

Ładunki elektryczne i siły ich wzajemnego oddziaływania

Pole elektryczne

Ładunek punktowy

Ładunek punktowy (q) jest to wyidealizowany model, który zastępuje rzeczywiste naelektryzowane ciało wtedy, gdy jego rozmiary są znikome w porównaniu z odległością do innych ciał.

Ładunki są źródłami sił elektrycznych, gdyż mogą się zarówno przyciągać, jak i odpychać, dlatego przyjmujemy, że mogą mieć dwa znaki: $+$ i $-$.

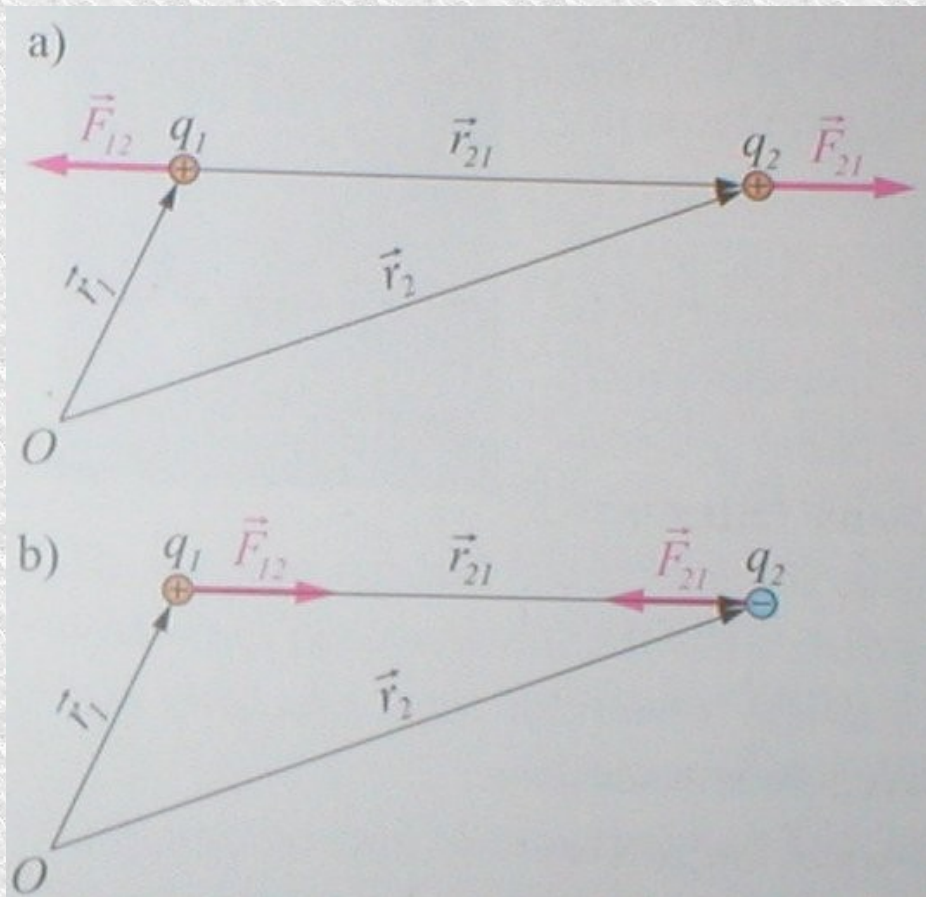
Ładunek cechuje się **ziarnistością**. Oznacza to, że jego wartość jest zawsze całkowitą wielokrotnością ładunku elementarnego równego $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ (Coulomba) (z odpowiednim znakiem) $1\text{C} = 1\text{A} \cdot 1\text{s}$. Elektron ma taką wartość ładunku.

Ładunek **podlega prawu zachowania**, które mówi, że w układzie izolowanym algebraiczna suma ładunków jest stała i nie zmienia się w czasie nawet wtedy, gdy układ oddziałuje z otoczeniem za pośrednictwem pól i promieniowania..

Ładunek punktowy

Wszystkie znane cząstki elementarne dają się podzielić na trzy kategorie: do pierwszej kategorii należy elektron i wszystkie cząstki przez niego odpychane (ładunki te noszą nazwę **ładunków ujemnych**); do drugiej kategorii ładunków należy proton i wszystkie cząstki przez niego odpychane (są to tzw. **ładunki dodatnie**); do trzeciej kategorii należy neutron i wszystkie cząstki, które nie są odpychane ani przez elektron, ani przez proton (o tych cząstkach mówi się, że nie mają ładunku, czyli są **elektrycznie obojętne**).

Ładunki jedno i różnoimienne



Ładunki jednoimienne się **odpychają** (rys. a)), natomiast ładunki różnoimienne się **przyciągają** (rys b)).

Prawo Coulomba

Siły wzajemnego oddziaływania (przyciągania i odpychania) dwu punktowych ładunków elektrycznych **działają wzdłuż prostej** łączącej te ładunki. Siła oddziaływania między tymi dwoma ładunkami jest wprost **proporcjonalna do iloczynu tych ładunków i odwrotnie proporcjonalna do odległości między nimi:**

$$F_{21} = k \frac{|q_1 q_2|}{r_{21}^2}$$

gdzie:

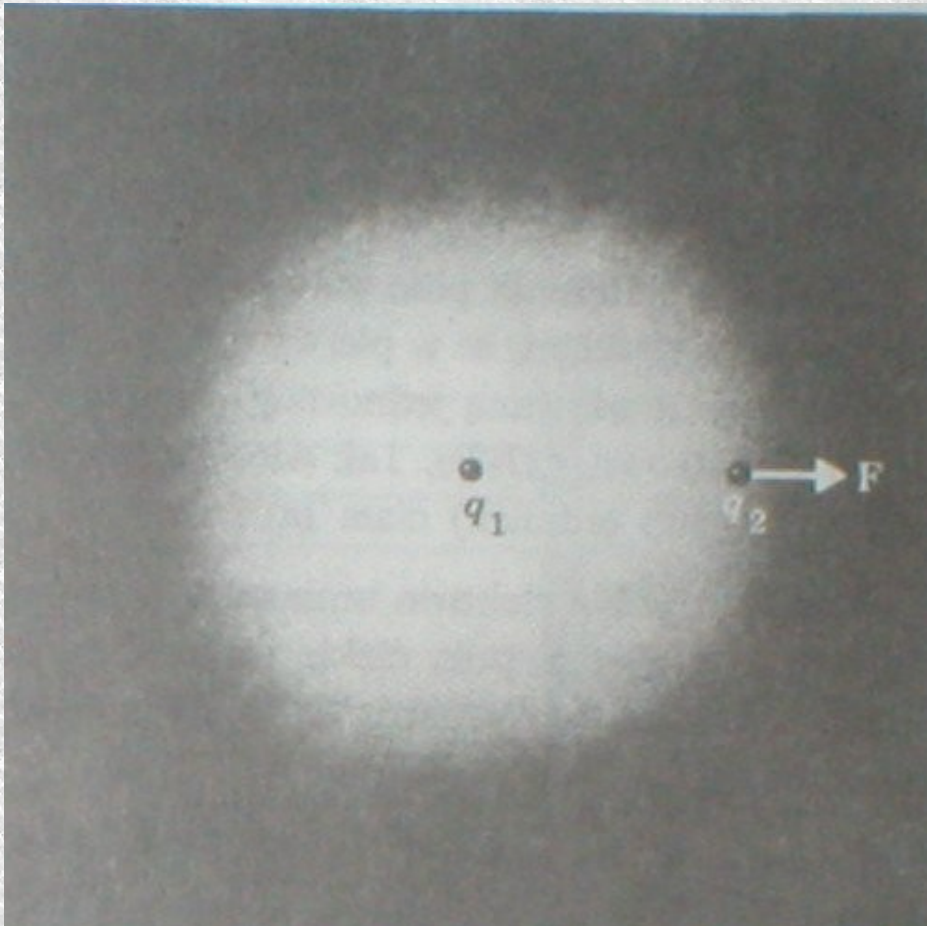
$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 * 10^9 \left[\frac{N * m^2}{C^2} \right]$$

ϵ_0 (epsilon) – przenikalność elektryczna próżni $\epsilon_0 = 8,85 * 10^{-12} \left[\frac{C^2}{N * m^2} \right]$.

