg.

Siła Coulomba to wielkość wektorowa

Każda znana nam w fizyce siła jest wielkością wektorową. Weźmy na przykład siłę grawitacji. Nie ważne jak wysoko podskoczysz, grawitacja zawsze ściągać cię będzie w dół. **Ma ona więc określony i niezmienny kierunek oddziaływania i zasada ta dotyczy każdej siły.**



PRAWO COULOMBA

Słowny opis Prawa Coulomba mówi jedynie o pewnej proporcjonalności. Wiemy, że siła zwiększa się wraz z wartością ładunków i malejącą odległością, ale nie wiemy jak bardzo. Do określenia tego służą stałe fizyczne i jedną z nich jest stała elektrostatyczna k (zwana też stałą Coulomba).

$$F = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{R^2} = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r} \frac{Q_1 \cdot Q_2}{R^2} [N]$$

Stałą k ma dwojaki zadanie. Przede wszystkim dzięki niej wyniki obliczeniowe zgadzają się z eksperymentalnymi (bez niej uzyskiwalibyśmy jakieś absurdalnie małe liczby!). Po drugie w trakcie obliczeń jednostki odpowiednio się „skracają” przez co uzyskana w wyniku siła wyrażona jest prawidłowo w niutonach.

Przenikalność elektryczna próżni (stała dielektryczna) – wielkość równa liczbowo sile, z jaką oddziałują na siebie dwa ładunki 1 C znajdujące się w odległości 1m w próżni.

$$\epsilon_0 = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{4\pi \cdot F \cdot R^2} \quad \rightarrow \quad \epsilon_0 = 8,859 \cdot 10^{-12} [C^2 N^{-1} m^{-2}]$$

PRAWO COULOMBA

$$k = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r} = \frac{8.9875 \cdot 10^9}{\epsilon_r} \left[N \cdot m^2 \cdot C^{-2} \right]$$

$$F = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{R^2} \rightarrow k = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} = 8.9875 \cdot 10^9 \left[N \cdot m^2 \cdot C^{-2} \right] \rightarrow \text{dla próżni}$$



Dla ośrodka innego niż próżnia, wprowadza się pojęcie względnej przenikalności elektrycznej ośrodka i wyraża się liczbą niemianowaną ϵ_r

Znając ϵ_r i ϵ_0 możemy określić przenikalność elektryczną ϵ każdego ośrodka materialnego:

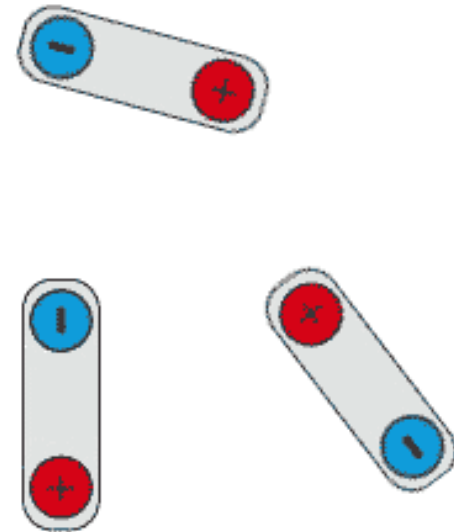
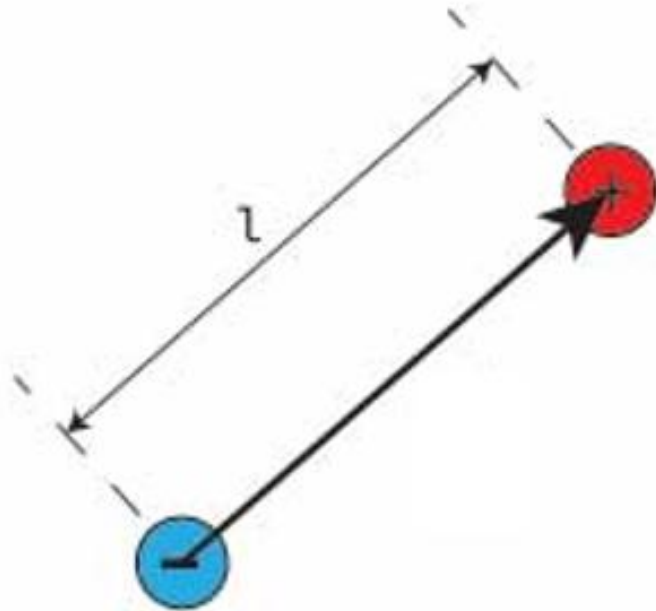
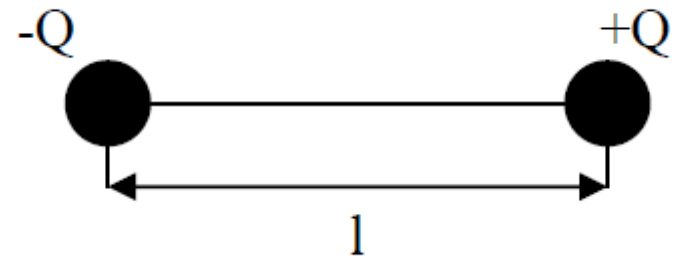
$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$$

Ośrodek	Względna przenikalność elektryczna ϵ_r
Próżnia	1
Powietrze	1.0006
Parafina	2.0
Nafta	2.0
Olej transformatorowy	2.2
Benzen	2.3
Chloroform	4.8
Szkło	5÷10
Alkohol	27
Woda	81

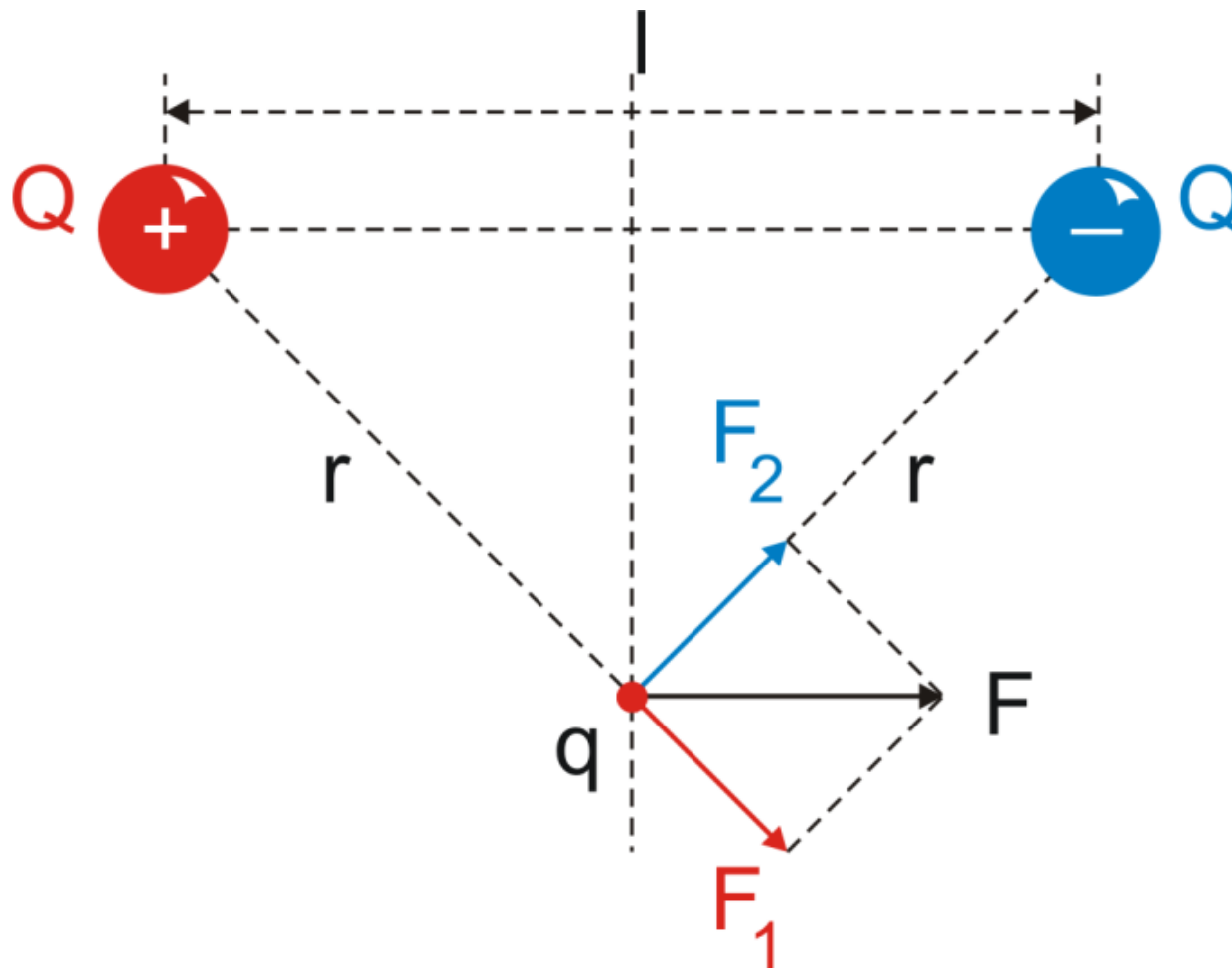
DIPOL ELEKTRYCZNY

Dipolem elektrycznym nazywamy układ dwóch ładunków elektrycznych równych co do wartości lecz o przeciwnych znakach znajdujących się względem siebie w pewnej skończonej odległości.

Dipol elektryczny ma tę własność, że umieszczony w ZEWNĘTRZNYM POLU ELEKTRYCZNYM obraca się i ustawia stycznie do linii sił pola elektrycznego.



DIPOL ELEKTRYCZNY - PRAWO COULOMBA



Siły wywierane przez dipol elektryczny (dwa ładunki przeciwnych znaków oddalonych o l) na ładunek q

NATEŻENIE POLA ELEKTRYCZNEGO

NATĘŻENIE POLA ELEKTRYCZNEGO

Przestrzeń otaczająca ładunki elektryczne posiada taką właściwość, że na umieszczone w dowolnym jej punkcie inne ładunki działa siła $F \rightarrow$ siłą Coulomba \rightarrow wokół ładunków elektrycznych istnieje pole elektryczne.

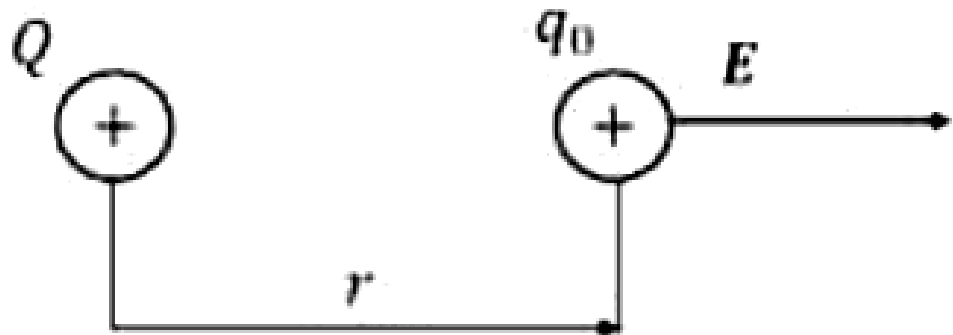
Istnienie pola elektrycznego można wykryć wprowadzając do przestrzeni w której ono działa, ładunek próbny q_0 , na który działa siła F .

Aby uprościć analizę oddziaływania siły elektrostatycznej w danej przestrzeni bez konieczności wprowadzania ładunku próbnego wprowadza się pojęcie

Natężenie pola elektrycznego E definiuje się jako stosunek siły F , działającej na dodatni ładunek próbny q_0 , do wartości tego ładunku.

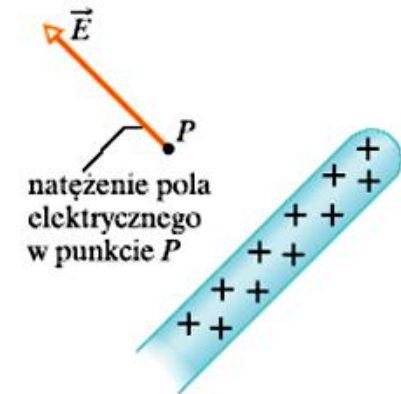
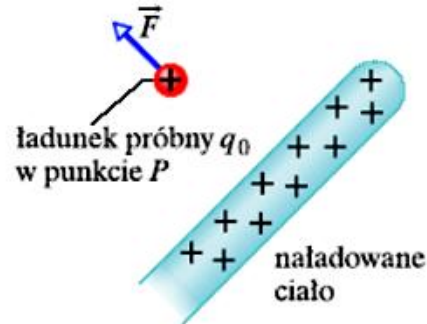
Ładunek próbny jest z założenia tak mały, że nie powoduje żadnych zmian w polu elektrostatycznym (np. kula ziemiska – człowiek).

$$E = \frac{F}{q_0} \left[\frac{N}{C} \right]$$

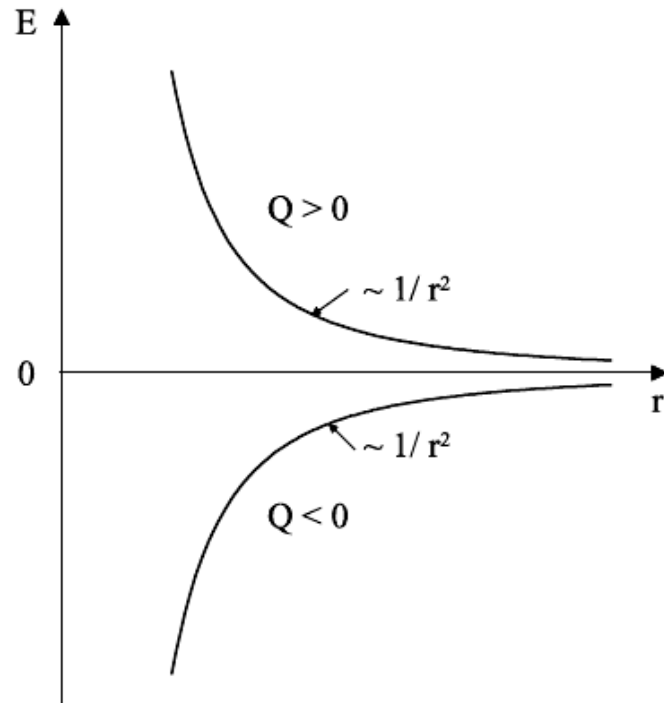


NATĘŻENIE POLA ELEKTRYCZNEGO

Natężenie pola elektrycznego jest wielkością wektorowa i charakteryzuje dany punkt pola niezależnie od wartości ładunku q_0 wprowadzonego do tego pola.



$$E = \frac{F}{q_0} = \frac{Q \cdot q_0}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot q_0 \cdot r^2} = \frac{Q}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot r^2} \propto \frac{Q}{r^2}$$



Natężenie pola elektrycznego wytwarzanego przez ładunek punktowy (źródło punktowe) jest proporcjonalne do wartości wytwarzającego je ładunku i maleje proporcjonalnie do kwadratu odległości od obiektu wytwarzającego pole.

NATĘŻENIE POLA ELEKTRYCZNEGO

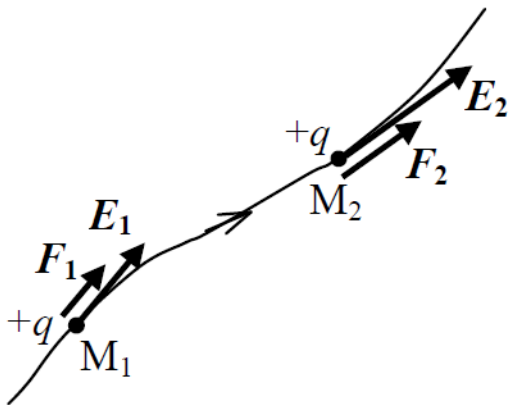
Przestrzeń otaczająca ładunki elektryczne posiada taką właściwość, że na umieszczone w dowolnym jej punkcie inne ładunki działa siła $F \rightarrow$ wokół ładunków elektrycznych istnieje pole elektryczne.

