

Elektryczność

wsp. hist.

- Tales z Miletu (VI w p.n.e) - przyciąganie się trawy przez potęty białej?
- "Magnety" przyciąga żelazo?

Ladunek elektryczny

• dwa rodzaje dodatnie i ujemne
• różne nośniki: elektrony, protony, ładunek czysty jest neutralny.

Elektrostatyka - nauka o siłach istniejących między spoczynkowymi ładunkami

Elektrodynamika - oddziaływania pomiędzy poruszającymi się ładunkami elektrycznymi Q ; Charles A. Coulomb (1736-1806)

$$1 C = 1 A \cdot 1 s$$

ładunek "elementarny"

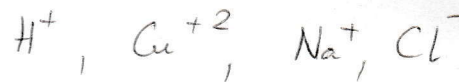
$$e = 1.602 \times 10^{-19} C$$

fizyce czystych element. występują kwarki $\pm \frac{e}{3}, \pm \frac{2e}{3}$
(ale tylko w stanie związanym!!!)

Zasada zach. ładunku

W układzie izolowanym całkow. ładunek jest zachowany (tzn. suma ładunków dodatnich i ujemnych jest stała)
Jeśli w układzie elektr. obw. pojawi się ładunek dodatni to musi pojawić się też ład. ujemny.

Jony powstają w wyniku jonizacji np.



Przewodniki i izolatory (dielektryki)

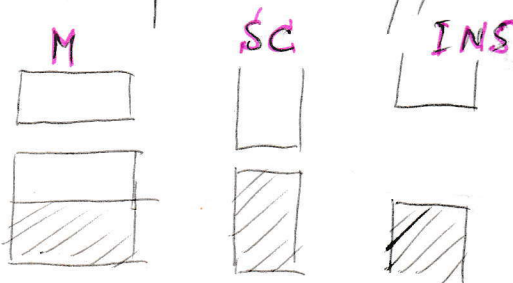
metal
ziemia
ciężkie ciała

szkło
tworzywa sztuczne

$$\frac{\epsilon_{Cu}}{\epsilon_{szkło}} \sim 10^{-25}$$

swobodnie przemieszczające się ładunki

• to półprzewodniki



Prawo Coulomba

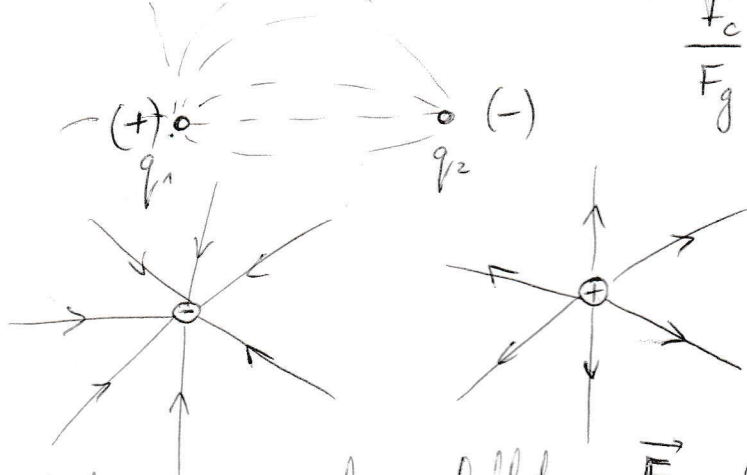
$$F_c = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$\epsilon_0 = 8.8542 \times 10^{-12} \frac{C^2}{J \cdot m}$$