Prawo Coulomba

Siła Coulombowska **podlega trzeciej zasadzie dynamiki** Newtona: siły oddziaływania dwóch ładunków punktowych są sobie równe co do wartości bezwzględnej, lecz przeciwnie zwrócone wzdłuż prostej łączącej te ładunki.

Pole elektryczne



Jest to pole wektorowe. Pole elektryczne jest to **przestrzeń, w której na ciała mające ładunek działają siły.**

Ładunek q_1 (rysunek) wytwarza pole elektryczne (zaznaczone rozjaśnieniem) w otaczającej go przestrzeni.

Pole utworzone przez ten ładunek działa na q_2 . Przejawia się to jak siła F , której działania doznaje ten ładunek.

Pole elektryczne

Pole elektryczne odgrywa rolę pośrednika w przenoszeniu oddziaływań pomiędzy ładunkami:

ładunek \Leftrightarrow pole \Leftrightarrow ładunek.

Jeden ładunek wytwarza pole, które oddziałuje na drugi ładunek, a ten z kolei też wytwarza pole, które oddziałuje na ładunek pierwszy. Nie dzieje się tak, że na obydwie ładunki działa pole wspólne pochodzące od ich obydwu. Żaden z ładunków **nie czuje “własnego” pola**, ale na każdy ładunek działa zawsze pole pochodzące od innych ładunków.

Każdy ładunek elektryczny, który znajdzie się w polu elektrycznym wytworzonym przez inne ładunki, doznaje działania siły. W ten sposób każdy ładunek jest z jednej strony **źródłem pola elektrycznego** działającego na inne ładunki, **a jednocześnie obiektem, na który działają pola elektryczne innych obiektów.**

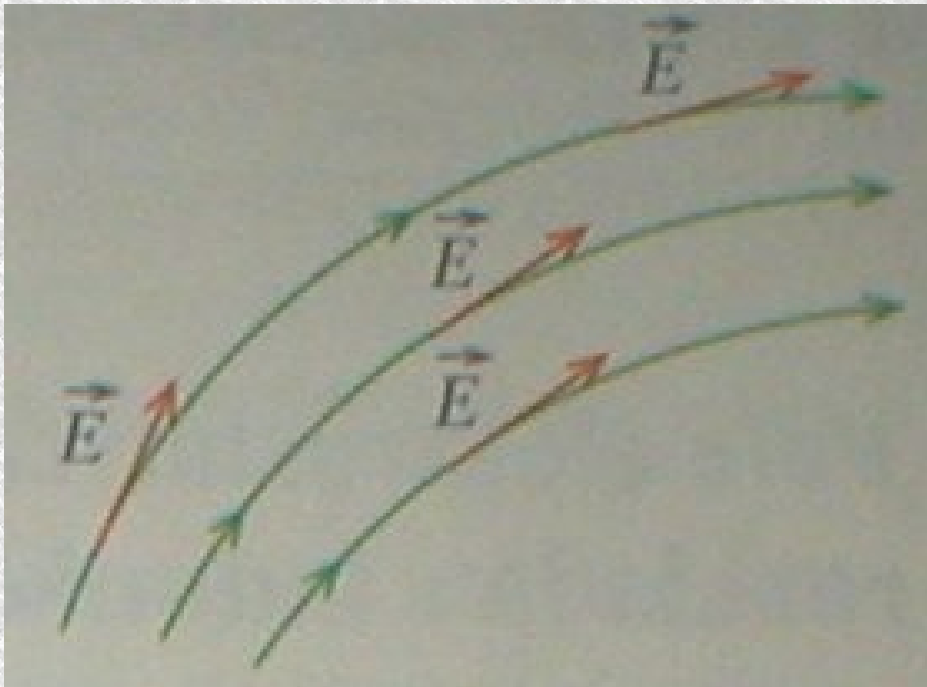
Pole elektryczne

W celu ilościowego opisanie pola elektrycznego umieszczamy w badanym punkcie przestrzeni małe ciało próbne mające ładunek próbny q_0 i mierzymy siłę elektryczną F działającą na to ciało. Natężenie pola elektrycznego E w tym punkcie definiujemy jako:

$$\bar{E} = \frac{\bar{F}}{q_0}$$

E ma kierunek F , czyli kierunek, w jakim by się poruszał ładunek umieszczony w tym punkcie.

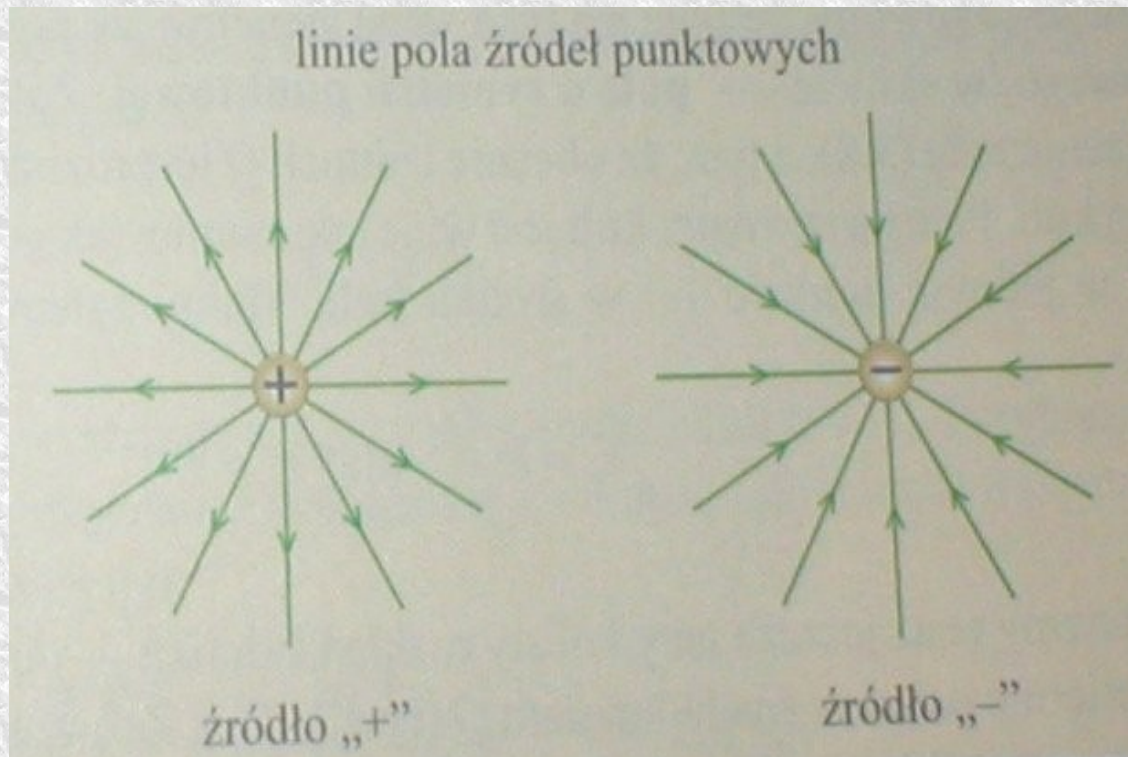
Linie sił (linie pola)