Istnienie pola elektrycznego można wykryć wprowadzając do przestrzeni w której ono działa, ładunek próbny q_0 , na który działa siła F

Natężenie pola elektrycznego E definiuje się jako stosunek siły F , działającej na dodatni ładunek próbny q_0 , do wartości tego ładunku.

Ładunek próbny jest z założenia tak mały, że nie powoduje żadnych zmian w polu.

$$E = \frac{F}{q_0} \left[\frac{N}{C} = \frac{J / m}{A \cdot s} = \frac{V \cdot A \cdot s}{m \cdot A \cdot s} = \frac{V}{m} \right]$$



NATĘŻENIE POLA ELEKTRYCZNEGO JEST WEKTOREM.

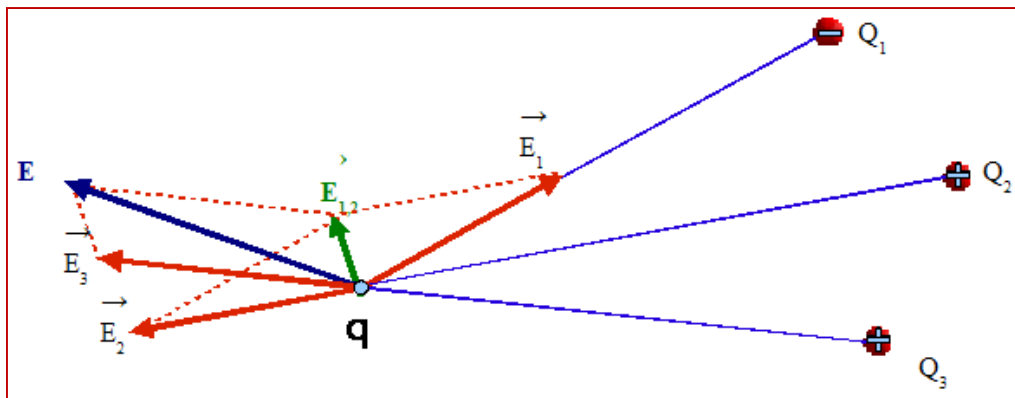
W każdym punkcie pola wektor E może mieć inną wartość i inny kierunek. Styczna do linii sił pola w dowolnym punkcie pola wyznacza kierunek natężenia pola E w tym punkcie. Siła F działająca na ładunek elektryczny q_0 w polu elektrycznym E , jest więc skierowana stycznie do linii pola i wynosi $\rightarrow F = q_0 \cdot E$

NATĘŻENIE POŁA ELEKTRYCZNEGO ZASADA SUPERPOZYCJI

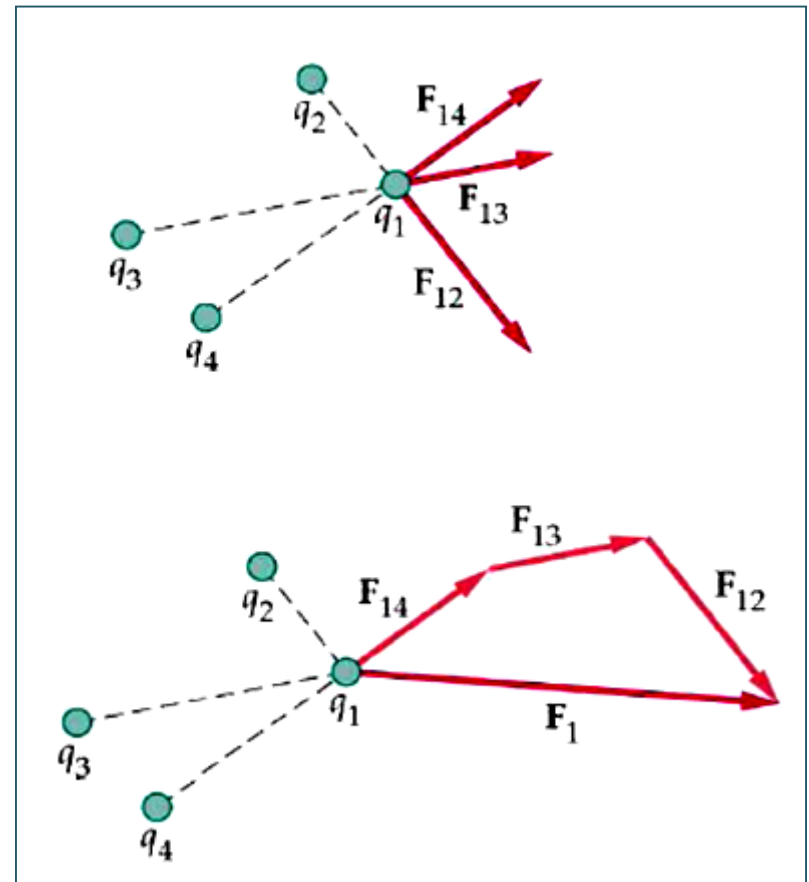
Natężenie pola elektrostatycznego wytworzonego przez kilka ładunków możemy obliczyć w każdym punkcie przestrzeni (np. q) jako sumę wektorów natężeń pól wytworzonych w tym punkcie przez każdy ładunek z osobna Q_n

$$\mathbf{F} = \sum_{i=1}^n \mathbf{F}_n$$

$$\mathbf{E} = \sum_{i=1}^n \mathbf{E}_n$$



Natężenie pochodzące od skończonej liczby ładunków jest równe wektorowej sumie natężeń pochodzących od poszczególnych ładunków (ZASADA SUPERPOZYCJI)



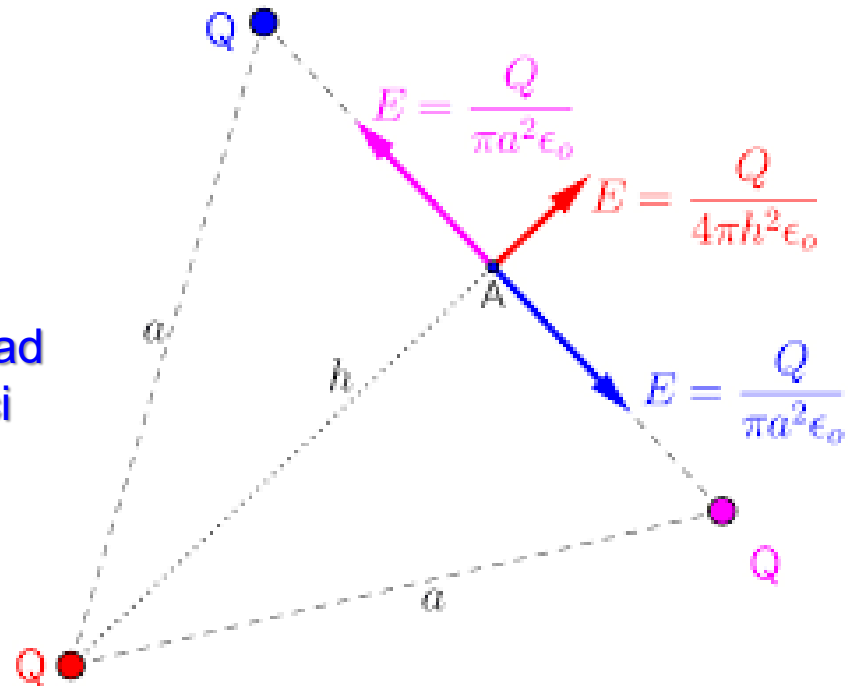
NATĘŻENIE POLA ELEKTRYCZNEGO ZASADA SUPERPOZYCJI

Natężenie pola elektrostatycznego wytworzonego przez kilka ładunków możemy obliczyć w każdym punkcie przestrzeni (np. q) jako sumę wektorów natężeń pól wytworzonych w tym punkcie przez każdy ładunek z osobna Q_n

$$\mathbf{F} = \sum_{i=1}^n \mathbf{F}_n$$

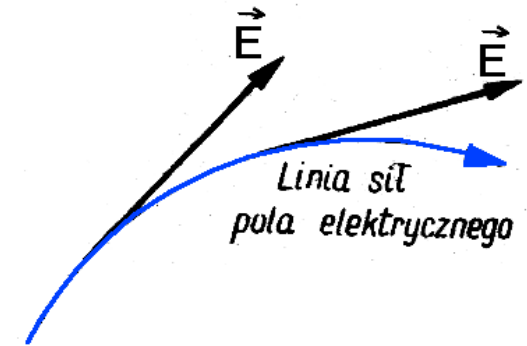
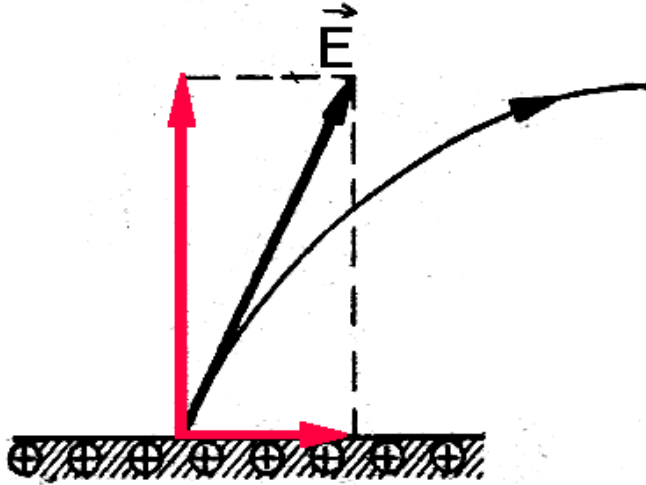
$$\mathbf{E} = \sum_{i=1}^n \mathbf{E}_n$$

Źródłem pola elektrostatycznego jest układ 3 ładunków punktowych każdy o wartości Q , umieszczonych w wierzchołkach trójkąta równobocznego o boku a . Natężenie pola elektrostatycznego w środku boku tego trójkąta



Natężenie pochodzące od skończonej liczby ładunków jest równe wektorowej sumie natężeń pochodzących od poszczególnych ładunków
(ZASADA SUPERPOZYCJI)

NATĘŻENIE POLA ELEKTRYCZNEGO



Linia sił pola elektrycznego wychodzi prostopadle z powierzchni przewodnika. Gdyby wektor natężenia pola, który jest styczny do linii sił w punkcie wyjścia tej linii, nie był prostopadły do powierzchni przewodnika, to można by go było rozłożyć na dwa składowe wektory: jeden styczny do tej powierzchni i drugi do niej prostopadły. Pod wpływem stycznego wektora natężenia pola nastąpiłby ruch ładunków elektrycznych po powierzchni przewodnika, co jest sprzeczne z ogólnym założeniem przyjętym przy rozważaniu pola elektrostatycznego (nie zmieniającego się w czasie).

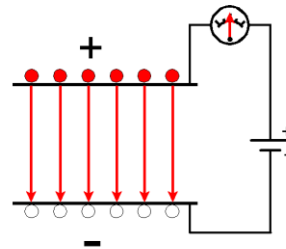
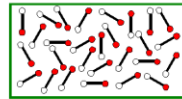
Linie sił pola elektrycznego w ujęciu dotychczasowym nie dają pojęcia o wartości natężenia pola. Można wprowadzić warunek wiążący wartość natężenia pola z zagęszczeniem linii sił pola elektrycznego. Tam, gdzie natężenie pola jest większe, będziemy rysowali linie gęściej, a tam gdzie mniejsze — rzadziej.

INDUKCJA ELEKTRYCZNA

INDUKCJA ELEKTRYCZNA

INDUKCJA ELEKTRYCZNA D (zwana też przesunięciem elektrycznym) – **wielkość wektorowa** → wektor indukcji elektrycznej D związany z wektorem natężenia pola zależnością:

W dielektryku umieszczonym w polu elektrycznym występuje polaryzacja dielektryka – orientacja istniejących dipoli elektrycznych zgodnie z liniami sił pola



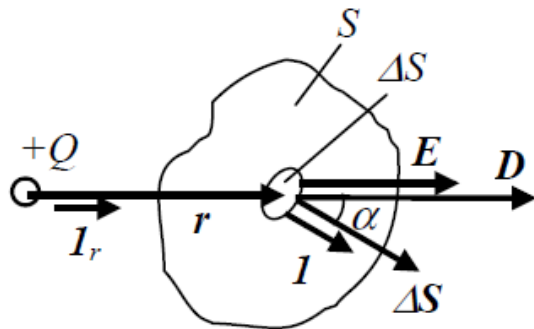
$$\mathbf{D} = \epsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P} = \epsilon_0 \epsilon \mathbf{E}$$

$$\mathbf{D} = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \mathbf{E} \left[\frac{\text{C}}{\text{m}^2} \right]$$



prawo Gaussa dla wektora indukcji elektrycznej D

$$\Phi_D = \oint_S \mathbf{D} \cdot d\mathbf{S} = Q$$



Wielkością charakteryzującą stopień polaryzacji jest tzw. wektor indukcji elektrycznej (gęstość strumienia elektrycznego)

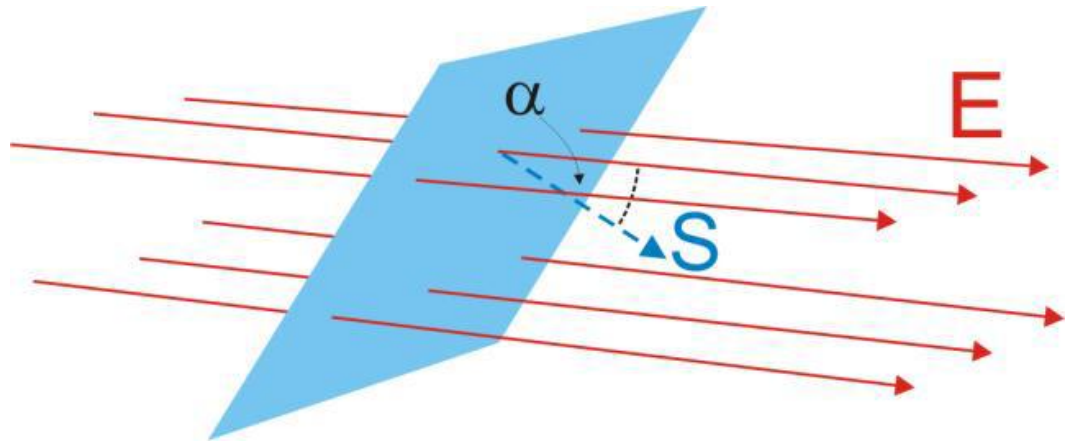
Całkowity strumień indukcji elektrycznej Φ_D przez dowolną powierzchnię zamkniętą S jest równy algebraicznej sumie Q ładunków zawartych wewnątrz tej powierzchni.

STRUMIEŃ POLA ELEKTRYCZNEGO

Strumień pola elektrycznego przez powierzchnię S definiujemy jako iloczyn skalarny wektora powierzchni \mathbf{S} i natężenia pola elektrycznego \mathbf{E} .

