

Podstawy elektromagnetyzmu

Wykład 9

Sity



Siły w polu elektromagnetycznym

Treść wykładu:

- Siła elektrostatyczna
- Siła magnetyczna
- Siła Lorentza
- Tensor naprężeń Maxwella
- Siły potencjalne

Siła elektrostatyczna

Siła jest wykorzystana do zdefiniowania pojęcia „pole” (q to ładunek próbny):

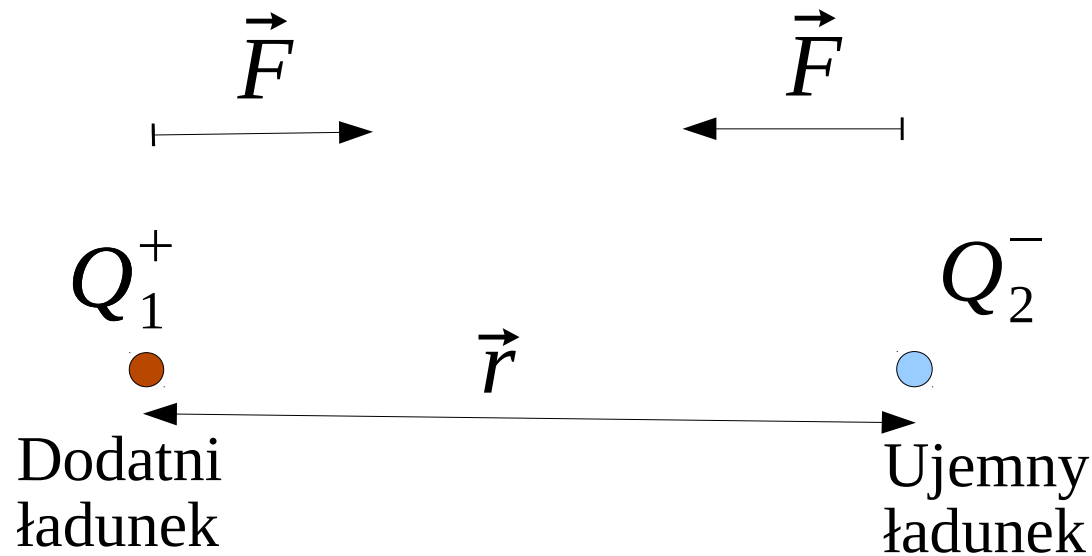
$$\mathbf{F} = q \mathbf{E}$$

Kierunek siły = kierunek pola.

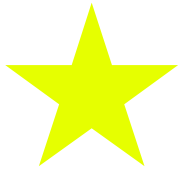
W przypadku rozłożonego ładunku obliczamy siłę przez całkowanie:

$$\mathbf{F} = \int \rho \mathbf{E} dv$$

Siła elektrostatyczna



$$\vec{F} = \frac{Q_1 Q_2}{\epsilon 4 \pi r^2} \vec{1}_r$$



- różnoimienne ładunki przyciągają się
- jednoimienne – odpychają.

Siła magnetyczna

Pole magnetyczne oddziałuje na poruszający się ładunek

$$\mathbf{F} = q (\mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

$$I = \frac{dq}{dt}$$

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{l}}{dt}$$

Ruch ładunku to prąd elektryczny

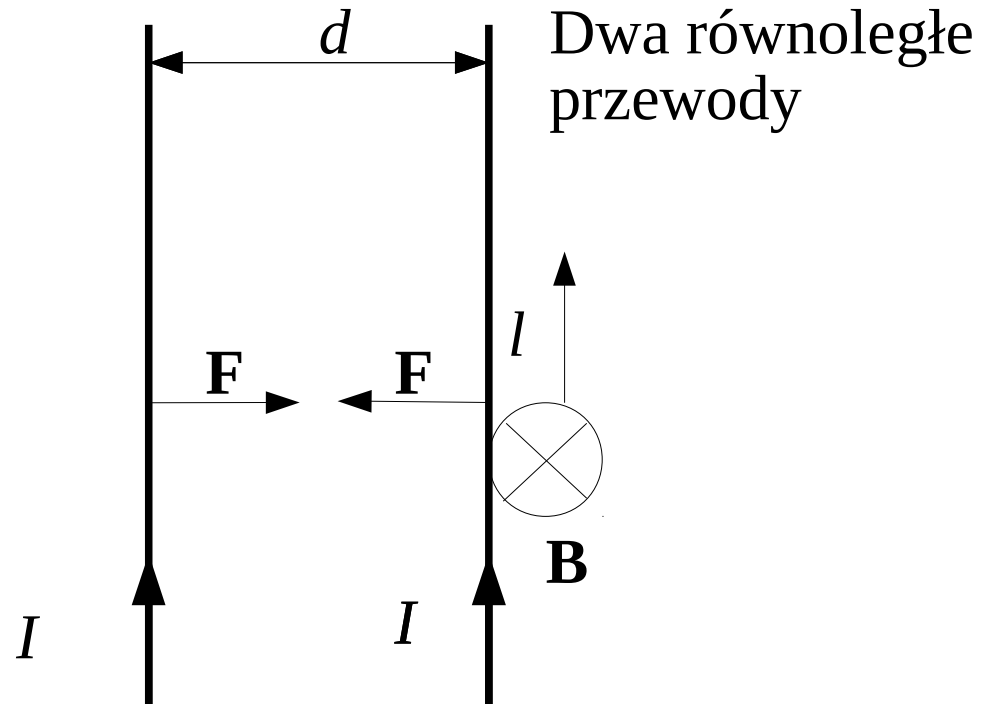
$$\mathbf{F} = q \left(\frac{d\mathbf{l}}{dt} \times \mathbf{B} \right) = \frac{dq}{dt} (\mathbf{l} \times \mathbf{B}) = I (\mathbf{l} \times \mathbf{B})$$