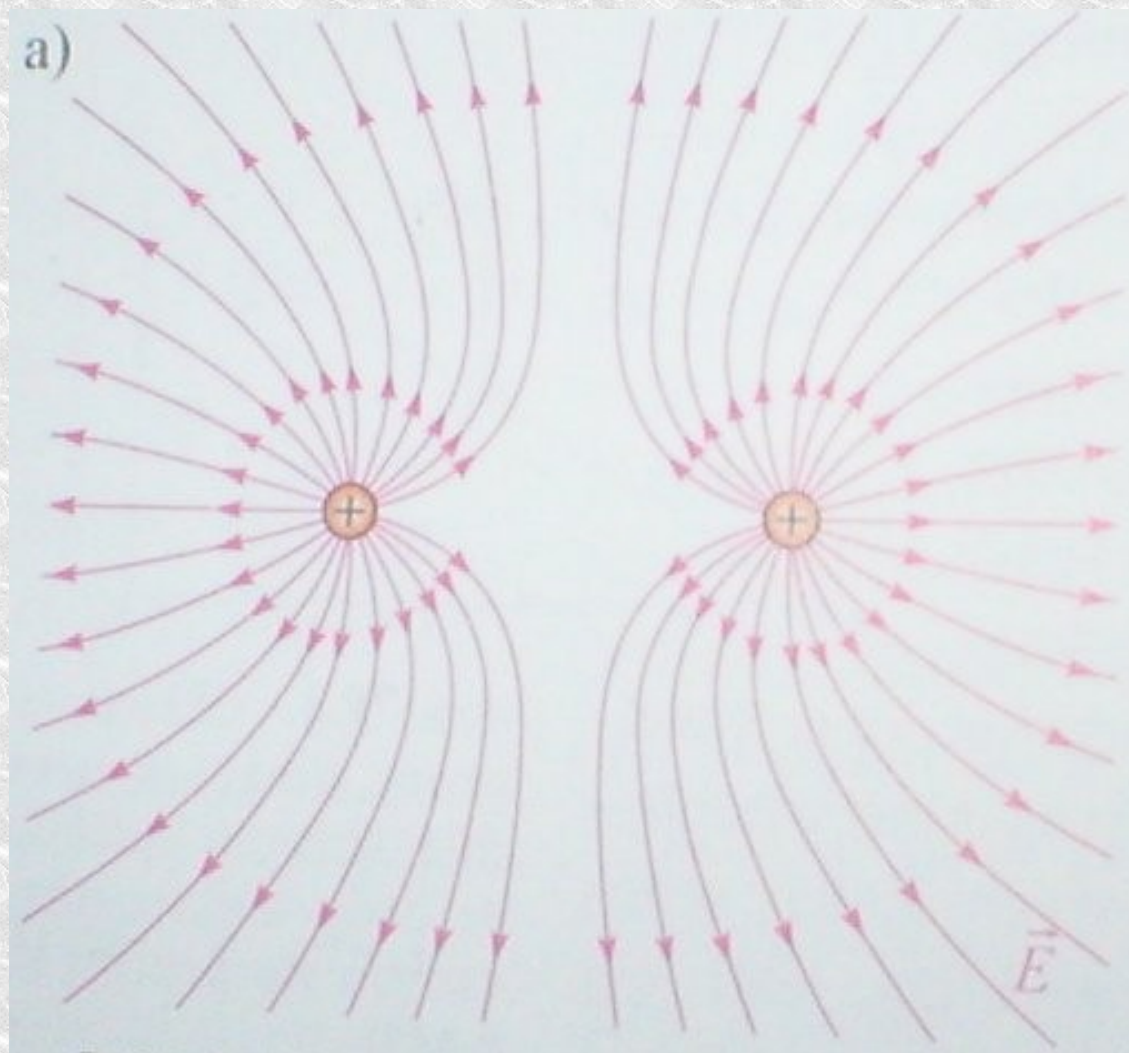
Linie pola pozwalają na poglądowe przedstawienie pola. Linia pola to linia, do której wektor natężenia pola jest styczny w każdym jej punkcie. Ma ona zwrot zgodny ze zwrotem wektora natężenia.

Linie sił (linie pola)

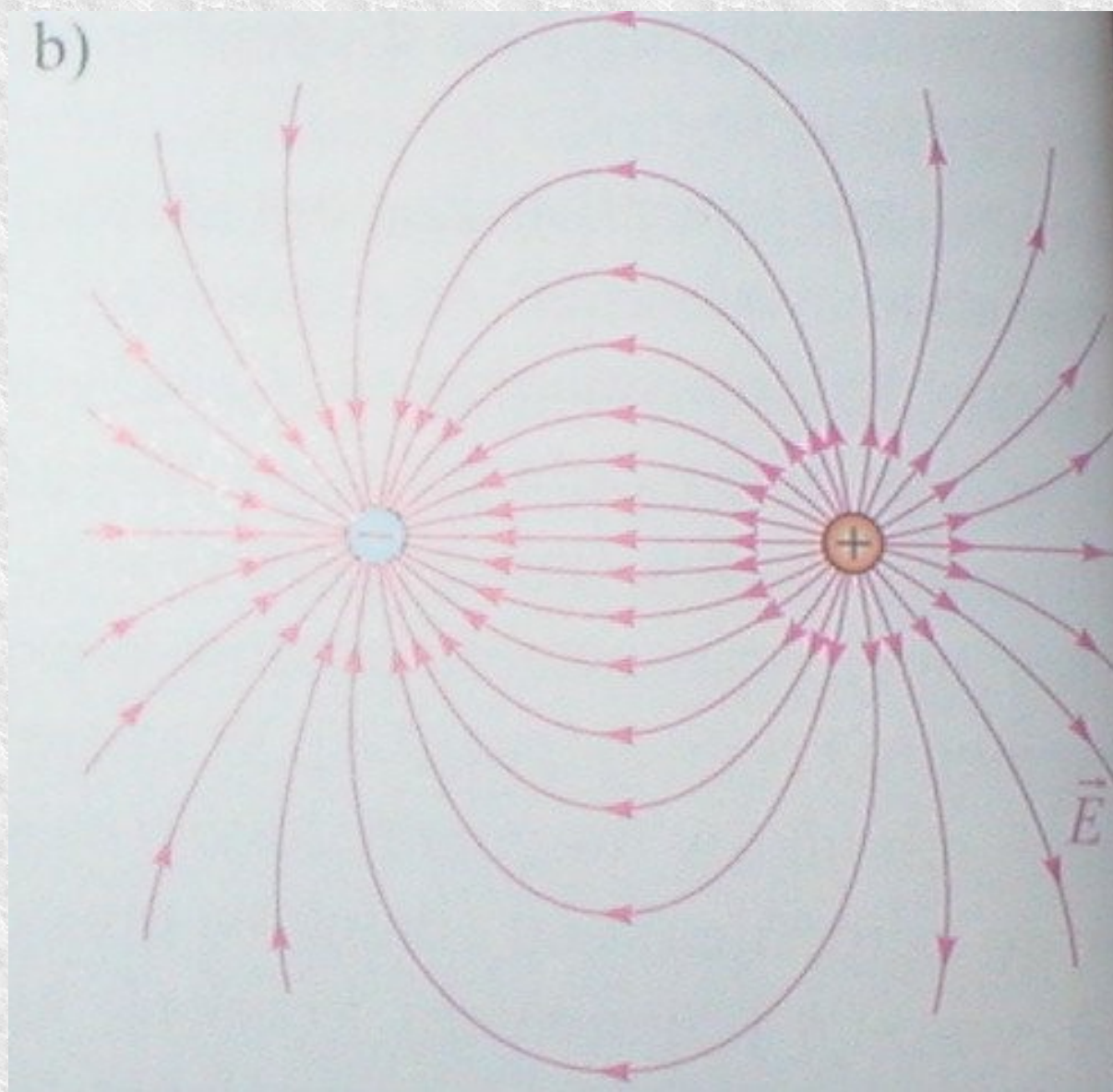
Jeżeli źródłem pola jest ładunek punktowy, to linie rozchodzą się **promieniście**; są one **zwrócone od ładunku dodatniego**. W przypadku **ładunku ujemnego linie są zwrócone do niego**. Zatem linie zaczynają się na ładunkach dodatnich, a kończą na ujemnych.