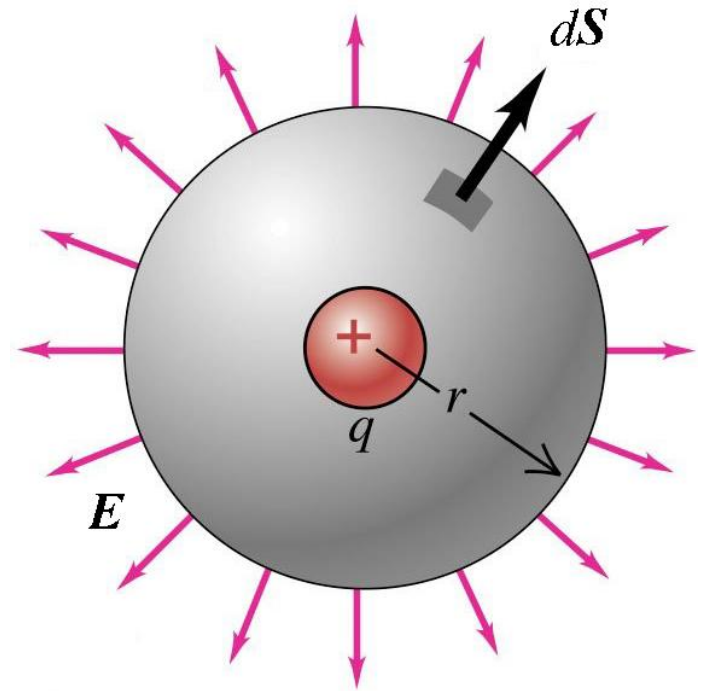
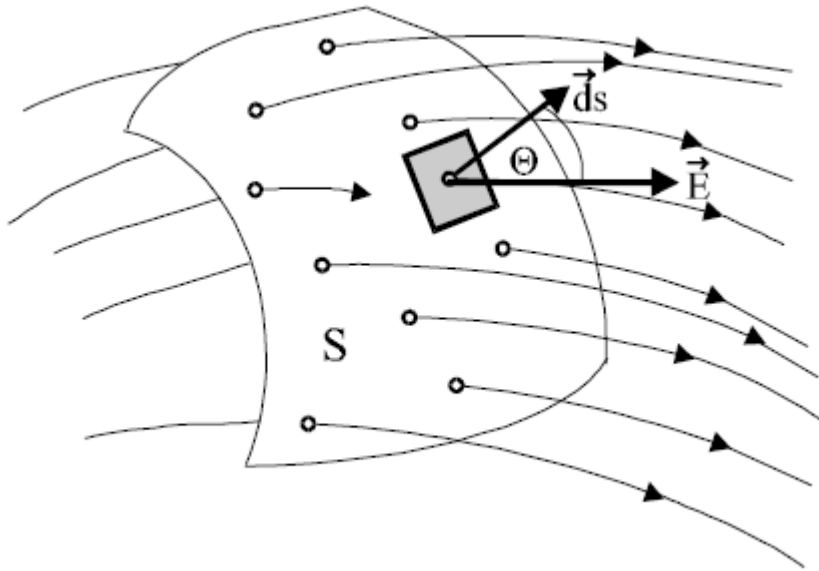
$$\Phi = \mathbf{E} \cdot \mathbf{S} \cdot \cos \phi$$

gdzie α jest kątem pomiędzy wektorem powierzchni \mathbf{S} i wektorem \mathbf{E}



STRUMIEŃ POLA ELEKTRYCZNEGO

Strumień pola elektrycznego (wielkość skalarna) przechodzący przez powierzchnię kulistą, w środku której znajduje się ładunek punktowy q .



$$\Phi = \oint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = \oint_S \frac{q}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon \cdot r^2} d\mathbf{S} = \frac{q}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon \cdot r^2} \oint_S d\mathbf{S} = \frac{q}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon} \cdot \frac{4 \cdot \pi \cdot r^2}{r^2} = \frac{q}{\epsilon} = \frac{q}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r}$$

Całkowity strumień Φ przez powierzchnię sferyczną $\rightarrow \frac{q}{\epsilon}$

STRUMIEŃ POLA ELEKTRYCZNEGO

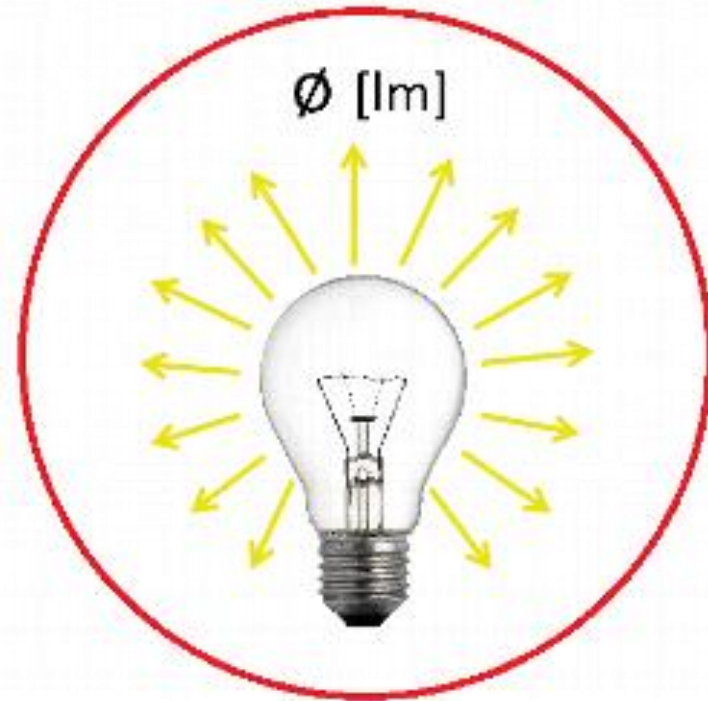
$$\Phi = \oint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = \frac{q}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r}$$

Całkowity strumień pola elektrycznego nie zależy od promienia kuli, przez którą przechodzi, a zależy jedynie od ładunku q znajdującego się wewnątrz i od przenikalności elektrycznej ośrodka.



Powyższe równanie jest spełnione także w przypadku zastąpienia kuli dowolną zamkniętą powierzchnią S

$$\Phi = \frac{1}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r} (Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n) = \frac{1}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r} \sum_{i=1}^n Q_i$$



Jeżeli wewnątrz zamkniętej powierzchni S znajduje się n ładunków $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$ (dodatnich i ujemnych), to całkowity strumień elektryczny przechodzący przez tę powierzchnię



STRUMIEŃ POLA ELEKTRYCZNEGO

- Powierzchnia S jest prostopadła do wektora natężenia pola elektrycznego E

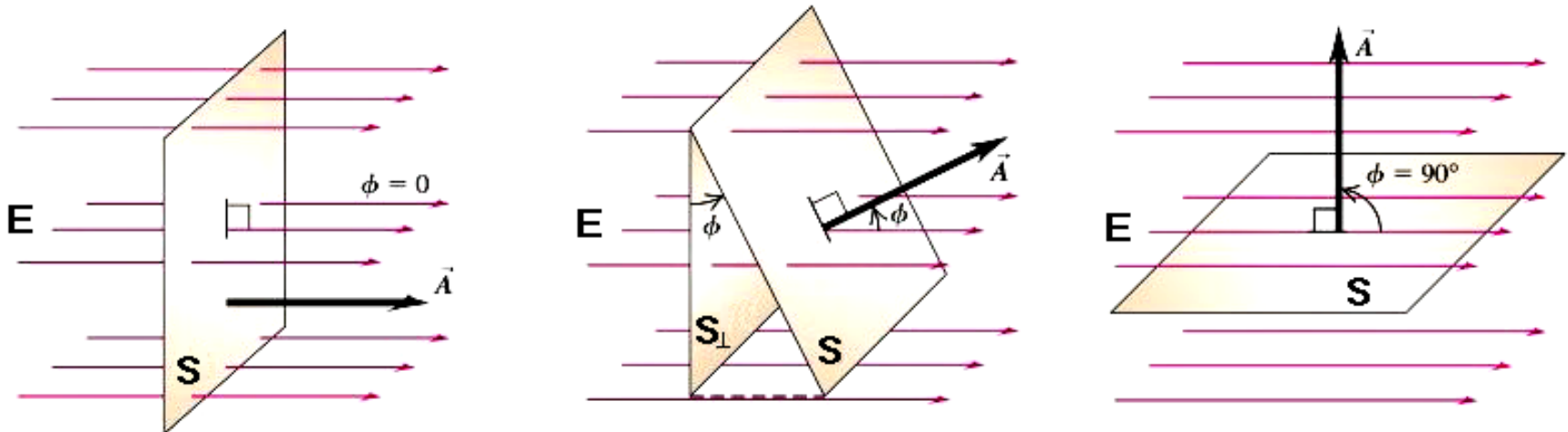
$$\Phi = E \cdot S \cdot \cos \phi = E \cdot S$$

- Powierzchnia S jest ustawiona pod kątem do wektora natężenia pola elektrycznego E

$$\Phi = E \cdot S \cdot \cos \phi$$

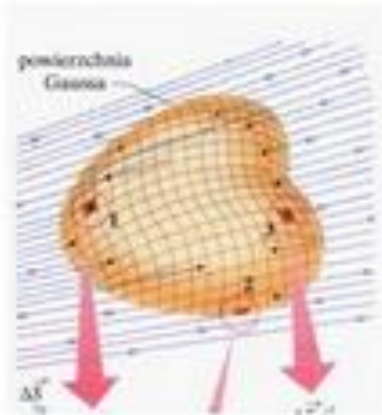
- Powierzchnia S jest prostopadła do wektora natężenia pola elektrycznego E

$$\Phi = E \cdot S \cdot \cos \phi = 0$$



Kąt ϕ → kąt pomiędzy wektorem E , a normalną do powierzchni S

STRUMIEŃ POLA ELEKTRYCZNEGO



Strumień pola elektrycznego – ‘ilość pola elektrycznego’ przechodzącego przez powierzchnię.

$$\Phi_E = \int \vec{E} \cdot d\vec{S}$$



Strumień pola magnetycznego – ‘ilość pola magnetycznego’ przechodzącego przez powierzchnię.

$$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

PRAWO GAUSSA

Jeżeli powierzchnia zamknięta obejmuje ładunki dodatnie i ujemne w takiej ilości, że ich suma algebraiczna równa się zero, to całkowity strumień elektryczny przez tę powierzchnię równa się zero.



Carl Friedrich Gauss (ur. 30 kwietnia 1777 w Brunszwiku, zm. 23 lutego 1855 w Getyndze) – niemiecki matematyk, fizyk, astronom i geodeta.

$$\Phi = \frac{1}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r} \left(\sum_{i=1}^n Q_i^+ + \sum_{i=1}^n Q_i^- \right) = 0$$

Strumień pola elektrycznego Φ przez dowolną powierzchni S zamkniętą jest równy całkowitemu ładunkowi zawartemu w tej powierzchni podzielonemu przez wartość przenikalności dielektrycznej ϵ

$$\Phi = \frac{1}{\epsilon} \sum_{i=1}^n Q_i$$

Strumień pola elektrycznego obejmowany przez dowolną powierzchnię zamkniętą jest proporcjonalny do sumy ładunków zawartych wewnątrz powierzchni.

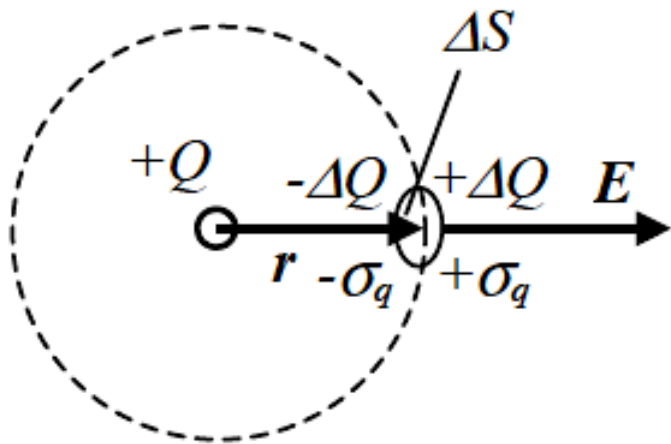
POWIERZCHNIOWA GĘSTOSC ŁADUNKU

POWIERZCHNIOWA GĘSTOŚĆ ŁADUNKU

Zakłada się, że ładunek $+Q$ został umieszczony w środku kuli o promieniu r , a powierzchnia tej kuli jest pokryta cienką warstwą przewodzącą, która stanowi osłonę elektrostatyczną (ekran) ładunku.

Na zasadzie zjawiska indukcji elektrostatycznej (influencji), po wewnętrznej stronie osłony gromadzi się ładunek $-Q$, a po zewnętrznej ładunek $+Q$.

Powierzchniowa gęstość ładunku (po wewnętrznej stronie – ujemnego, po zewnętrznej – dodatniego)



$$\sigma_q = \frac{Q}{4\pi \cdot r^2}$$

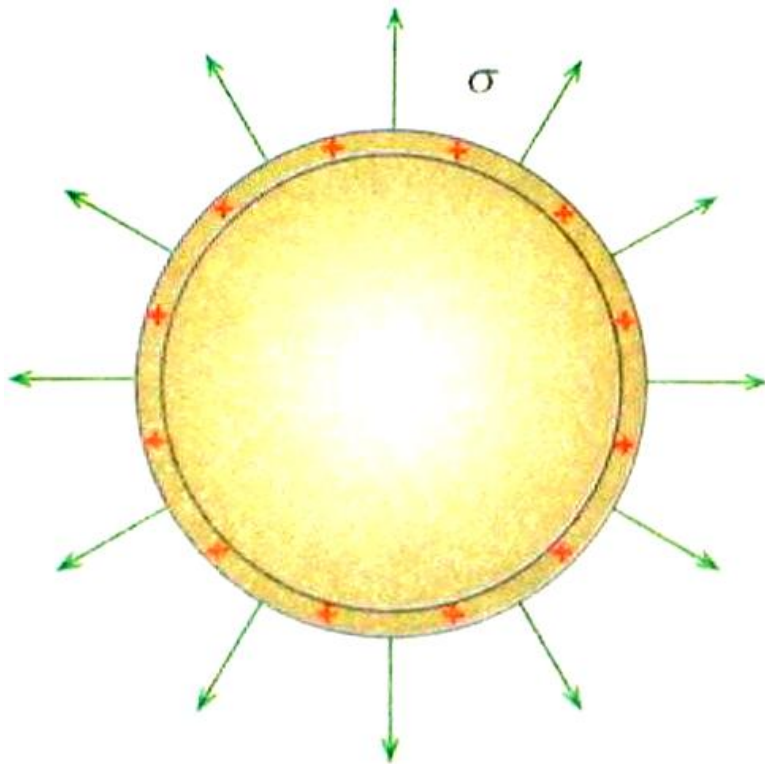
Jeśli ładunek Q jest osłonięty dowolną, zamkniętą warstwą przewodzącą, to po zewnętrznej stronie tej warstwy, niezależnie od kształtu jej powierzchni S , indukuje się ładunek o łącznej wartości Q :

$$\sum_s \Delta q = Q$$

POWIERZCHNIOWA GĘSTOŚĆ ŁADUNKU

Michał Faraday zaobserwował, że ładunki gromadzą się na zewnętrznej powierzchni przewodnika.

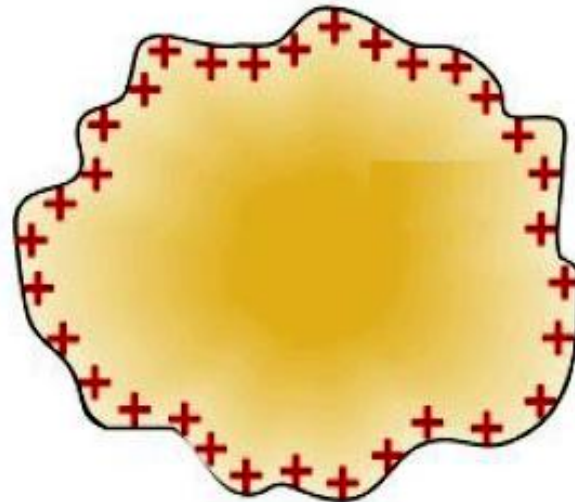
Co więcej, pole elektryczne nie przenika poprzez przewodniki. Zjawisko to nazywamy *ekranowaniem*.