Siła magnetyczna

$$\mathbf{F} = I (\mathbf{l} \times \mathbf{B})$$

$$B = \frac{\mu I}{2 \pi d}$$

$$F = \frac{\mu I^2 l}{2 \pi d}$$



- prądy płynące przeciwnie odpychają się
- prądy płynące zgodnie przyciągają się

Siła Lorenza

Siła działająca na punktowy ładunek w polu elektromagnetycznym.

$$\mathbf{F} = q (\mathbf{E} + (\mathbf{v} \times \mathbf{B}))$$

ładunek

pole elektryczne

prędkość

indukcja magnetyczna

Siły ciągłe

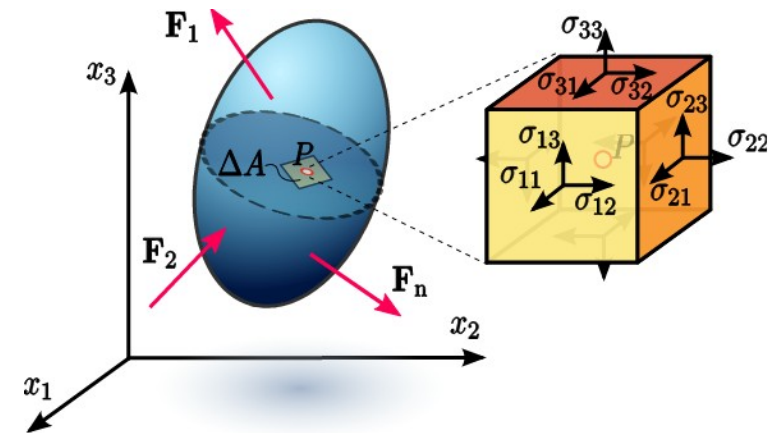
Ciśnienie

$$P = \frac{d F_n}{d S}$$

Ciśnienie to jednostkowa siła (siła na jednostkę powierzchni) skierowana tak, jak wektor normalny do powierzchni.

Tensor naprężeń

$$\sigma = \frac{d F}{d A}$$



Naprężenie to miara wewnętrznych sił działających w obiekcie.

Tensor naprężeń Maxwella

Gęstość siły [N/m³]

$$\mathbf{f} = \rho \mathbf{E} + \mathbf{J} \times \mathbf{B}$$

Wektor Poytinga

$$\mathbf{f} + \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \mathbf{S}}{\partial t} = \nabla \cdot \mathbf{T}$$

$$T_{ij} = \epsilon_0 E_i E_j + \frac{1}{\mu_0} B_i B_j - \frac{1}{2} \left(\epsilon_0 E^2 + \frac{1}{\mu_0} B^2 \right) \delta_{ij}$$

Tensor naprężeń Maxwella

Delta Kroneckera

Energia potencjalna

Energia potencjalna – energia zmagazynowana w systemie, zależna od wzajemnej .

$$W = -\Delta U = \int \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r}$$

$$\mathbf{F} = -\frac{dU}{dx}$$

Siła zachowawcza

Wyznaczanie siły na podst. energii

Przykład: siła ściskająca okładki kondensatora

$$W = \frac{Q^2}{2C} \quad C = \frac{\epsilon S}{d} \quad \longrightarrow \quad W = \frac{Q^2 d}{2\epsilon S}$$

$$F = -\frac{dW}{dd} = -\frac{Q^2}{2\epsilon S}$$