Linie sił pola wytworzonego przez dwa dodatnie ładunki



Linie sił pola wytworzonego przez dwa różnoimienne ładunki



Linie sił (linie pola)

Zależność pomiędzy liniami sił a wektorem natężenia pola elektrycznego jest następująca:

- **Styczna** do linii sił w dowolnym punkcie **wyznacza kierunek E** w tym punkcie.
- Linie sił wykreśla się tak, że **liczba linii** na jednostkę powierzchni przekroju **jest wprost proporcjonalna do wielkości E** . Gdy linie leżą blisko siebie, E jest duże, a gdy są odległe, E jest małe.

Natężenie pola od kilku ładunków

Przypuśćmy, że umieściliśmy ładunek próbny q_0 w odległości r od ładunku punkowego q . Natężenie pola elektrycznego w punkcie, w którym znajduje się ładunek próbny, otrzymujemy z równania:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}$$

W celu znalezienia natężenia pola wytwarzanego przez kilka ładunków punktowych należy:

- **Obliczyć E_n w danym punkcie**, pochodzące od każdego ładunku, tak jakby to był **jedyny obecny ładunek**.
- **Dodać wektorowo** znalezione **natężenia** w celu znalezienia pola wypadkowego poprzez sumowanie wektorowe po wszystkich ładunkach.

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_N = \sum_{n=1}^N \vec{E}_n$$

Zasada superpozycji

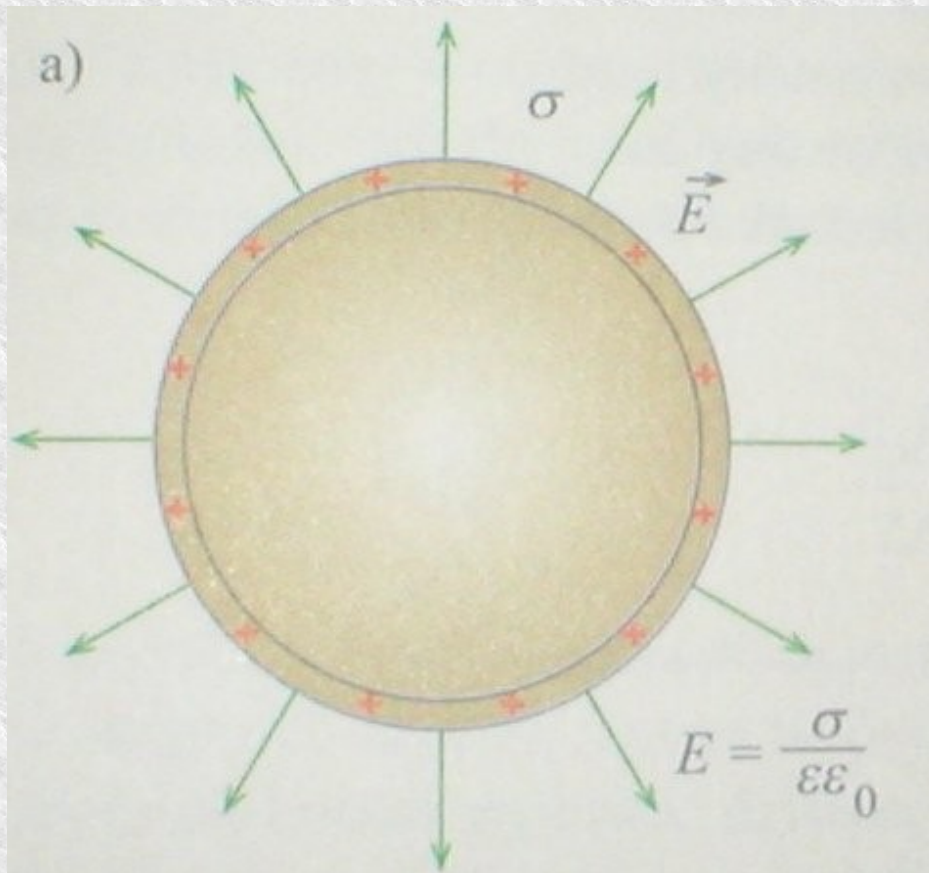
Równanie

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_N = \sum_{n=1}^N \vec{E}_n$$

jest przykładem zasady **superpozycji**, która mówi w tym przypadku, iż jeżeli mamy więcej źródeł pola, to – wiedząc że natężenia pola jest wektorem i znając zasadę dodawania wektorów – łatwo możemy znaleźć wypadkowe natężenie pola jako sumę wektorową natężeń pól pochodzących od wszystkich źródeł.