W naelektryzowanym przewodniku ładunki gromadzą się wyłącznie na powierzchni ciała. Ładunki odpychając się nie mogą gromadzić w środku ciała.

Ładunki układają się na powierzchni ciała w taki sposób, że natężenie pola wewnątrz przewodnika jest równe zero.

Powoduje to między innymi, że najwięcej ładunków gromadzi się na ostrych częściach przewodnika.



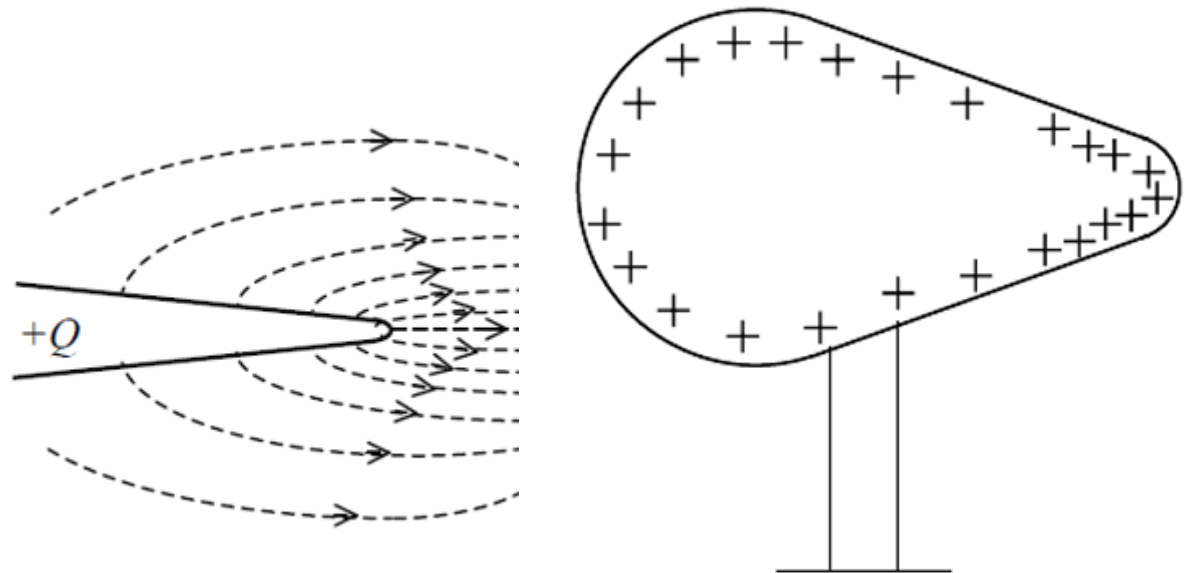
POWIERZCHNIOWA GĘSTOŚĆ ŁADUNKU

Powierzchniowa gęstość ładunku na danym przewodniku zależy od kształtu jego powierzchni. Największa gęstość ładunku występuje na najbardziej zakrzywionych fragmentach powierzchni, charakteryzujących się najmniejszym promieniem krzywizny; dotyczy to w szczególności ostrz i występów na powierzchni przewodnika.

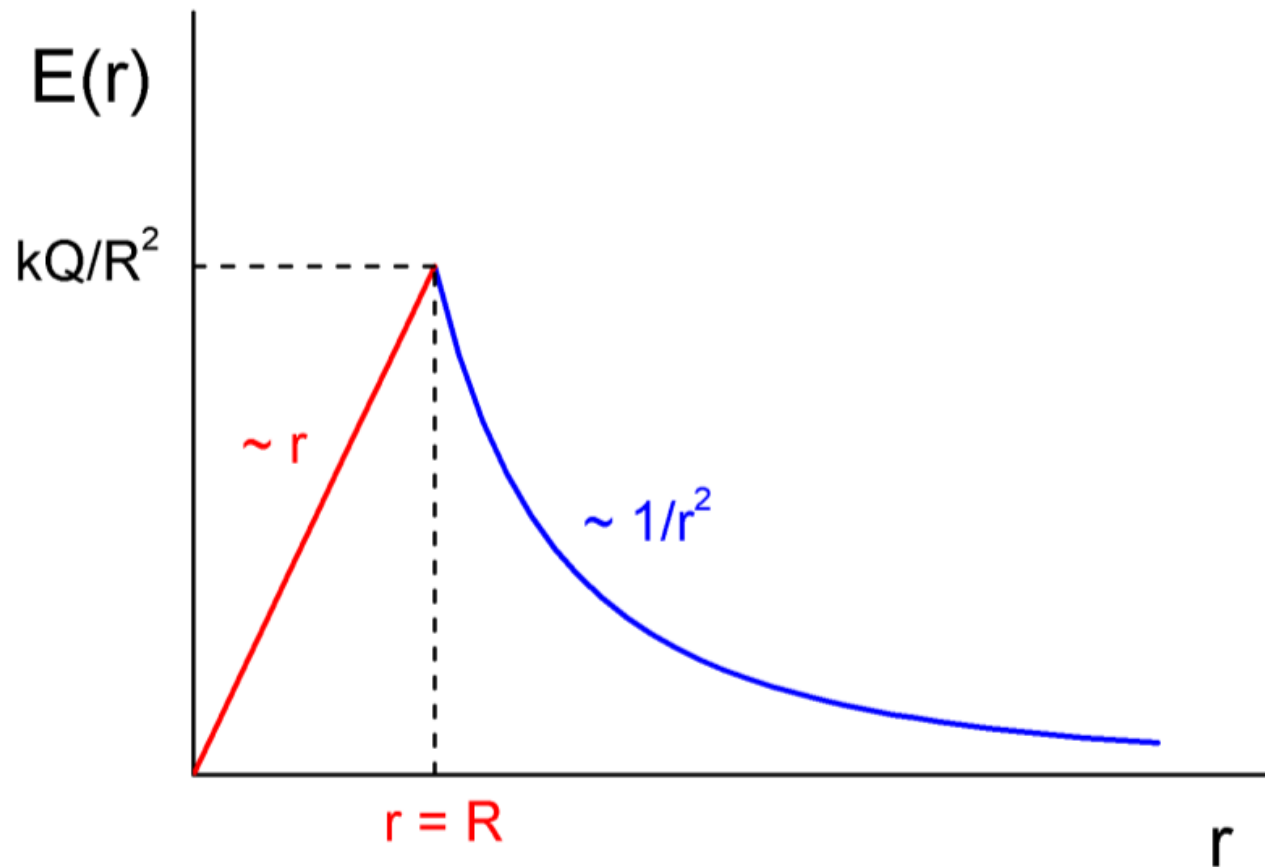
Przy dużych gęstościach ładunku elektrycznego może on przechodzić z ostrza na otaczające je cząsteczki powietrza, wywołując ich ruch w wyniku odpychania elektrostatycznego ładunków (tzw. „wiatr elektryczny”) lub wyładowanie iskrowe.

Jeżeli więc mamy powierzchnię z różnymi krzywiznami, ładunek elektryczny nie będzie się rozkładał równomiernie.

Będzie się on gromadził w miejscach o największej krzywiznie, a więc na wszelkiego rodzaju ostrzach.



POWIERZCHNIOWA GĘSTOŚĆ ŁADUNKU



Zależność pola E od odległości od środka naładowanej kuli o promieniu R

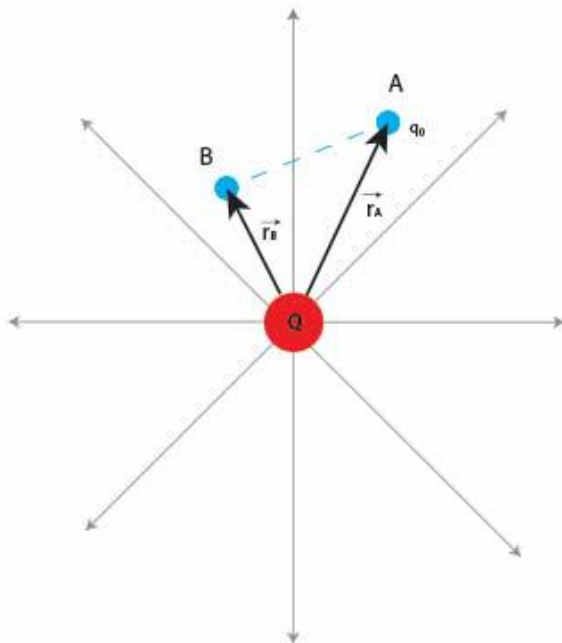
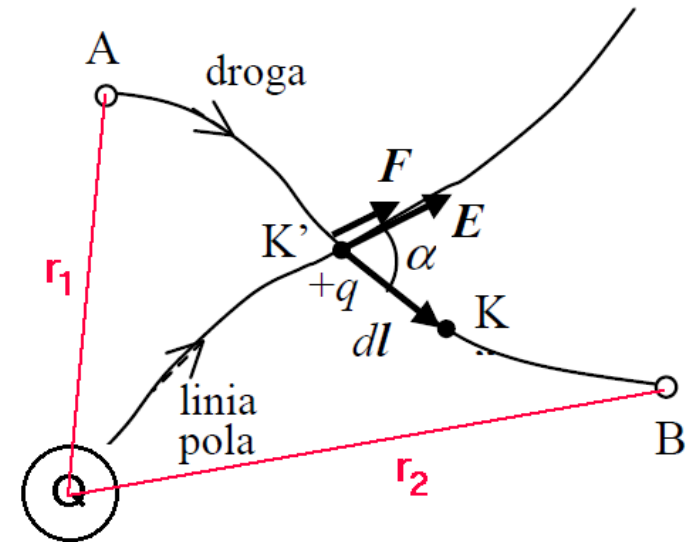
PRACA W POLU ELEKTRYCZNYM

PRACA W POLU ELEKTRYCZNYM

Na ładunek q_0 znajdujący się w polu elektrycznym działa siła F

$$F = q_0 \cdot E$$

Jeżeli dowolny ładunek $+q$ umieścimy w polu elektrostatycznym, to zacznie na niego działać siła oddziaływania elektrycznego o wartości F , która wykona na ładunku $+q$ pewną pracę W , przemieszczając go na pewnej drodze np. od A do B.



Praca ta nie zależy od drogi, po której przemieszcza się ładunek, a jedynie od położenia punktów krańcowych A i B (odległości r_1 i r_2 od ładunku Q wytwarzającego pole).

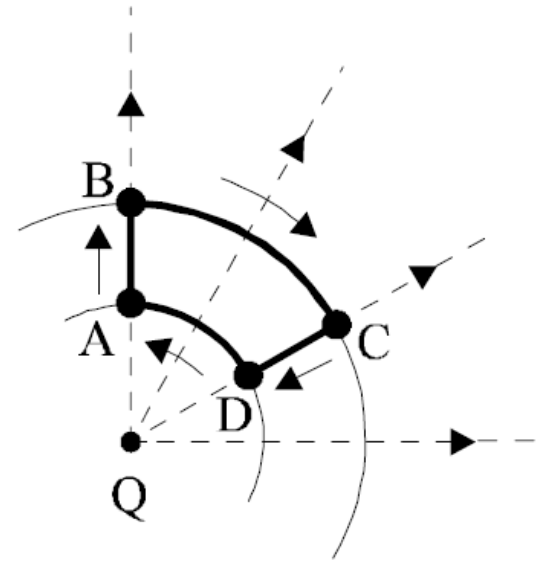
PRACA W POLU ELEKTRYCZNYM

Jeśli przeniesienie ładunku $+q$ z punktu A do punktu

- sił pola elektrycznego $W < 0$
- kosztem sił zewnętrznych $W > 0$

$$W_{AB} = \frac{Q \cdot q_0}{4\pi \cdot \epsilon_o \cdot \epsilon_r} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) = E_{pA} - E_{pB}$$

E_{pA} i E_{pB} – energia potencjalna ładunku q w punktach A i B



Odcinki AB i CD tej drogi leżą na liniach sił pola, odcinki BC i DA – na łukach okręgów (stała odległość do Q), które w każdym swym punkcie są prostopadłe do linii sił.

Praca sił pola na odcinku AB jest równa co do wartości, lecz przeciwna co do znaku względem pracy wykonanej na odcinku

$$CD \rightarrow W_{AB} = -W_{BA}$$

Prace na odcinkach BC i AD są równe zero ze względu na prostopadłość kierunków siły i przesunięcie $\rightarrow W_{BC} = W_{AD} = 0$.

Całkowita praca na drodze zamkniętej ABCDA $\rightarrow W_{ABCDA} = 0$

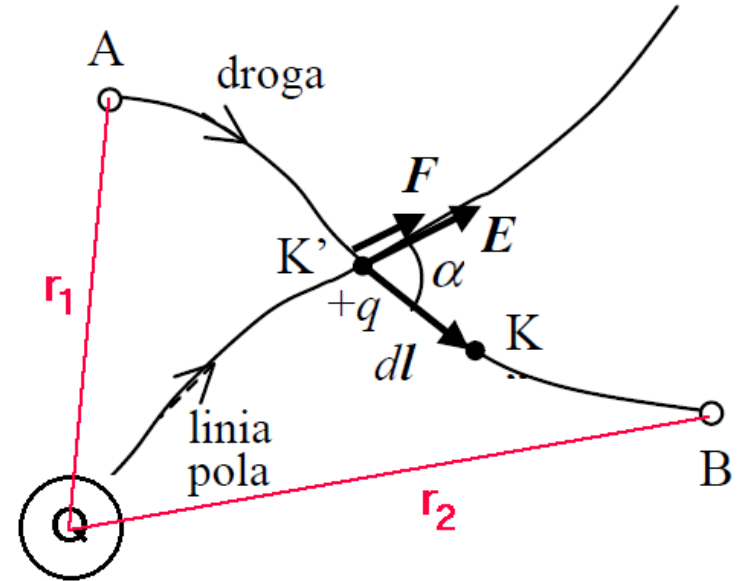
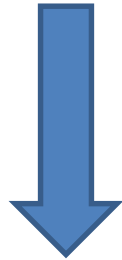
PRACA W POLU ELEKTRYCZNYM

1. Zwiększenie odległości pomiędzy dwoma różnoimiennymi ładunkami (+ i -) pod wpływem siły zewnętrznej, nie będącą siłą oddziaływania tych ładunków.

$$W_{AB} = \frac{Q \cdot q_0}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r} \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right) = E_{pB} - E_{pA}$$

$$r_1 < r_2 \Rightarrow \frac{1}{r_1} > \frac{1}{r_2}$$

Ładunki oddalają się od siebie



$$W_{AB} = -\frac{Q \cdot q_0}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot r_2} - \left(-\frac{Q \cdot q_0}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot r_1} \right) = \frac{Q \cdot q_0}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$



$$W_{AB} > 0$$

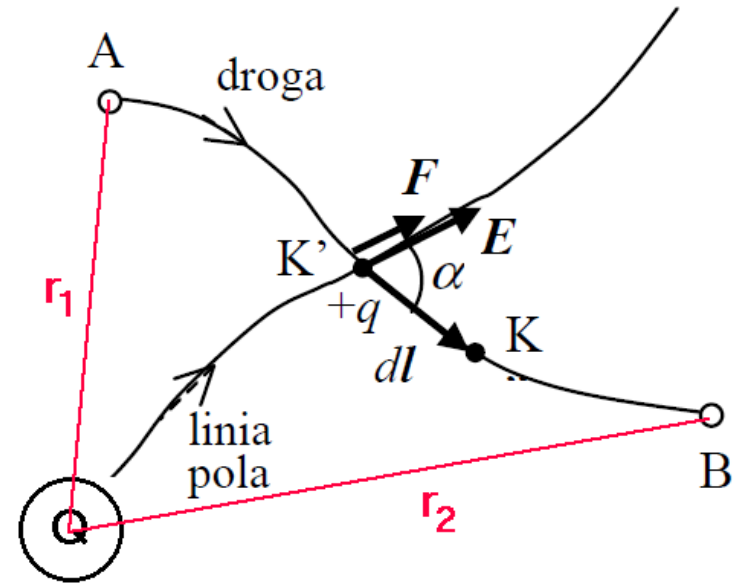
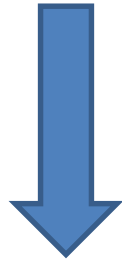
PRACA W POLU ELEKTRYCZNYM