prędkość elektryczna próżni

$$\vec{F}_c = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^3} \vec{r}$$

$$\frac{F_c}{F_g} \sim 10^{38}$$



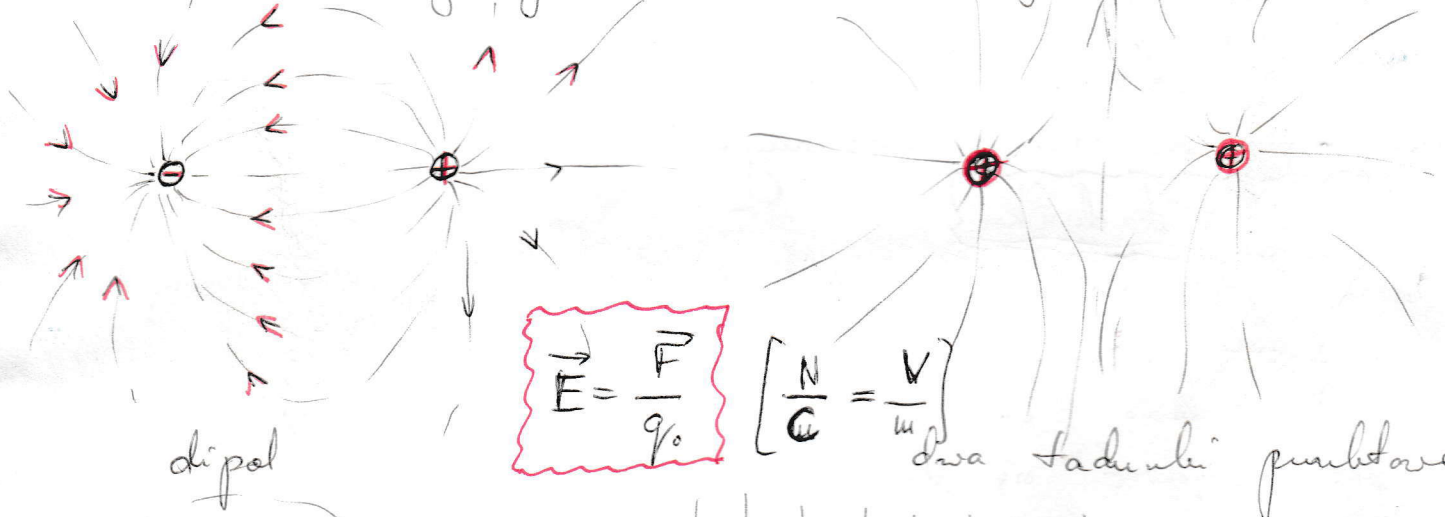
Pole elektryczne -

obszar wokół ładunków
(może istnieć w próżni)

ładunek $\Rightarrow$ pole $\Rightarrow$ ładunek
ładunek $\Rightarrow$ ładunek

Natężenie pola elektr. $\vec{E}$ (wielkość wektorowa)

$\vec{E}$ - kierunek zgodny z kierunkiem siły $\vec{F}$ (jeśli q_0 - dodatni)

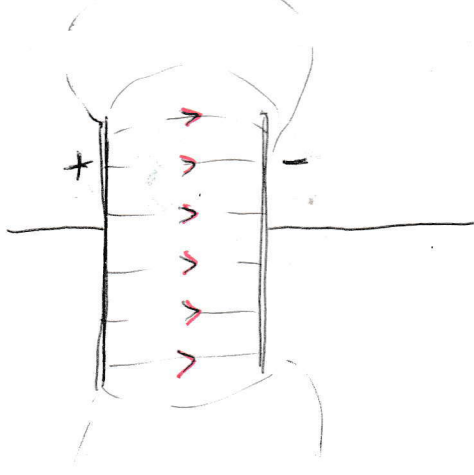


dipol

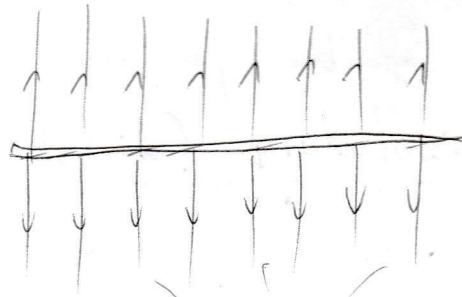
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$$

$$\left[\frac{N}{C} = \frac{V}{m} \right]$$

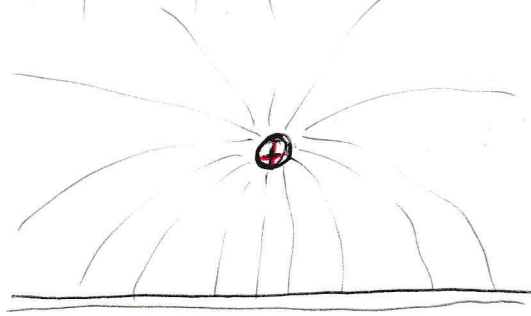
dwa ładunki punktowe



pole jednorodne



plyta naładowana

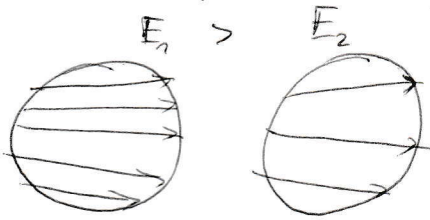


Natężenie pola elektr.
charakterystyka pola elektr.