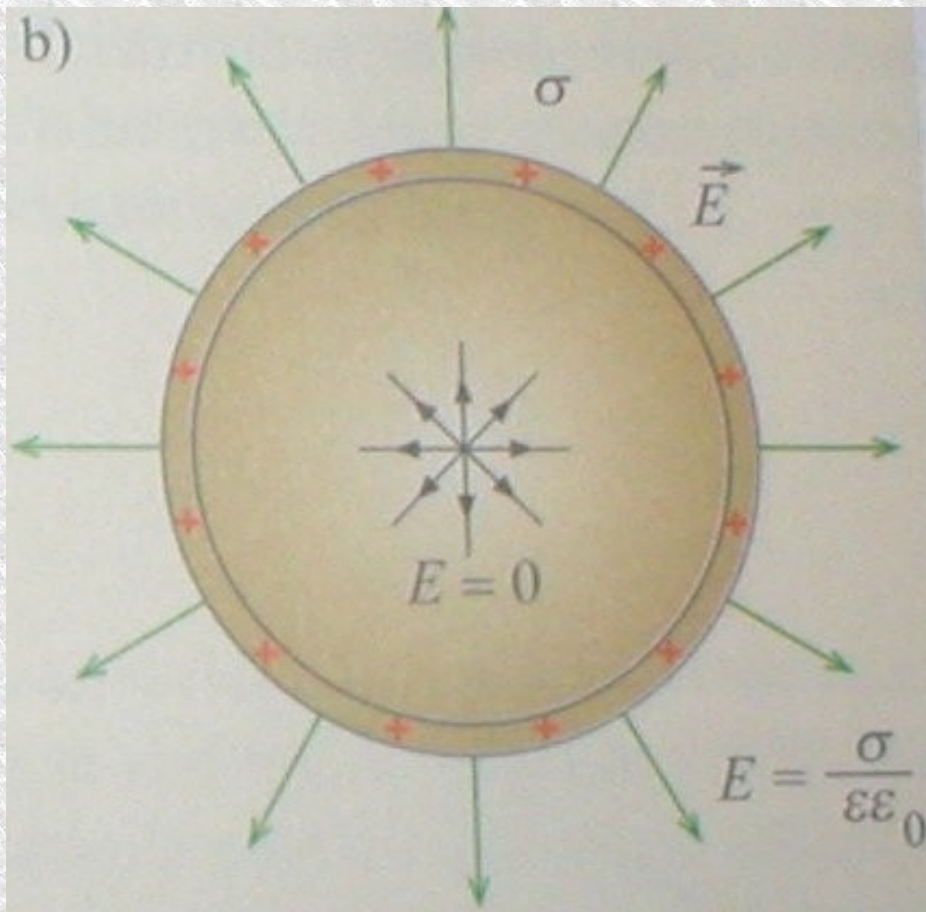
Kulisty rozkład ładunków

Cały ładunek gromadzi się na powierzchni przewodzącej cienkiej sfery. **Rozkład linii pola jest taki sam jak w przypadku pola wytworzonego przez ładunek punktowy.** Ładunek rozkłada się równomiernie na powierzchni sfery. Znając σ - powierzchniową gęstość ładunku na sferze i ϵ - względną przenikalność elektryczną ośrodka, możemy również obliczyć E korzystając ze związku:



$$E = \frac{\sigma}{\epsilon \epsilon_0}$$

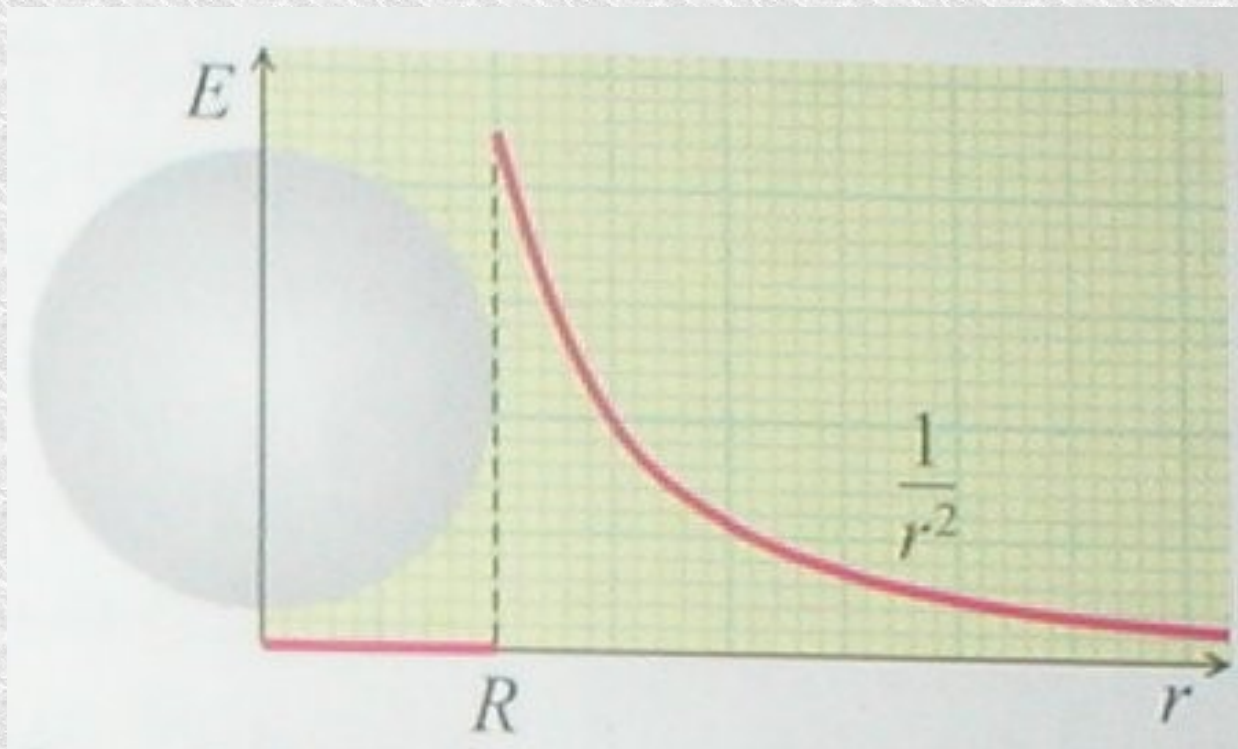
Kulisty rozkład ładunków



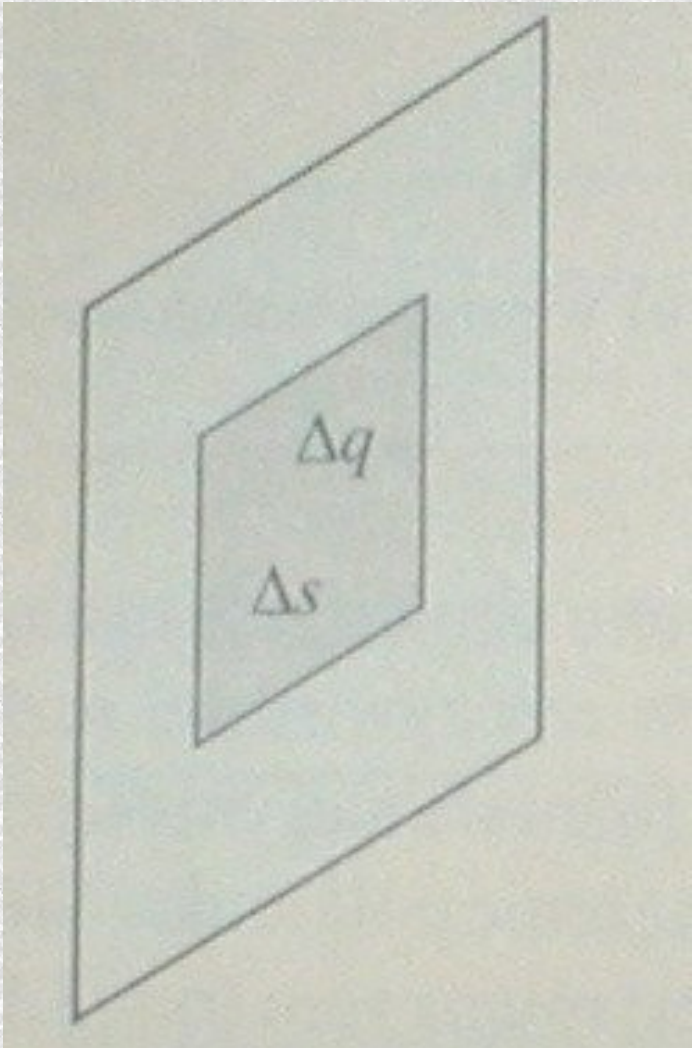
Wewnątrz naładowanej cienkiej sfery wypadkowa natężenia pola **jest równa zero.**

Rozkład natężenia pola w przewodniku sferycznym

Wewnątrz naładowanej cienkiej sfery lub kuli wypadkowa natężenia pola **jest równa zero**. Największe natężenie pole elektryczne osiąga na powierzchni kuli/sfery. Natężenie pola elektrycznego maleje wraz ze wzrostem odległości od powierzchni kuli/sfery.