2. Zwiększenie odległości pomiędzy dwoma jednoimiennymi ładunkami pod wpływem siły oddziaływania elektrostatycznego – siła „odpychająca”.

$$W_{AB} = \frac{Q \cdot q_0}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r} \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right) = E_{pB} - E_{pA}$$

$$r_1 < r_2 \Rightarrow \frac{1}{r_1} > \frac{1}{r_2}$$

Ładunki oddalają się od siebie



$$W_{AB} = \frac{Q \cdot q_0}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot r_2} - \left(\frac{Q \cdot q_0}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot r_1} \right) = \frac{Q \cdot q_0}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r} \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right)$$



$$W_{AB} < 0$$

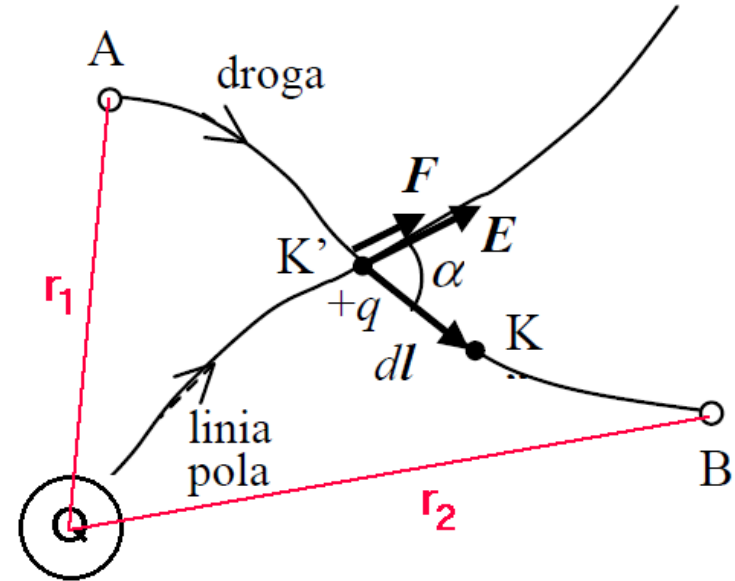
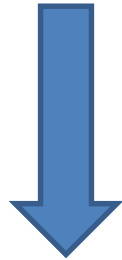
PRACA W POLU ELEKTRYCZNYM

3. Zmniejszenie odległości pomiędzy dwoma różnoimiennymi ładunkami pod wpływem siły oddziaływania elektrostatycznego – siła „przyciągająca”.

$$W = \frac{Q \cdot q_0}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r} \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right) = E_{pB} - E_{pA}$$

$$r_1 > r_2 \Rightarrow \frac{1}{r_1} < \frac{1}{r_2}$$

Ładunki zbliżają się do siebie



$$W_{AB} = -\frac{Q \cdot q_0}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot r_2} - \left(-\frac{Q \cdot q_0}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot r_1} \right) = \frac{Q \cdot q_0}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$



$$W_{AB} < 0$$

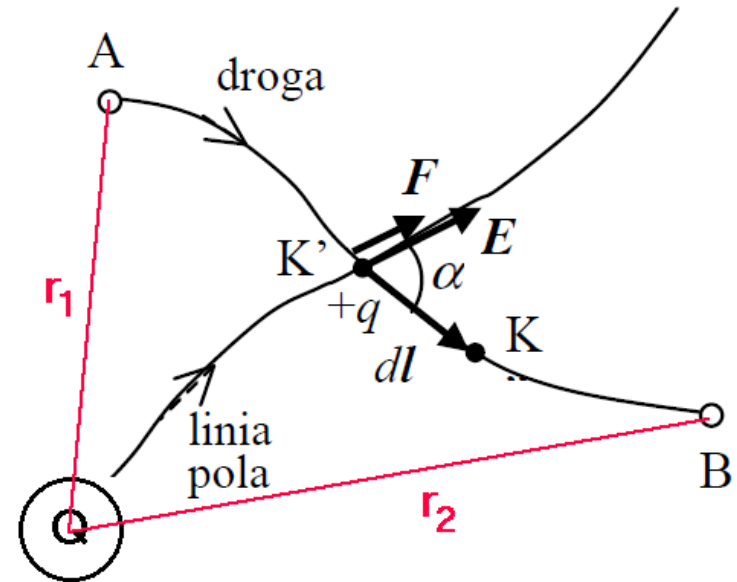
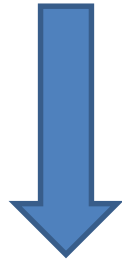
PRACA W POLU ELEKTRYCZNYM

4. Zmniejszenie odległości pomiędzy dwoma jednoimiennymi ładunkami pod wpływem siły zewnętrznej, nie będącą siłą oddziaływania tych ładunków.

$$W = \frac{Q \cdot q_0}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r} \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right) = E_{pB} - E_{pA}$$

$$r_1 > r_2 \Rightarrow \frac{1}{r_1} < \frac{1}{r_2}$$

Ładunki zbliżają się do siebie



$$W_{AB} = \frac{Q \cdot q_0}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot r_2} - \left(\frac{Q \cdot q_0}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot r_1} \right) = \frac{Q \cdot q_0}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r} \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right)$$



$$W_{AB} > 0$$

PRACA W POLU ELEKTRYCZNYM

Aby określić czy praca jest dodatnia czy ujemna, musimy się zastanowić jaki jest kąt między wektorem przyłożonej przez nas siły a wektorem przesunięcia.

$$dW = \mathbf{F} \cdot d\mathbf{l} = q \cdot \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = q \cdot E \cdot dl \cdot \cos \alpha$$

- ładunek próbny jest przyciągany przez źródło pola, a praca jaką wykonujemy przemieszcza ładunek ten bliżej źródła, to musimy zrównoważyć siłę przyciągającą (siłę Coulomba) → Przykładamy więc siłę która tworzy z wektorem przesunięcia kąt 180° . Zatem $\cos(\alpha) = -1 \rightarrow$ praca jest ujemna.
- ładunek próbny jest „oddalany” od ładunku źródłowego (ale źródło przyciąga ładunek próbny), to by zrównoważyć siłę Coulomba → przykładamy siłę równoległą do wektora przesunięcia, więc $\alpha = 0^\circ$, czyli $\cos(\alpha) = 1 \rightarrow$ praca jest dodatnia.

Można łatwo zauważyć, że jeśli na układ (np. na te dwa ładunki) działa jakaś siła zewnętrzna to praca jest dodatnia - zwiększa się energia potencjalna układu. Jeśli działa siła wzajemnych oddziaływań między ładunkami (+ przyciąga - i odwrotnie) to praca jest ujemna - zmniejsza się energia potencjalna układu.

Należy jeszcze wspomnieć, że energia potencjalna dwóch oddziałujących na siebie ładunków jednoimiennych jest dodatnia, natomiast ładunków różnoimiennych jest ujemna

ENERGIA POTENCJALNA W POLU ELEKTRYCZNYM

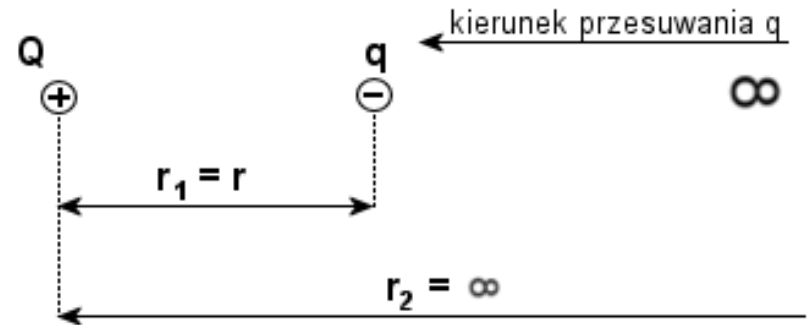
Ładunek q , znajdujący się w polu ładunku Q , ma energię potencjalną, zaś nie posiada takiej energii, gdy jest nieskończenie daleko od ładunku Q .

Aby ładunkowi q nie posiadającemu energii nadać energię, należy przesunąć go z nieskończoności do danego punktu. Uzyskana energia potencjalna równa jest wykonanej pracy:

$$E_P = W_{\infty \rightarrow r_1} = \frac{Q \cdot q}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{\infty} \right)$$

Ponieważ jeden przez nieskończoność dąży do zera, zatem:

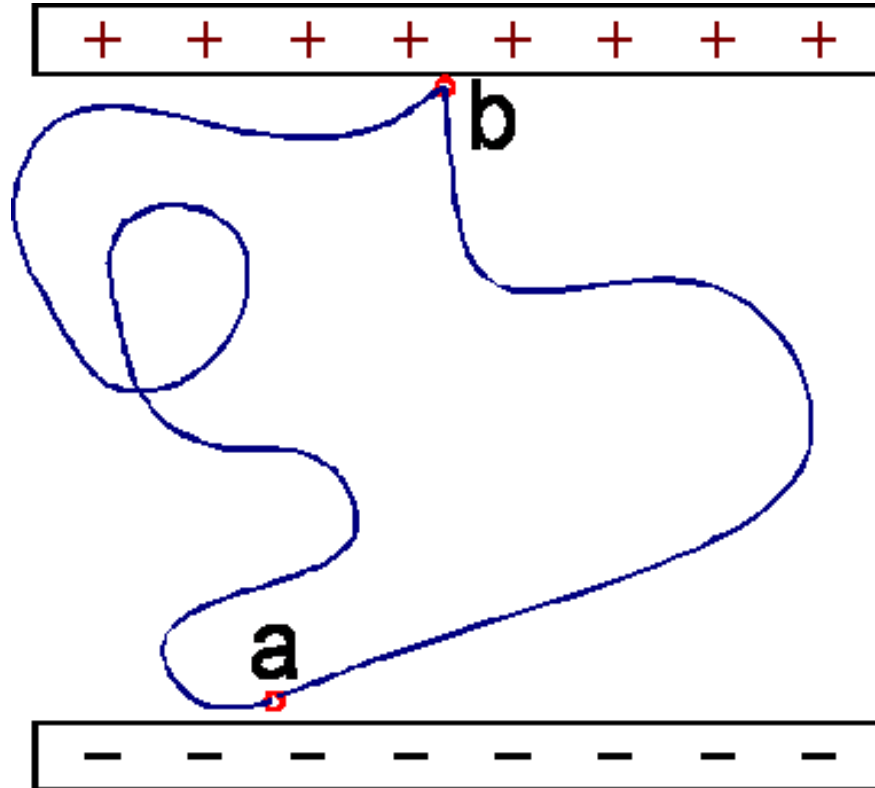
$$E_P = \pm \frac{Q \cdot q}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot r_1}$$



Można łatwo zauważyć, że jeśli na układ (np. na te dwa ładunki) działa jakaś siła zewnętrzna to praca jest dodatnia - zwiększa się energia potencjalna układu. Jeśli działa siła wzajemnych oddziaływań między ładunkami (+ przyciąga - i odwrotnie) to praca jest ujemna - zmniejsza się energia potencjalna układu.

Energia potencjalna jest dodatnia przy ładunkach jednoimiennych, a ujemna przy ładunkach różnoimiennych

ENERGIA POTENCJALNA W POLU ELEKTRYCZNYM



Ponieważ pole elektryczne jest polem potencjalnym, to praca przeniesienia ładunku z punktu a do punktu b nie zależy od kształtu drogi ładunku pomiędzy tymi punktami

ENERGIA POTENCJALNA W POLU ELEKTRYCZNYM

$$E_p = \frac{Q \cdot q}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot r} \Rightarrow r \rightarrow \infty \Rightarrow E_p \rightarrow 0$$

Energia potencjalna jest dodatnia przy ładunkach jednoimiennych, a ujemna przy ładunkach różnoimiennych

Energia potencjalna ładunków dąży do zera, gdy r dąży do nieskończoności (oddalany się od źródła pola elektrycznego)

Energia potencjalna ładunku próbnego q w polu elektrycznym jest proporcjonalna do wielkości tego ładunku.



Stosunek energii potencjalnej do ładunku nie zależy od wielkości ładunku i charakteryzuje samo pole elektryczne → **Potencjał V pola elektrycznego w danym punkcie**

$$V = \frac{E_p}{q} = \frac{\frac{Q \cdot q}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot r}}{q} = \frac{Q}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot r} \left[\frac{J}{C} = \frac{V \cdot A \cdot s}{A \cdot s} = V \right]$$

Potencjał pola jest wielkością skalarną

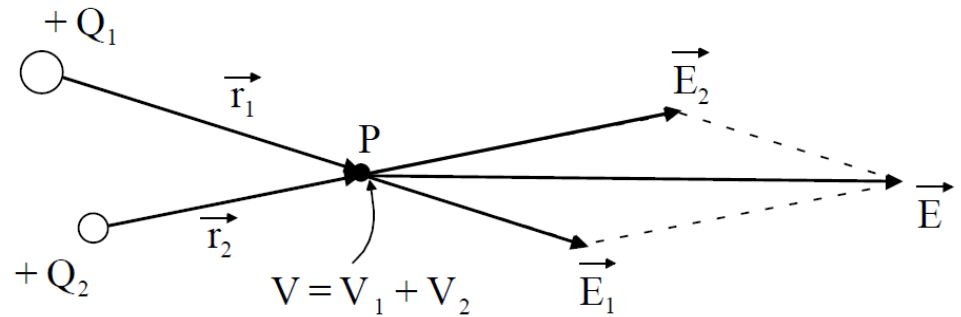
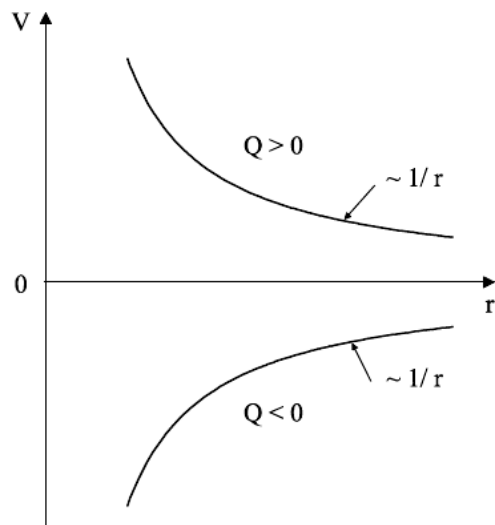
POTENCJAŁ POLA ELEKTRYCZNEGO

POTENCJAŁ POLA ELEKTRYCZNEGO

Jeżeli pole elektryczne jest wytwarzane przez większą liczbę ładunków punktowych, wypadkowy potencjał będzie sumą algebraiczną potencjałów, pochodzących od poszczególnych ładunków.

W przypadku, gdy ładunek elektryczny wytwarzający pole jest rozłożony w ciągły sposób, suma musi być zastąpiona odpowiednią całką.