$$|\vec{E}| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2}$$

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^3} \vec{r}$$

linie sił pola $\vec{E}$ - obrazują pole elektr. w przestrzeni



pole jednorodne - linie sił równoległe i równo odległe

prostate rozkłady - pole niejednorodne

Zasada superpozycji (układy ładunków)

$$Q \quad 2q \quad -q \quad -q \quad 2q$$



$$\vec{F}_w = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots$$

$$\vec{E}_w = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots$$

Ładunek w polu $\vec{E}$ $\vec{F} = q \vec{E}$

Praca przy przemieszczeniu ładunku

$$dW = -\vec{F} \cdot d\vec{r}$$

praca jest ujemna $W < 0$ gdy $\vec{F} \parallel \vec{r}$

$$W_{1,2} = - \int_{r_1}^{r_2} \vec{F} \cdot d\vec{r} = -q \int_{r_1}^{r_2} \vec{E} \cdot d\vec{r}$$

praca nie zależy od drogi (zadawana)

Potencjał

$$W = q \Delta V = q \{V(A) - V(B)\}$$

ład. punktowy

$V = 0 = V(\infty)$ - dla ładunku punktowego

Napięcie = $\Delta V = \frac{\text{praca}}{\text{ładunek}}$

$$\Rightarrow U = \Delta V = \frac{W}{q}$$

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}$$

$$\left\{ \Delta V = \frac{1V}{1C} \right\}$$

Alessandro Volta (1745-1827)

od 1990 wzorem pomiaru ΔV jest stała Josephsona

$$K_{J-90} = \frac{2e}{h} = 483597,9 \text{ MHz/V}$$

Powierzchnie stałego potencjału (izopotencjały)

Pole a potencjal

$$\vec{E} = - \text{grad } V = - \vec{\nabla} V = - \left(\frac{\partial V}{\partial x}, \frac{\partial V}{\partial y}, \frac{\partial V}{\partial z} \right)$$

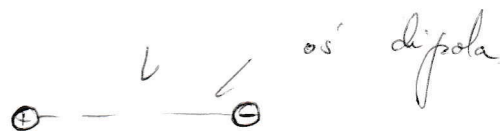
↑ pole wektorowe ↑ pole skalarne

Dipol elektryczny

$$\vec{p} = q \vec{l} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{moment dipolowy} \end{array} \right.$$

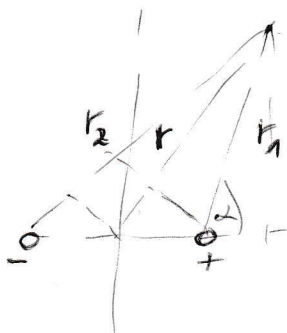
$$1 \text{ D (debye)} = [1 \text{ C} \cdot 1 \text{ m}] \times 3,34 \times 10^{-30}$$

wartość momentu dipola.
+e -e w odł. 1 Bohra



Potencjal dipola

$$V = \frac{Ql \cos \alpha}{4\pi \epsilon_0 r^2} \quad r \gg l$$



$$V = V_1 + V_2$$

$$V = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{q}{r_1} - \frac{q}{4\pi \epsilon_0 r_2}$$

Dipol w polu

$$\vec{M} = \vec{p} \times \vec{E} = q \vec{l} \times \vec{E} = q l E \sin \beta$$

$$\beta = 0 \Rightarrow \vec{M} = 0$$

$$U = \int dW = \int M d\theta = U$$

$$U = \int_{\theta_0}^{\theta} p E \sin \theta d\theta = p E (-\cos \theta) \Big|_{\theta_0}^{\theta} =$$

energia potencjalna.

$$U = - p E \cos \theta$$

Przykład: (na obliczenie $\vec{E}$ z rakiety ładunków)

$$\vec{E} = \vec{E}_+ + \vec{E}_- \quad \left\{ \begin{array}{l} \cos \theta = \frac{a}{\sqrt{a^2 + r^2}} \end{array} \right.$$

$$|\vec{E}_+| = |\vec{E}_-| = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{q}{(a^2 + r^2)^{3/2}}$$

$$E = 2 E_- \cos \theta = \frac{2qa}{(a^2 + r^2)^{3/2}} \approx \frac{p}{4\pi \epsilon_0 r^3} \quad r \gg a$$

$$E = 0$$

$$\frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{q_1}{x^2} = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{q_2}{(l-x)^2}$$

$$\sqrt{\frac{q_1}{q_2}} = \frac{x}{l-x} \Rightarrow \sqrt{\frac{q_1}{q_2}} l = x \left(1 + \sqrt{\frac{q_1}{q_2}} \right)$$

$$x = \frac{l}{\left(1 + \sqrt{\frac{q_1}{q_2}} \right)}$$

Przeglądaj c.d.