Płaski rozkład ładunków



**Powierzchniową gęstość ładunku
równomiernie naładowanej, dużej, płaskiej
i znikomej grubości płyty znajdujemy ze
związku:**

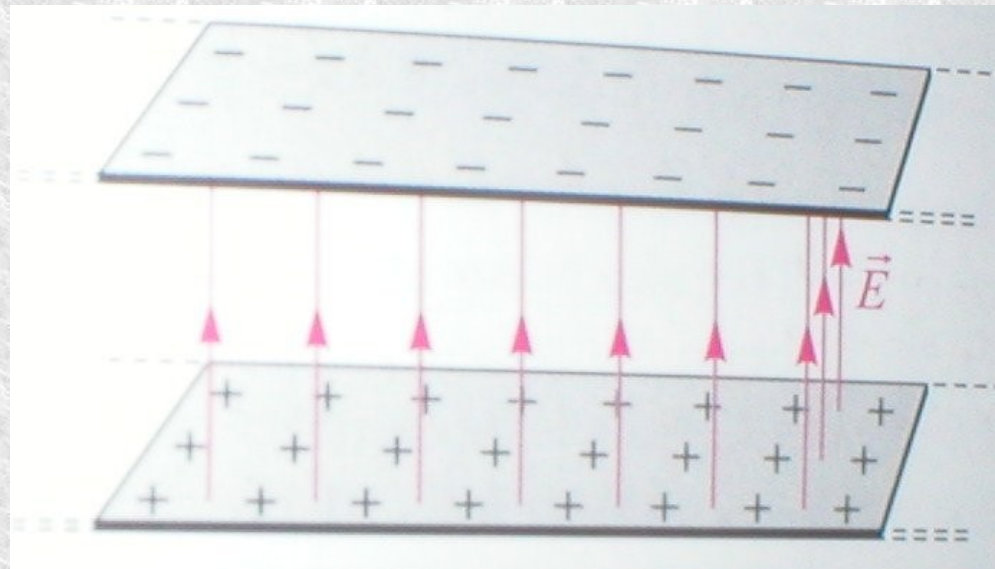
$$\sigma = \frac{\Delta q}{\Delta S}$$

**zaś natężenie pola po jednej stronie
płaszczyzny wyniesie:**

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon\epsilon_0}$$

Kondensator płaski powietrzny

Układ **dwu jednakowych równoległych do siebie płaskich metalowych płyt przedzielonych cienką warstwą powietrza**. Płyty te noszą nazwę okładek kondensatora. Do obu okładek doprowadzone są ładunki o równej wielkości, ale przeciwnego znaku. W typowym kondensatorze płaskim odległość między okładkami jest bardzo mała w stosunku do rozmiarów płyt. Do powstania pola elektrycznego między okładkami przyczyniają się tylko ładunki położone naprzeciw siebie.



Pole elektryczne wewnątrz kondensatora

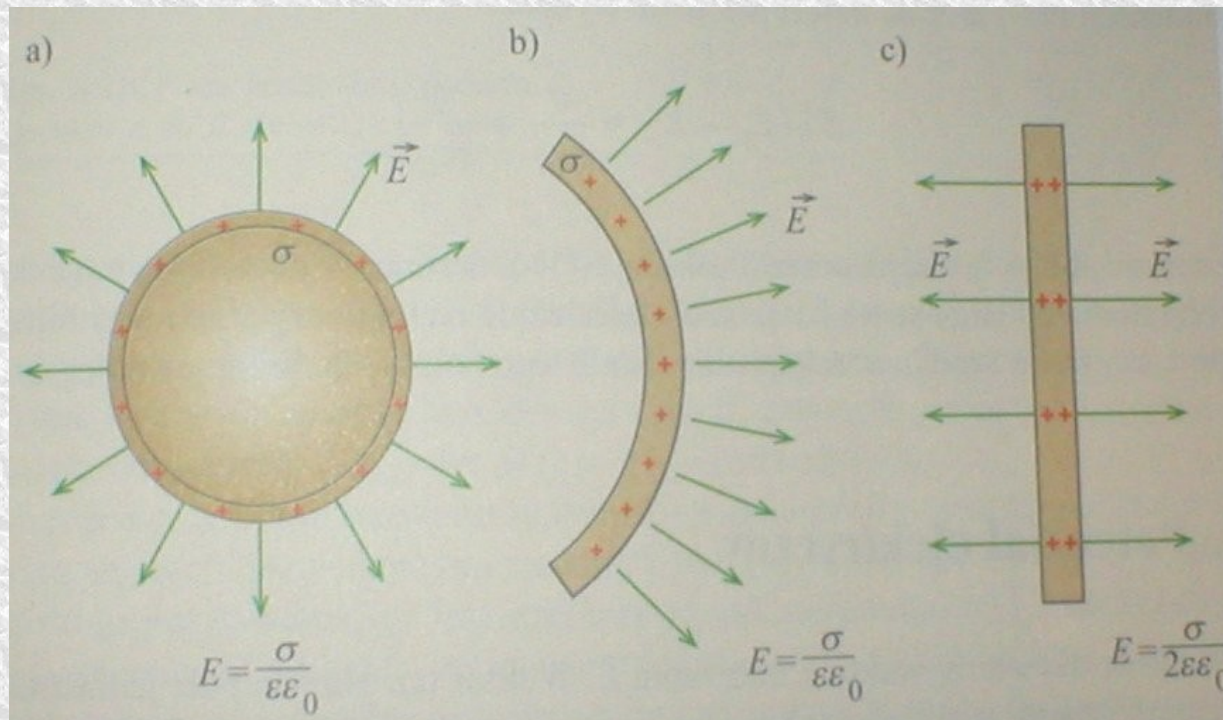
Pole wewnątrz kondensatora płaskiego jest jednorodne, ma wszędzie taki sam kierunek i taką samą wartość. Natężenie panujące wewnątrz kondensatora można znaleźć ze związku:

$$E = \frac{q}{\epsilon_0 \epsilon S},$$

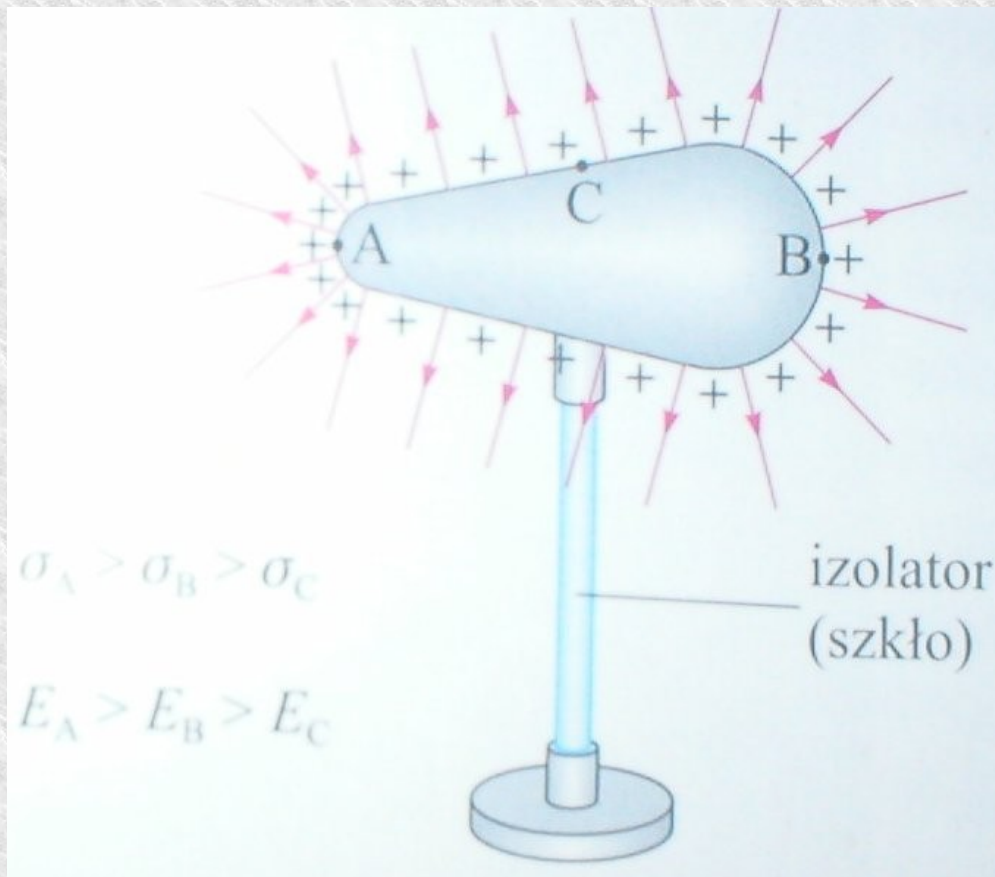
gdzie S jest powierzchnią okładek.

Rozkład ładunku

- a) ładunek rozmieszcza się równomiernie na powierzchni kuli
- b) wycinek kuli – ładunek jest rozmieszczony jednostronnie na zewnętrznej powierzchni
- c) na przewodzącej płaszczyźnie ładunek jest rozmieszczony na obu powierzchniach.



Rozkład ładunku na powierzchni zakrzywionej

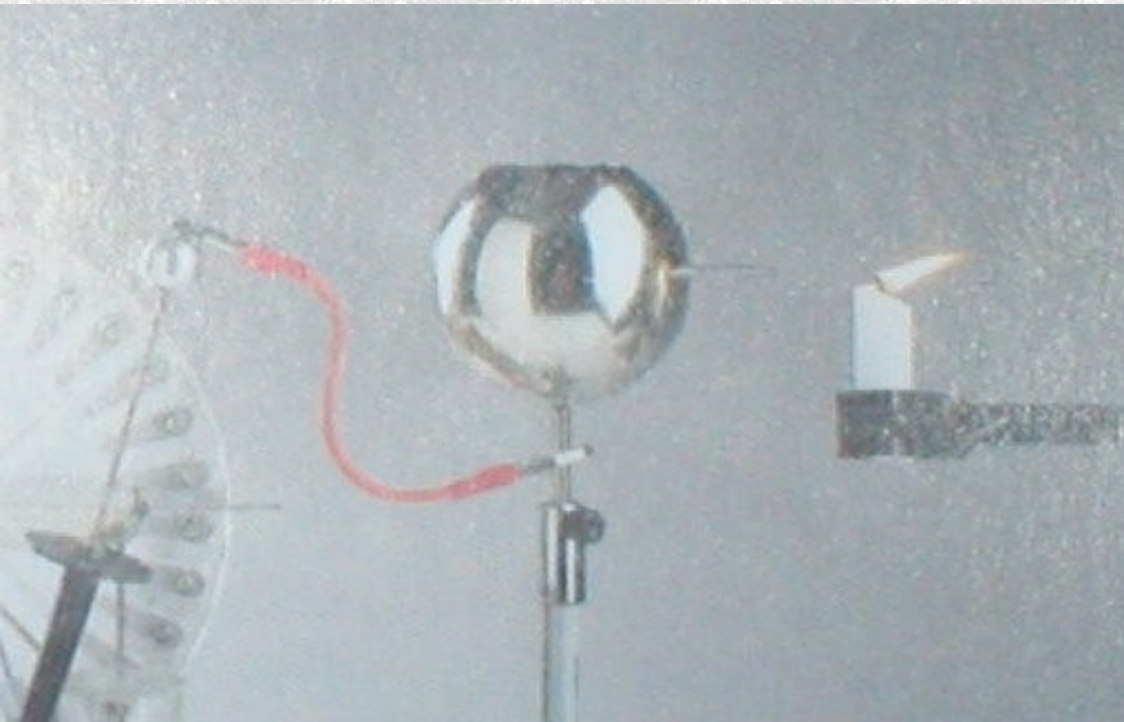


Należy zauważyć, że na powierzchniach o różnym stopniu zakrzywienia **największa gęstość powierzchniowa** (na tym samym **największe natężenie pola elektrycznego**) ładunków znajduje się tam, gdzie **krzywizna jest największa:**

$$\sigma_A > \sigma_B > \sigma_C$$

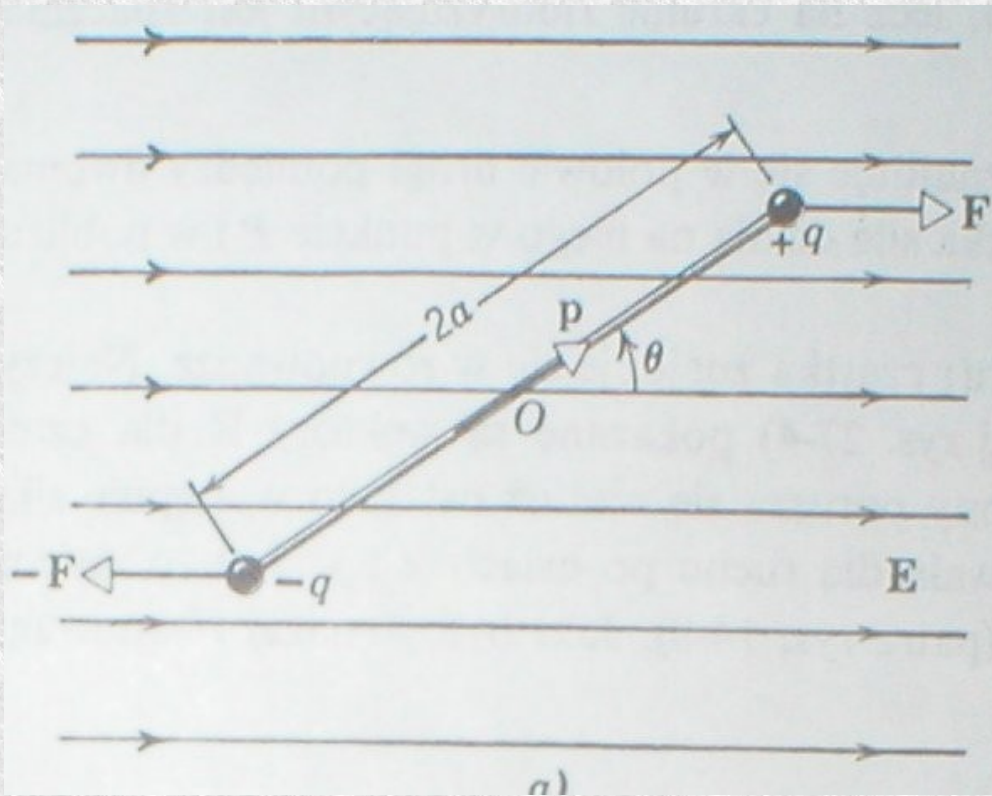
$$E_A > E_B > E_C$$

Upływ ładunku



Na bardzo silnie zakrzywionych powierzchniach, np. ostrzach może zachodzić zjawisko upływu ładunku, tzn. w silnym polu w pobliżu ostrza powstaje **silny ruch jonów** odchylający płomień.