Potencjał elektryczny jest to właściwość pola elektrycznego w pewnym punkcie określająca zdolność tego pola do wykonania pracy - związany z pracą przesunięcia ładunku q od punktu A do nieskończoności

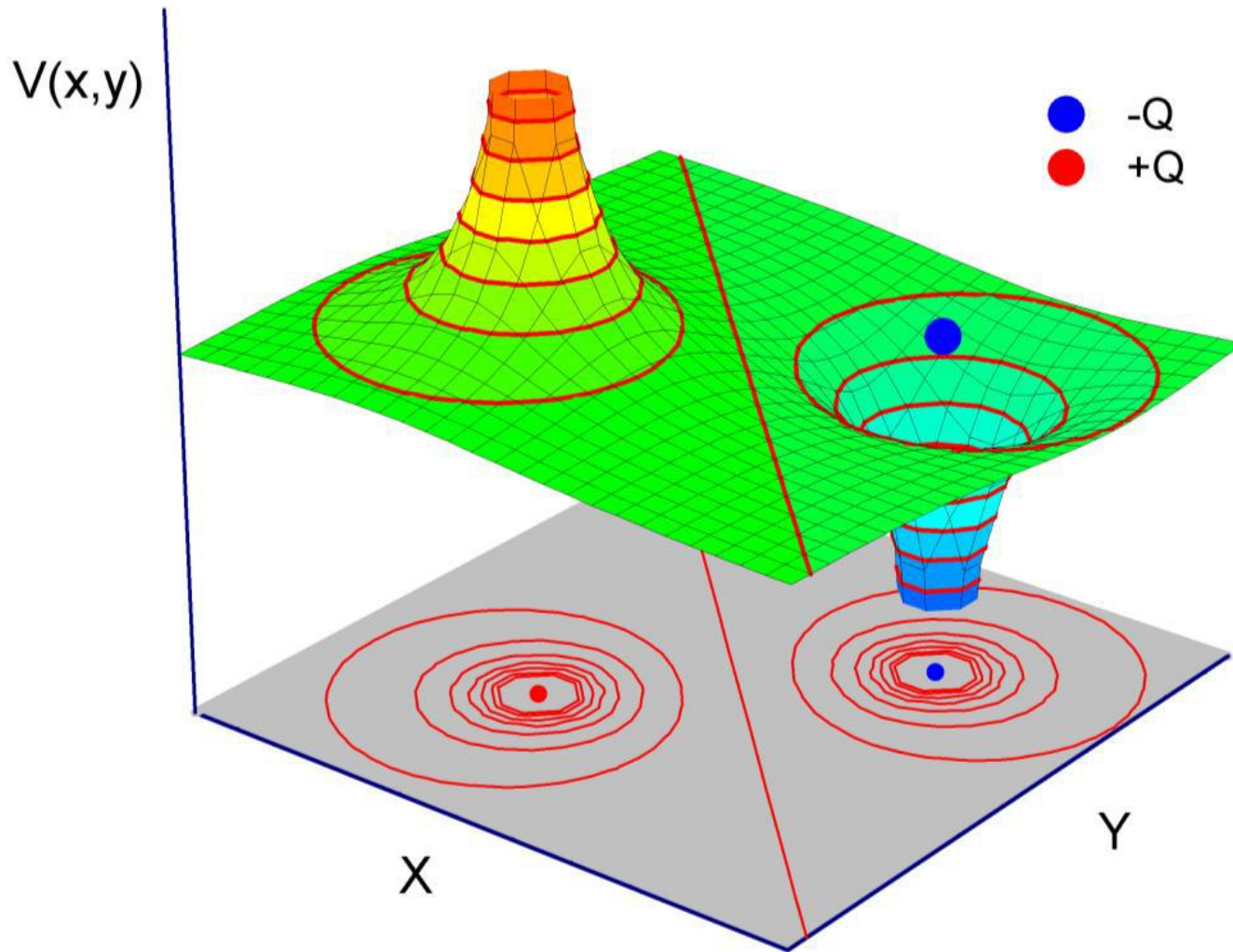


Potencjał elektryczny w każdym punkcie pola zależy od odległości r rozpatrywanego punktu pola od ładunku wytwarzającego to pole. Nie zależy on od wartości ładunku wprowadzonego do pola q , a jedynie od wartości ładunku Q wytwarzającego to pole, przy założeniu, że ładunek wprowadzany do pola jest pomijalnie mały w porównaniu z ładunkiem wytwarzającym pole.

$$V = \frac{Q}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot r} \Rightarrow r \rightarrow \infty \Rightarrow V \rightarrow 0$$

NIE WOLNO MYLIĆ OZNACZENIA JEDNOSTKI NAPIĘCIA Z SYMBOLEM POTENCJAŁU!!!

POTENCJAŁ POLA ELEKTRYCZNEGO



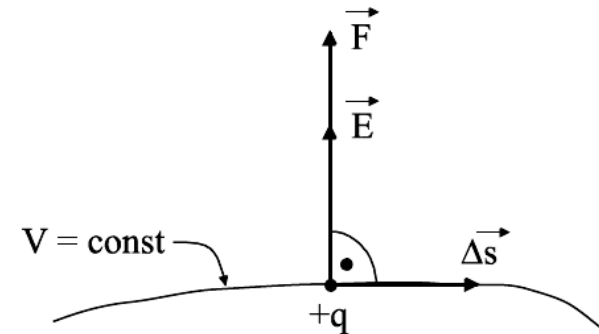
Potencjał elektryczny dipola elektrycznego (na płaszczyźnie xy)

POWIERZCHNIA EKWIPOENCJALNA

POWIERZCHNIA EKWIPOWENCJALNA

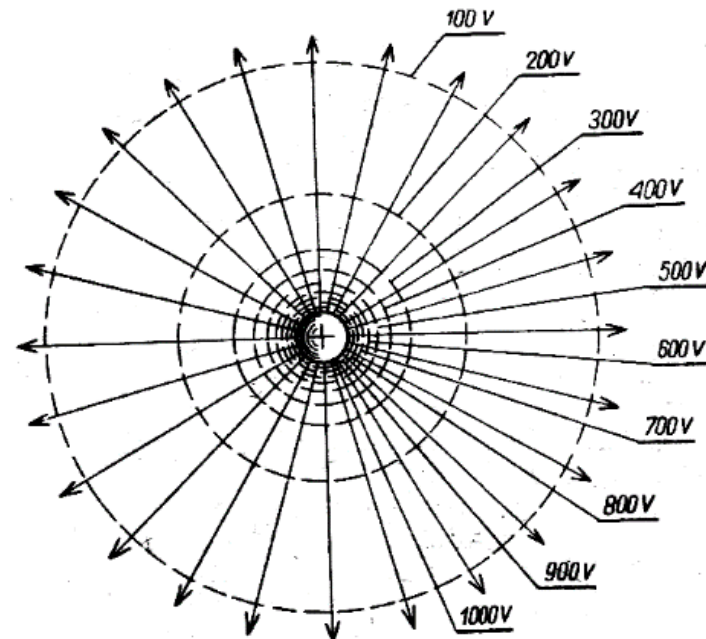
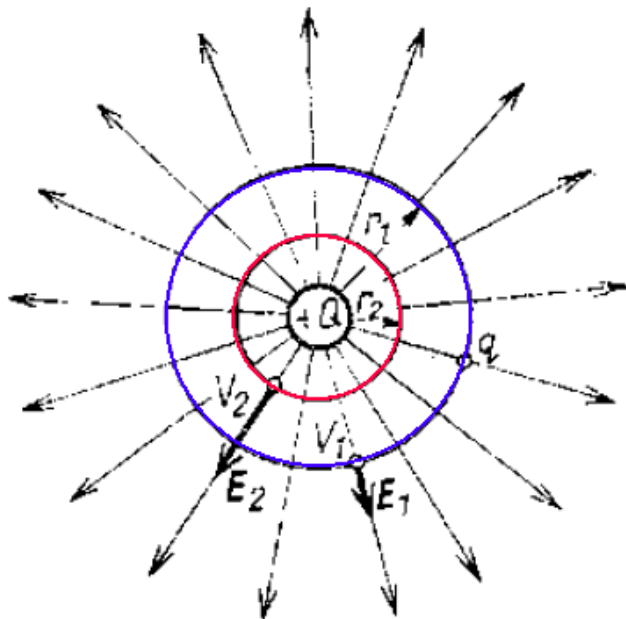
Każdy punkt pola elektrycznego opisany jest przez:

- natężenie pola elektrycznego E (wektor)
- potencjał elektryczny V (skalar)



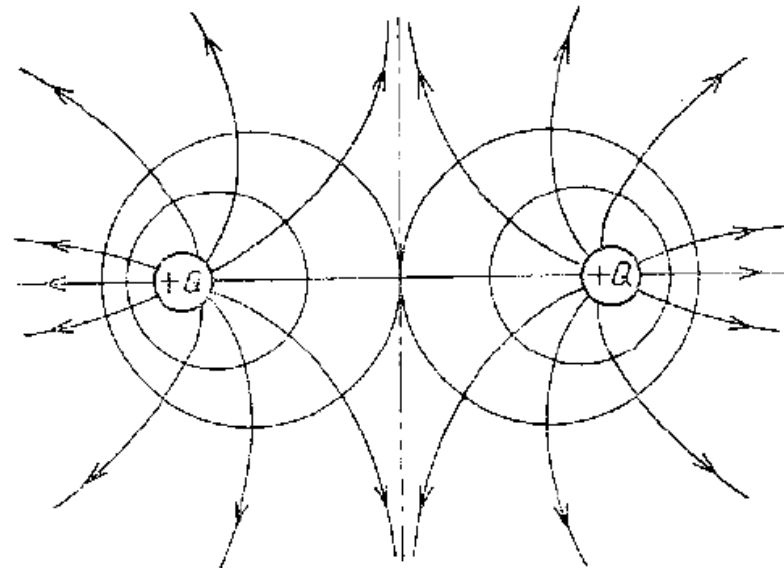
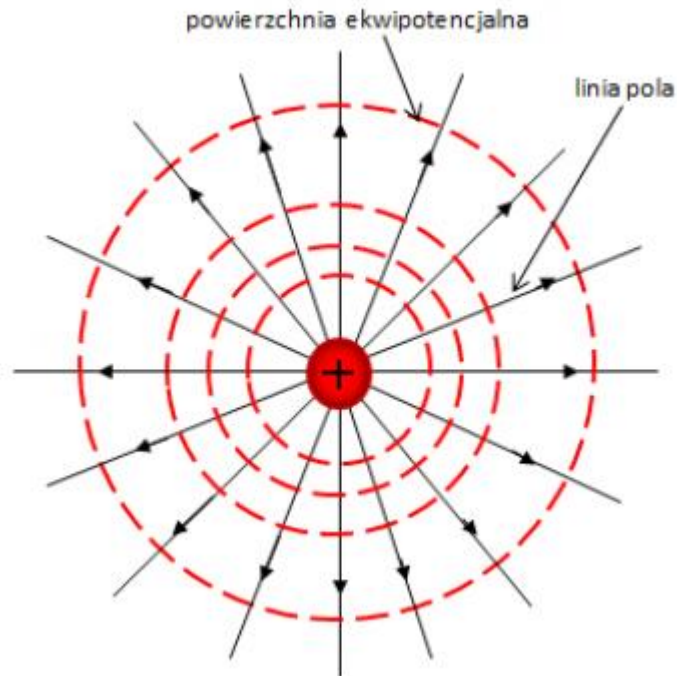
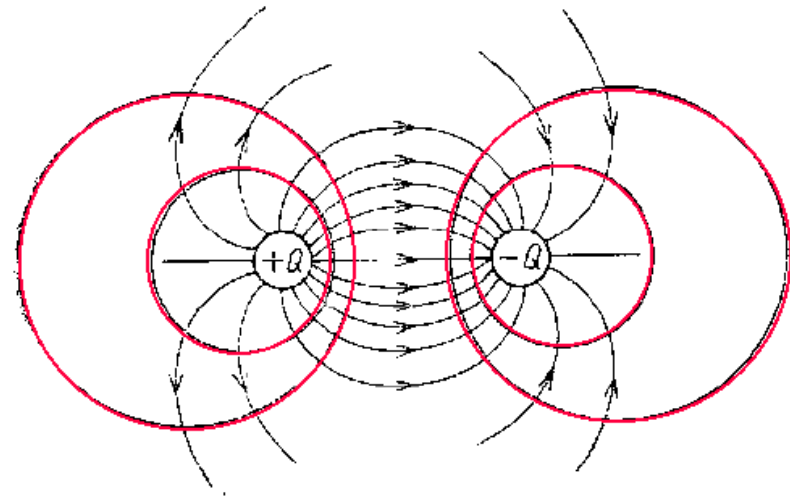
POWIERZCHNIE UTWORZONE PRZEZ PUNKTY
POLA O STAŁYM POTENCJALE NAZYWAMY
POWIERZCHNIAMI EKWIPOWENCJALNYMI

Dla ładunku punktowego powierzchnia ekwipotencjalna jest powierzchnią kulistą, a dla ładunku punktowego na płaszczyźnie redukuje się ona do okręgu.



POWIERZCHNIA EKWIPOWENCJALNA

Powierzchnie ekwipotencjalne dla dwóch ładunków punktowych umieszczonych obok siebie



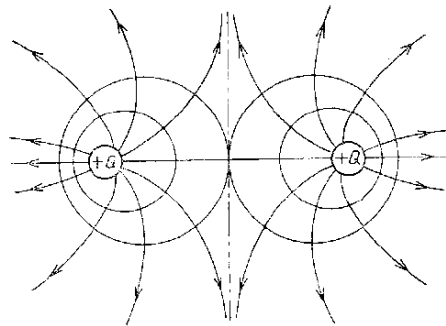
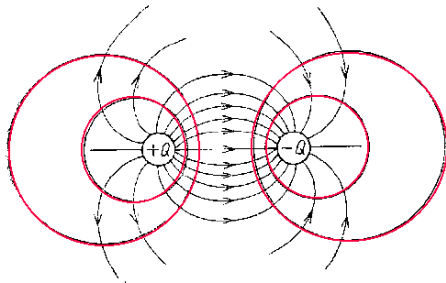
POWIERZCHNIA EKWIPOWOLNOŚCI

Każdy punkt pola elektrycznego opisany jest przez:

- natężenie pola elektrycznego E (wektor)
- potencjał elektryczny V (skalar)

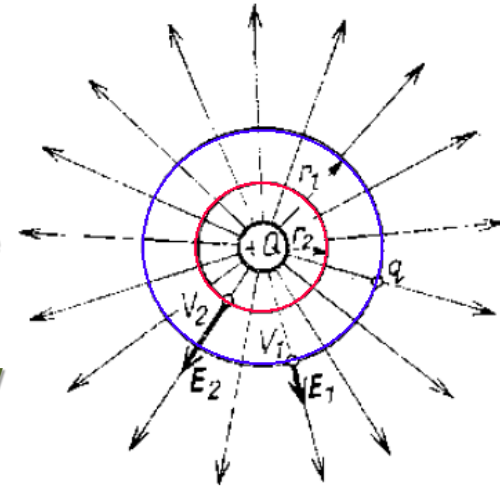
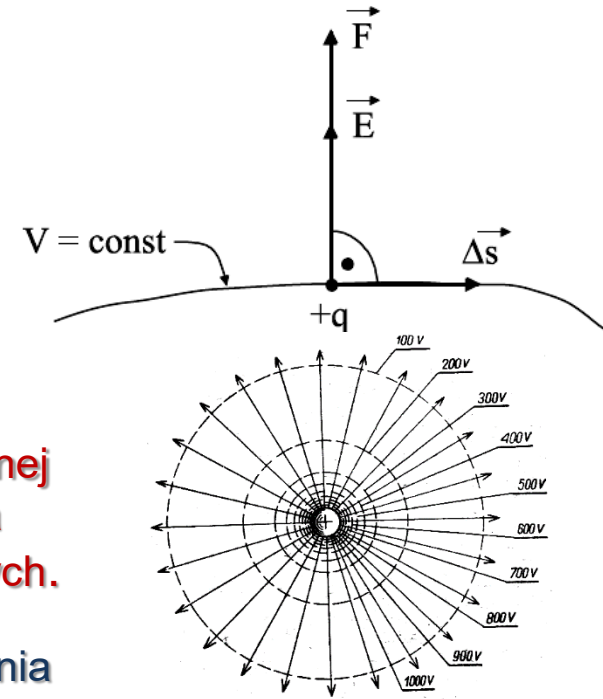
POWIERZCHNIE UTWORZONE PRZEZ PUNKTY
POLA O STAŁYM POTENCJALE NAZYWAMY
POWIERZCHNIAMI EKWIPOWOLNOŚCI

Przemieszczanie się ładunków po powierzchni ekwiopotencjalnej
nie wiąże się z wydatkowaniem energii, zatem linie sił pola
elektrycznego są prostopadłe do powierzchni ekwiopotencjalnych.