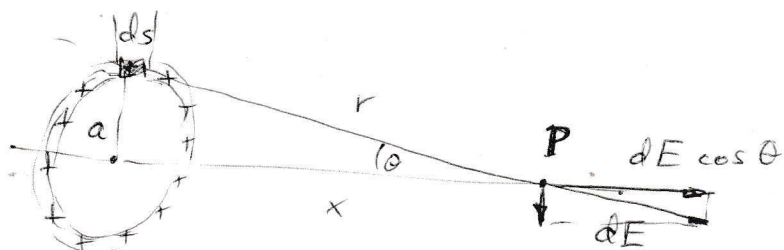
$$dq = \frac{q}{2\pi a} ds$$

$$\vec{E} = \int d\vec{E}$$

$$E = \int dE \cos \theta \Leftrightarrow dE = \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{q ds}{4\pi\epsilon_0 2\pi a (a^2 + x^2)}$$

$$E = \int_S \frac{x q ds}{\sqrt{a^2 + x^2} 2\pi a (a^2 + x^2) 4\pi\epsilon_0} = \frac{x q 2\pi a}{4\pi\epsilon_0 2\pi a (a^2 + x^2)^{3/2}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{x q}{(a^2 + x^2)^{3/2}}$$

$$x \gg a \Rightarrow E \approx \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{x^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{x^2} \quad (\text{redukuje się do punktu})$$



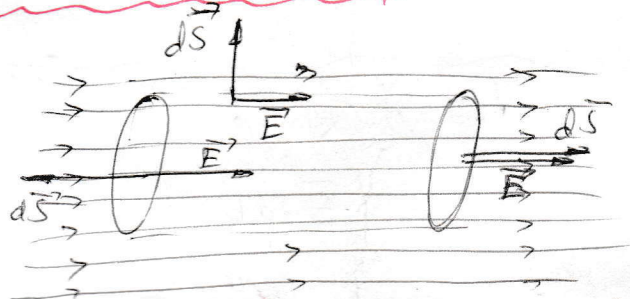
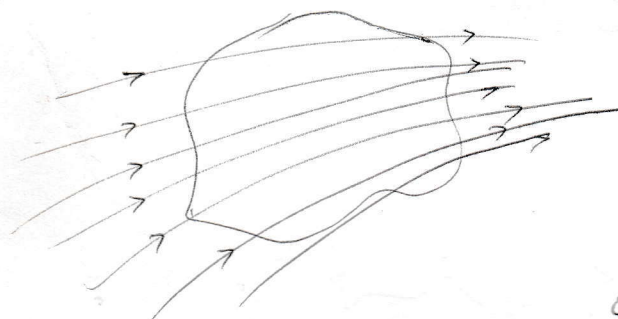
Strumień pola $\vec{E} \rightarrow$ prawo Gaussa

$$\Phi_E \approx \sum_i \vec{E}_i \cdot \Delta \vec{S}_i$$

$$d\vec{S} \parallel \vec{E} \quad d\Phi_E = |\vec{E}| |d\vec{S}| \cos \theta$$

$$\text{dygresja: } \Phi = \oint \vec{v} \cdot \vec{A}$$

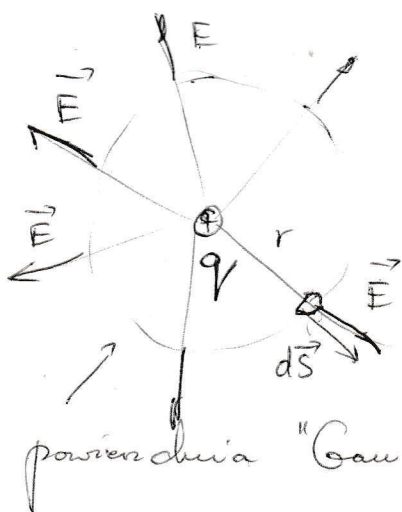
$$\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{S}$$



$$\Phi_E = \underbrace{\int_{\text{pl.}} \vec{E} \cdot d\vec{S}}_0 + \underbrace{\int_{\text{pl.}} \vec{E} \cdot d\vec{S}}_0 + \underbrace{\int_{\text{pod}} \vec{E} \cdot d\vec{S}}_{\text{mierzona maki}}$$

$$\epsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = q$$

Prawo Gaussa a prawo Coulamba



$$\epsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \epsilon_0 \oint E dS = \epsilon_0 E \oint dS = q$$

- (1) $\vec{E} \parallel d\vec{S}$
 (2) $E = \text{const na pow. } S$ } warunki

$$E 4\pi r^2 \epsilon_0 = q \Rightarrow E(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}$$

p. Coulamba