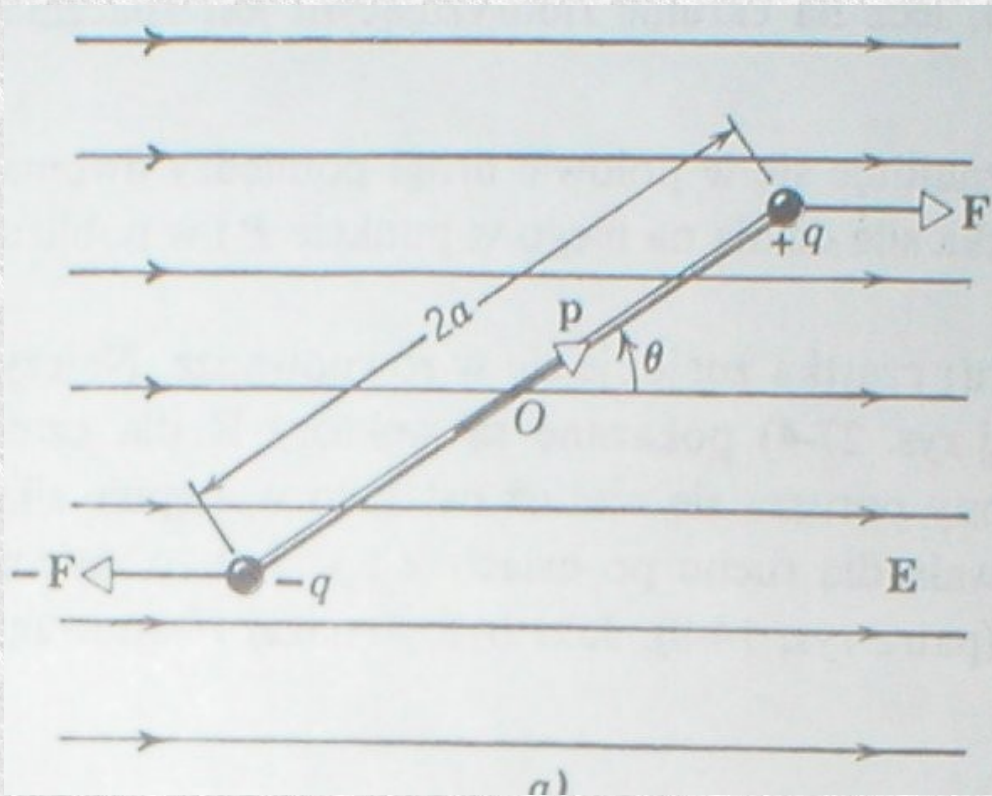
Dipol w polu elektrycznym



Dipol elektryczny jest to **układ dwóch ładunków**, dodatniego i ujemnego, o **równej wielkości q** .

Elektryczny moment dipolowy może być traktowany jako wektor p , którego wielkość jest iloczynem $2aq$, a kierunek p jest zgodny z kierunkiem od ładunku ujemnego do dodatniego.

Dipol w polu elektrycznym



Rysunek przedstawia dipol elektryczny umieszczony w jednorodnym zewnętrznym polu E , z którym moment dipolowy p tworzy kąt θ . Na dipol działają dwie równe i przeciwnie skierowane siły F i $-F$ ($F = qE$). Wypadkowa siła jest równa 0 , lecz istnieje wypadkowy moment obracający dipol wokół osi przechodzącej przez punkt O .

Dipol w polu elektrycznym

Ów moment dipolowy wynosi:

$$\tau = 2aF \sin \Theta$$

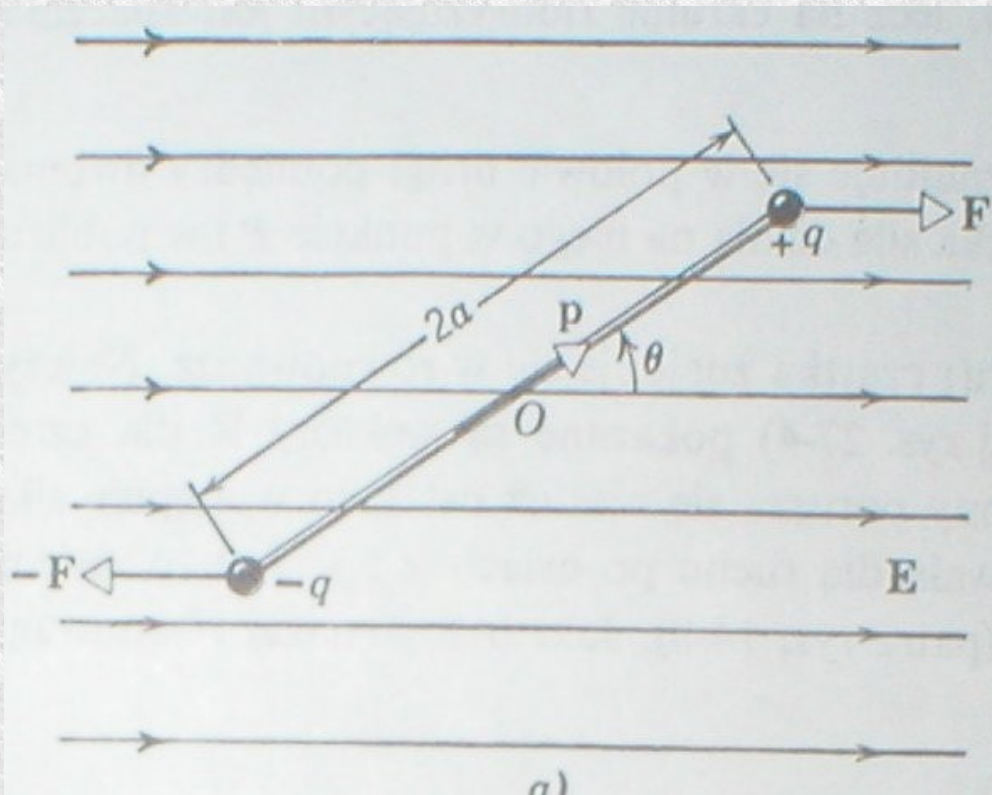
po pewnych przekształceniach:

$$\tau = 2aqE \sin \Theta = pE \sin \Theta$$

lub wektorowo:

$$\bar{\tau} = \bar{p} \times \bar{E}$$

Równanie to mówi, że **na dipol** elektryczny umieszczony w zewnętrznym polu E **działa moment skrecający**, dążący do ułożenia go wzdłuż linii pola.



Dipol w polu elektrycznym

Aby **zmienić położenie dipola, musi być wykonana praca** przez czynnik zewnętrzny. Praca ta zostaje zmagazynowana jako E_p .

Energia ta wynosi:

$$E_p = -pE \cos \Theta$$

lub w postaci wektorowej:

$$E_p = -\vec{p} \cdot \vec{E}$$