Dla ładunku punktowego powierzchnia
ekwiopotencjalna jest powierzchnią kulistą, a
dla ładunku punktowego na płaszczyźnie
redukuje się ona do okręgu. **Powierzchnie i
linie ekwiopotencjalne posiadają dwie
zasadnicze właściwości:**

- powierzchnie (i linie) ekwiopotencjalne są zawsze powierzchniami (i liniami) zamkniętymi
- powierzchnie (i linie) ekwiopotencjalne w każdym punkcie pola są prostopadłe do siły działającej w tym punkcie → **wektor siły (natężenia) pola elektrycznego jest prostopadły do powierzchni ekwiopotencjalnej;**

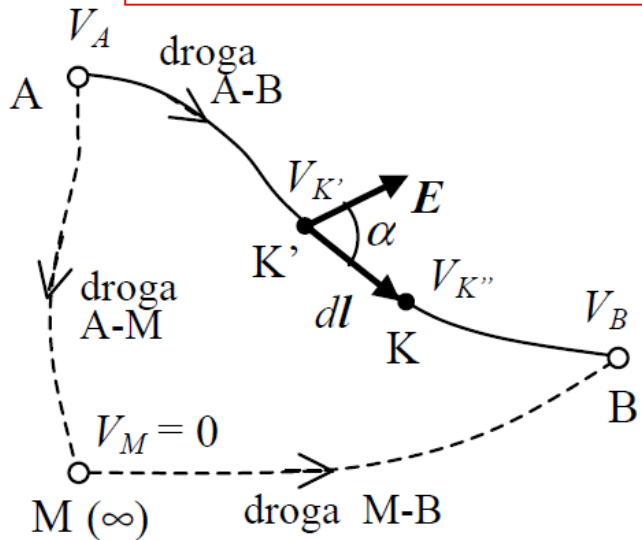


NAPIĘCIE ELEKTRYCZNE

Zakładając równoważność pracy i energii potencjalnej pola elektrycznego, pracę wykonaną przez siły elektryczne przy przemieszczaniu ładunku q z punktu A do punktu B pola elektrycznego, można przedstawić jako

$$W_{AB} = q(V_A - V_B) = q \cdot U$$

$$U_{AB} = \int_A^B \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = \int_A^M \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} + \int_M^B \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = \int_A^M \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} - \int_B^M \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = V_A - V_B$$



Różnicę potencjałów dwóch punktów pola elektrycznego nazywamy napięciem U pomiędzy tymi punktami

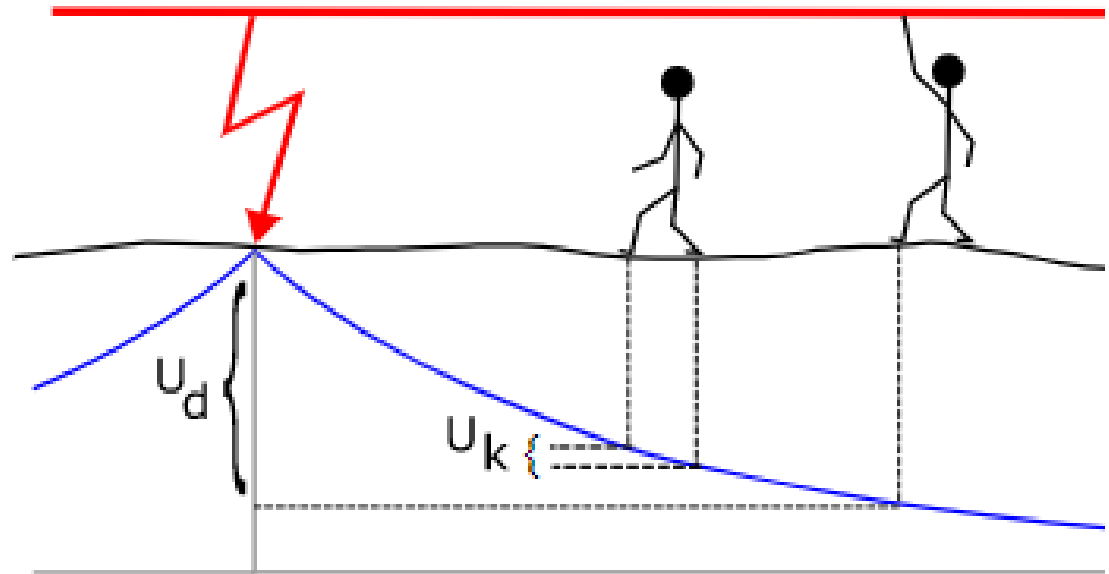
$$U_{AB} = V_A - V_B \text{ [V]}$$

Praca wykonana przy przemieszczaniu ładunku w polu elektrycznym jest równa iloczynowi ładunku i napięcia pomiędzy początkowym i końcowym punktem drogi

NAPIĘCIE KROKOWE

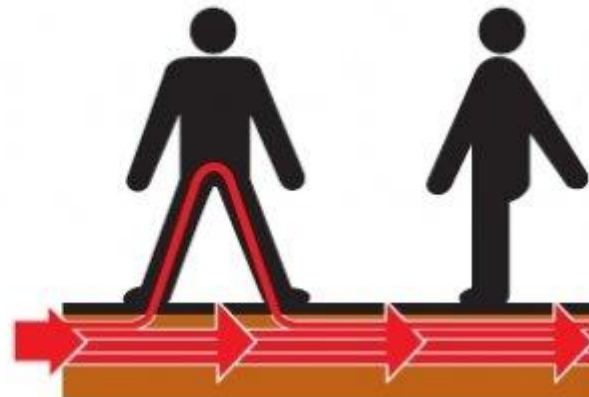
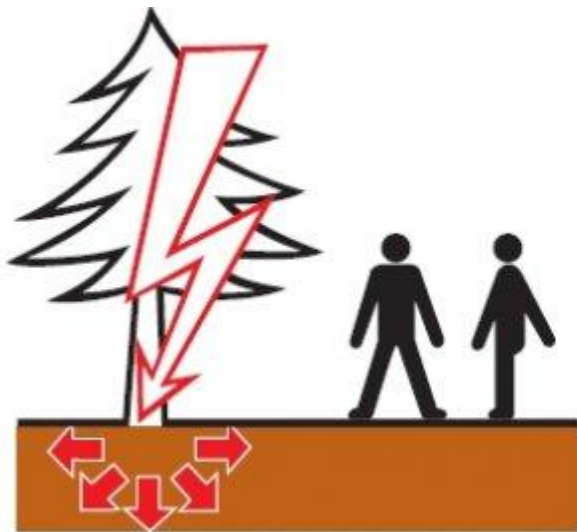
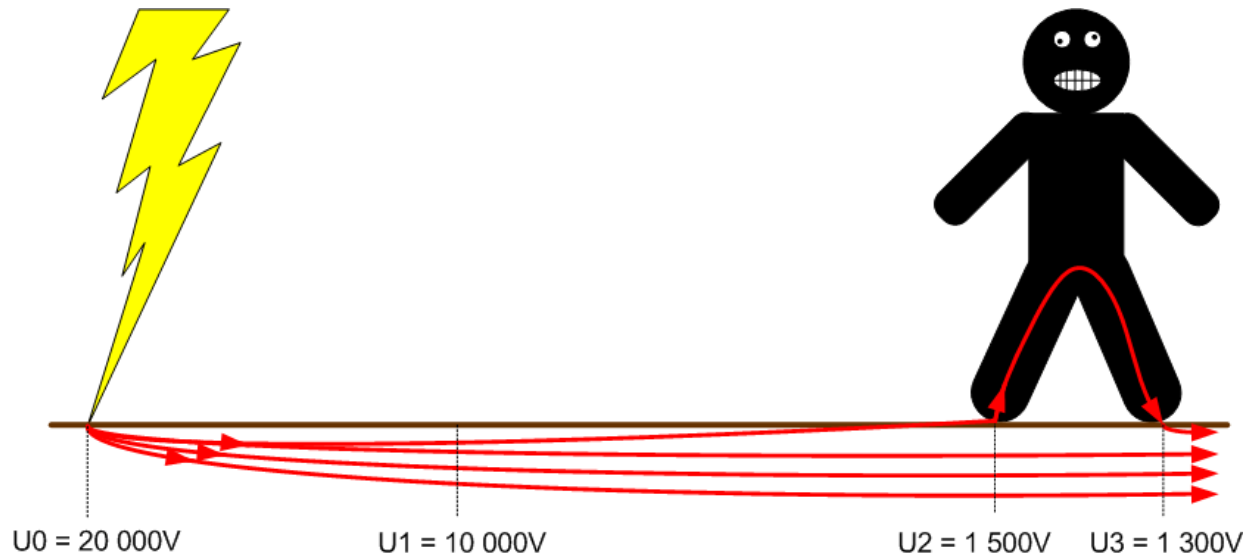
NAPIĘCIE KROKOWE

Napięcie krokowe (U_k) to różnica potencjałów dwóch punktów podłoża odległych od siebie o długość kroku (ok. 0,8 m do 1 m). Jeżeli jego wartość przekroczy wartość napięcia bezpiecznego, wystąpi realna groźba porażenia prądem elektrycznym.



Schematyczne przedstawienie powstawania napięcia krokowego U_k i napięcia dotykowego U_d (czerwonym kolorem oznaczono przewód pod napięciem i zwarcie do ziemi, niebieskim - rozkład napięcia od punktu uziemienia)

NAPIĘCIE KROKOWE



NAPIĘCIE KROKOWE

Wartość napięcia krokowego jest większa dla większej stromości rozkładu napięcia, bliższych odległości od punktu zwarcia oraz większej długości kroku. Dlatego też, napięcie krokowe jest szczególnie niebezpieczne w przypadku awarii energetycznych linii przesyłowych wysokiego napięcia. Przy mniejszych napięciach zasilających (np. napięcie sieciowe 230 V) napięcie krokowe zazwyczaj spada poniżej wartości bezpiecznych i jest niegroźne.

Zabezpieczeniem przeciwko napięciu krokowemu jest para butów o metalowych podeszwach, które są spięte dobrze przewodzącą metalową linką. Umożliwia to w miarę swobodne chodzenie, natomiast uniemożliwia powstanie różnicy potencjału pomiędzy obiema nogami (linka zwiera ewentualne napięcie). W przypadku, gdy przewód pod wysokim napięciem dotyka podłoża i zachodzi potrzeba ewakuacji, nie wolno chodzić zwykłym krokiem - należy złączyć stopy razem (tak aby zmniejszyć dystans pomiędzy nimi i możliwość powstania napięcia krokowego) i oddalić się od miejsca awarii poprzez wykonywanie skoków (przy złączonych nogach) lub też przeskakując z jednej nogi na drugą (pod warunkiem, że w żadnym momencie obie nogi nie będą dotykać podłoża razem).

Dodatkowym zabezpieczeniem mogą być wyłożone na podłodze izolacyjne gumy, bądź też stalowe uziemione kraty, a na zewnątrz budynków na całym terenie obiektu mogą być zakopane żelazne kraty wyrównujące potencjał ziemi, zazwyczaj połączone z uziemionym ogrodzeniem.

POJEMNOŚĆ ELEKTRYCZNA **(KONDENSATOR)**

POJEMNOŚĆ ELEKTRYCZNA

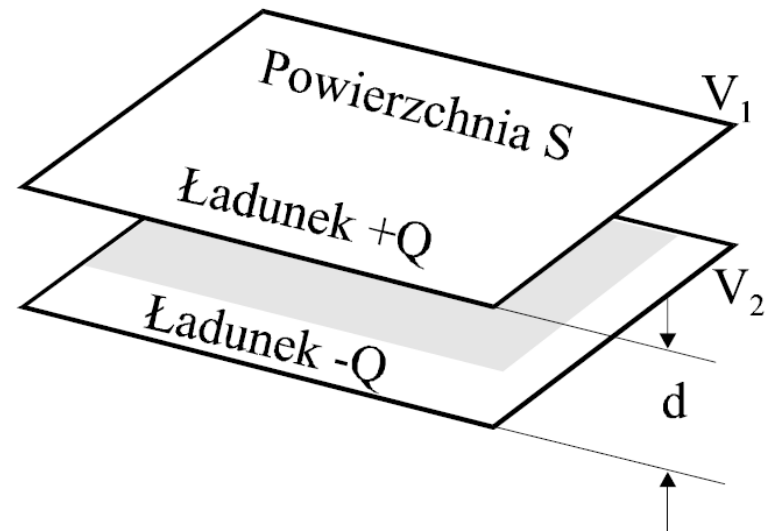
Pojemność elektryczna, w sensie fizycznym, oznacza zdolność ciał przewodzących, umieszczonych w środowisku nieprzewodzącym (w próżni lub dielektryku), do gromadzenia ładunku elektrycznego.

Kondensatorem nazywamy układ dwóch przewodników (zwanymi okładkami kondensatora) rozdzielonych dielektrykiem → przewodniki o różnych potencjałach i przeciwnych ładunkach.

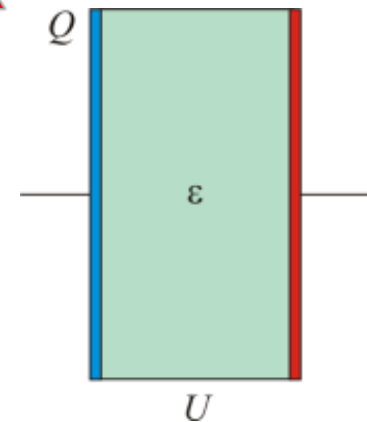
Dla ustalonej pary przewodników S stosunek ładunku Q do różnicy potencjałów ($V_2 - V_1$) jest stały → **pojemność kondensatora C**.

$$C = \frac{Q}{V_1 - V_2} = \frac{Q}{U} \left[\frac{C}{V} = F \right]$$

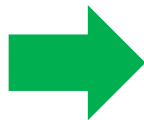
Rozpatrzmy dwie przewodzące płytki o jednakowych rozmiarach ustawione równoległe w odległości d od siebie. Niech powierzchnia każdej z płytek wynosi S. Niech na jednej płytce znajduje się ładunek Q, a na drugiej – Q. Potencjały obu płytek wynoszą odpowiednio V1 i V2.



POJEMNOŚĆ ELEKTRYCZNA – KONDENSATOR



$$C = \frac{Q}{V_1 - V_2}$$

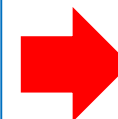


$$Q = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot S \frac{(V_1 - V_2)}{d}$$



$$\frac{Q}{U} = C \left[\frac{C}{V} = F \right]$$

$$C(V_1 - V_2) = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot S \frac{(V_1 - V_2)}{d}$$



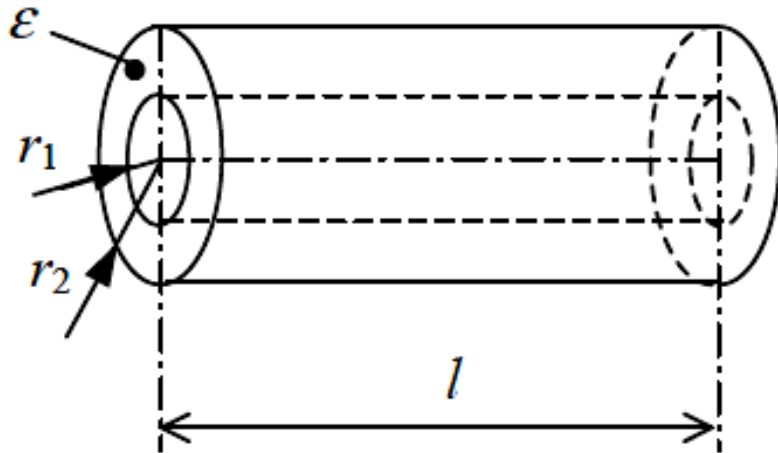
$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{S}{d}$$

$$C = \epsilon \cdot \frac{S}{d} \Rightarrow \epsilon = \frac{C \cdot d}{S} \left[\frac{F}{m} \right]$$

- Jeżeli ładujemy kondensator tj. zwiększamy ładunek Q zgromadzony na jego okładkach, rośnie również różnica potencjałów (napięcie) U między okładkami kondensatora, przy czym iloraz Q/U pozostaje stały.
- Iloraz Q/U jest więc wielkością charakterystyczną dla danego kondensatora i nazywamy go pojemnością kondensatora C.
- Pojemność kondensatora zależy od jego rozmiarów geometrycznych S, d oraz od rodzaju wypełniającego go dielektryka ε.

POJEMNOŚĆ ELEKTRYCZNA – KONDENSATOR

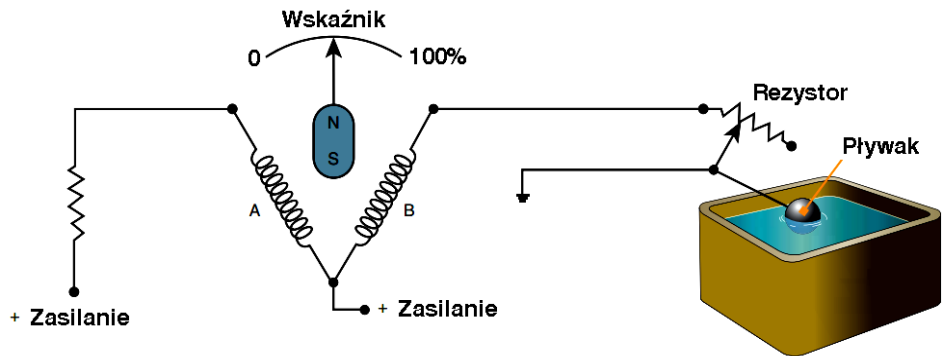
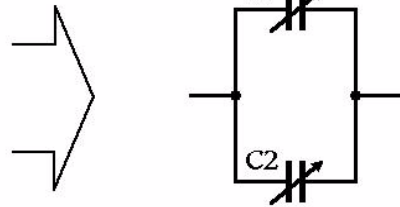
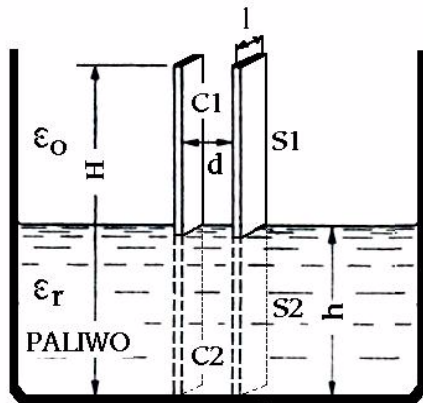
Pojemność kondensatora cylindrycznego (kabla jednożyłowego z powłoką)



Okładziny kondensatora (odcinka kabla) są powierzchniami walców współosiowych, mających promienie r_1 i r_2 oraz jednakowe długości l , zaś przestrzeń pomiędzy nimi wypełnia dielektryk o przenikalności elektrycznej ϵ → **wektor E skierowany promieniowo**

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{2\pi \cdot \epsilon \cdot l}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$$

POJEMNOŚĆ ELEKTRYCZNA – KONDENSATOR



APLISENS®

Pojemnościowa sonda poziomu paliwa typu SPP-27



- ✓ Zakres pomiarowy 120-700mm
- ✓ Łatwa kalibracja

Przeznaczenie

Pojemnościowa sonda poziomu paliwa SPP-27 przeznaczona jest do pomiaru poziomu paliwa w zbiornikach pojazdów samochodowych typu TIR.

Budowa i zasada działania

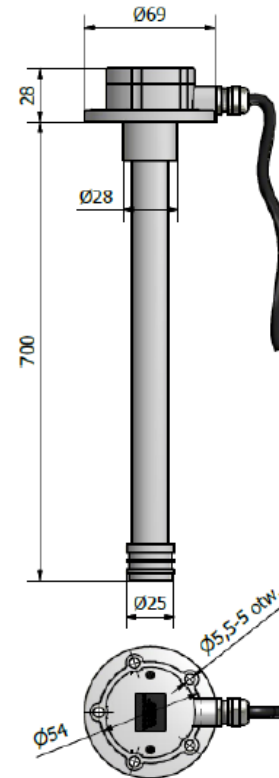
Sonda SPP-27 wykrywa zmianę pojemności elektrycznej wynikającą ze zmiany poziomu paliwa. Paliwo wpływając pomiędzy okładziny kondensatora składającego się z wewnętrznej i zewnętrznej rurki zmienia jego pojemność odzwierciedlając aktualny poziom paliwa w zbiorniku. Sonda umożliwia dostosowanie jej do głębokości zbiornika odcinając część czujnika, nie więcej niż 2/3 długości całkowitej.

Montaż i eksploatacja

Sonda SPP-27 mocowana jest do pokrywy zbiornika. Szczegółowy sposób montażu przedstawiony jest w Dokumentacji Technicznej - Ruchowej.

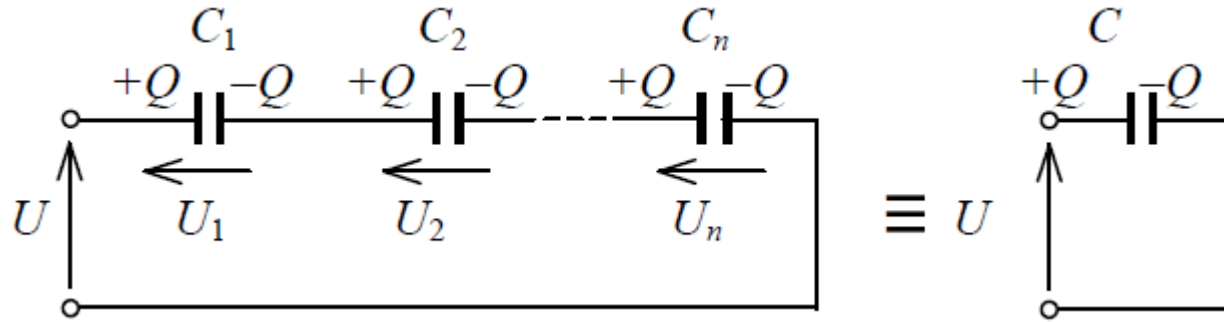
Sonda jest przystosowana do podłączenia z urządzeniami rejestrującymi:

- rejestratorem danych o wejściu analogowym - napięciowym 0...10V.



ŁĄCZENIE KONDENSATORÓW

SZEREGOWE ŁĄCZENIE KONDENSATORÓW



Zgodnie z II prawem Kirchoffa

$$U = U_1 + U_2 + U_3 \Rightarrow \frac{Q}{C} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3}$$

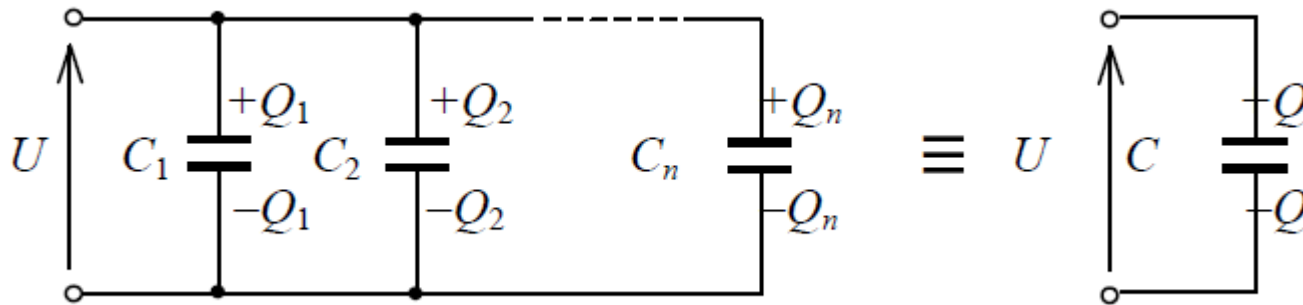


$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \Rightarrow \frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_n} \Rightarrow \sum_{i=1}^n S_n \Rightarrow \frac{1}{C_n} = S_n$$

Odwrotnością pojemności elektrycznej jest elastancja S wyrażana w darafach (nie jest to jednostka układu SI)

Układ szeregowo połączonych kondensatorów można nazwać pojemnościowym dzielnikiem napięcia, → napięcie całkowite w tym układzie „dzieli się” na kondensatorach proporcjonalnie do wartości ich elastancji:

RÓWNOLEGŁE ŁĄCZENIE KONDENSATORÓW



Zgodnie z i prawem Kirchoffa

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \Rightarrow I \cdot t = I_1 \cdot t + I_2 \cdot t + I_3 \cdot t$$

$$U = U_1 = U_2 = U_3$$

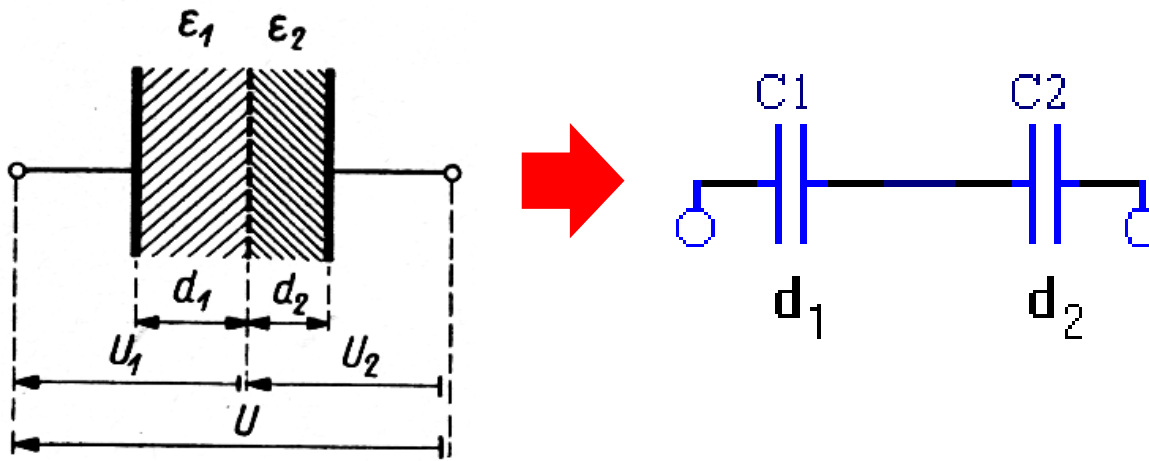
$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \Rightarrow U \cdot C = U \cdot C_1 + U \cdot C_2 + U \cdot C_3$$

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \Rightarrow C = \sum_{i=1}^n C_n$$

Układ równoległe połączonych kondensatorów można nazwać dzielnikiem ładunku, ponieważ ładunek całkowity tego układu „dzieli się” na ładunki kondensatorów proporcjonalnie do wartości ich pojemności

POJEMNOŚĆ ELEKTRYCZNA – KONDENSATOR

Pojemność kondensatora o dwuwarstwowym dielektryku



Można założyć, że powierzchnia graniczna pomiędzy dwiema warstwami dielektryku jest przewodząca, przy czym jej grubość jest nieskończenie mała → wówczas można kondensator traktować jak dwa kondensatory połączone ze sobą szeregowo o pojemnościach C_1 i C_2

$$C_1 = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_1 \cdot \frac{S}{d_1} \quad C_2 = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_2 \cdot \frac{S}{d_2}$$

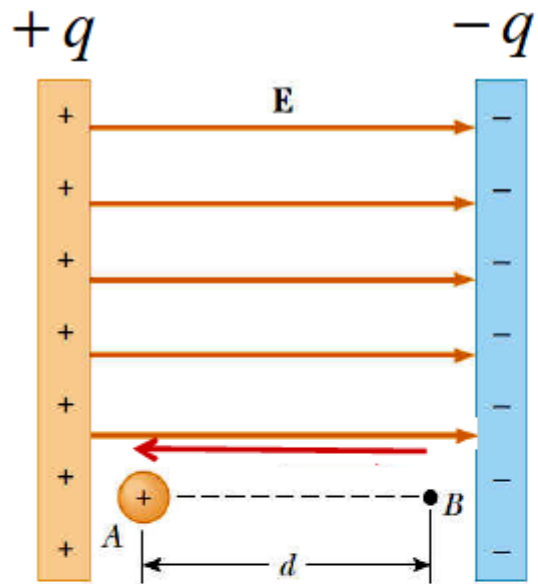


$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \Rightarrow C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$



$$C = \frac{S \cdot \varepsilon_0}{\frac{d_1}{\varepsilon_1} + \frac{d_2}{\varepsilon_2}}$$

ENERGIA POLA ELEKTROSTATYCZNEGO (KONDENSATORA)



$$\Delta V = \frac{q}{C}$$

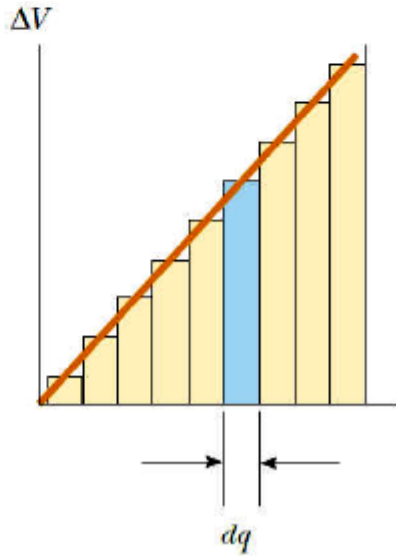
Całkowita praca W potrzebna do naładowania kondensatora (przeniesienia ładunku) od $q=0$ do $q=Q$

$$W = \int_0^Q \frac{q}{C} dq = \frac{1}{C} \int_0^Q q dq = \frac{Q^2}{2C}$$

$$U = \frac{Q^2}{2C} = \frac{Q\Delta V}{2} = \frac{C(\Delta V)^2}{2}$$

Praca potrzebna na przeniesienie ładunku dq z okładki o ładunku $-q$ na okładkę o $+q$ jest równa zmianie energii potencjalnej układu U .

$$W = \Delta U = \Delta V dq = \frac{q}{C} dq$$



Praca W potrzebna na naładowanie kondensatora (energia kondensatora) jest równa polu pod krzywą $\Delta V(q)$