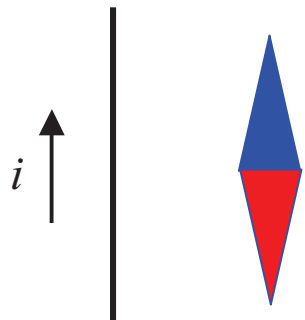


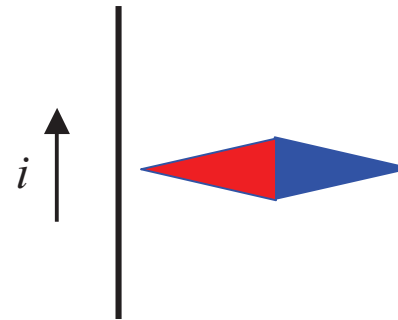
Pole magnetyczne \Leftrightarrow prąd elektryczny

Czy prąd elektryczny może wytwarzać pole magnetyczne?
Pierwsze eksperymenty

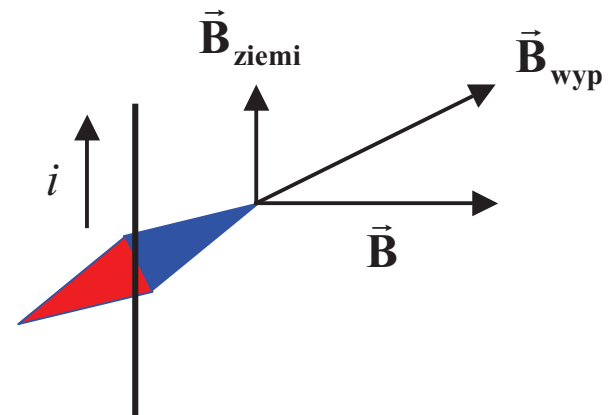
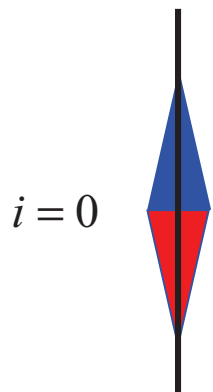
I.



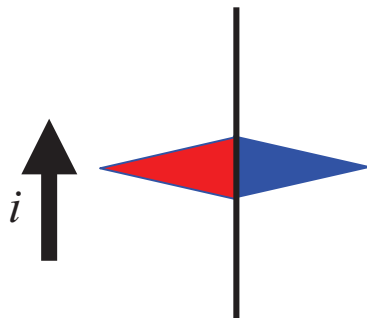
II.



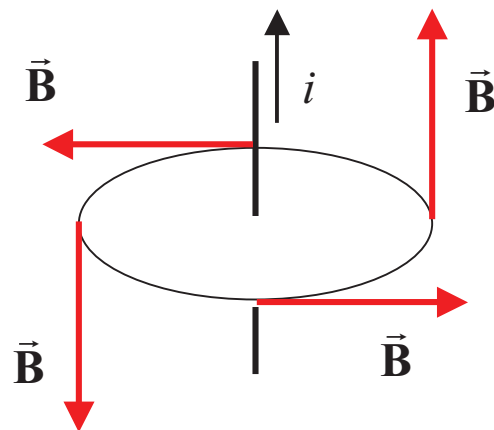
W obu przypadkach – brak efektu.
Hans Christian Oersted (1820):



Przy odpowiednio silnym prądzie



Oznacza to, że wektor \vec{B} ma kierunek \perp do prądu, ale nie jest w płaszczyźnie prądu.
Linie wektora \vec{B} są okręgami o środkach umieszczonych na osi przewodu.



Prawo Ampera (1820)

$$\oint_K \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 i$$

Całka z wektora indukcji magnetycznej \vec{B} po dowolnej krzywej zamkniętej otaczającej przewód z prądem jest równa natężeniu prądu płynącego w tym przewodzie, pomnożonemu przez przenikalność magnetyczną próżni μ_0 .

W układzie SI

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Wb}}{\text{A m}}$$

Przykład: obliczenie pola przewodu prostoliniowego

jako krzywą K przyjmujemy okrąg (jak na rysunku powyżej), wtedy $\vec{B} \cdot d\vec{l} = B dl$

$$\oint_K \vec{B} \cdot d\vec{l} = \oint_K B dl = B \oint_K dl = B \cdot 2\pi r$$

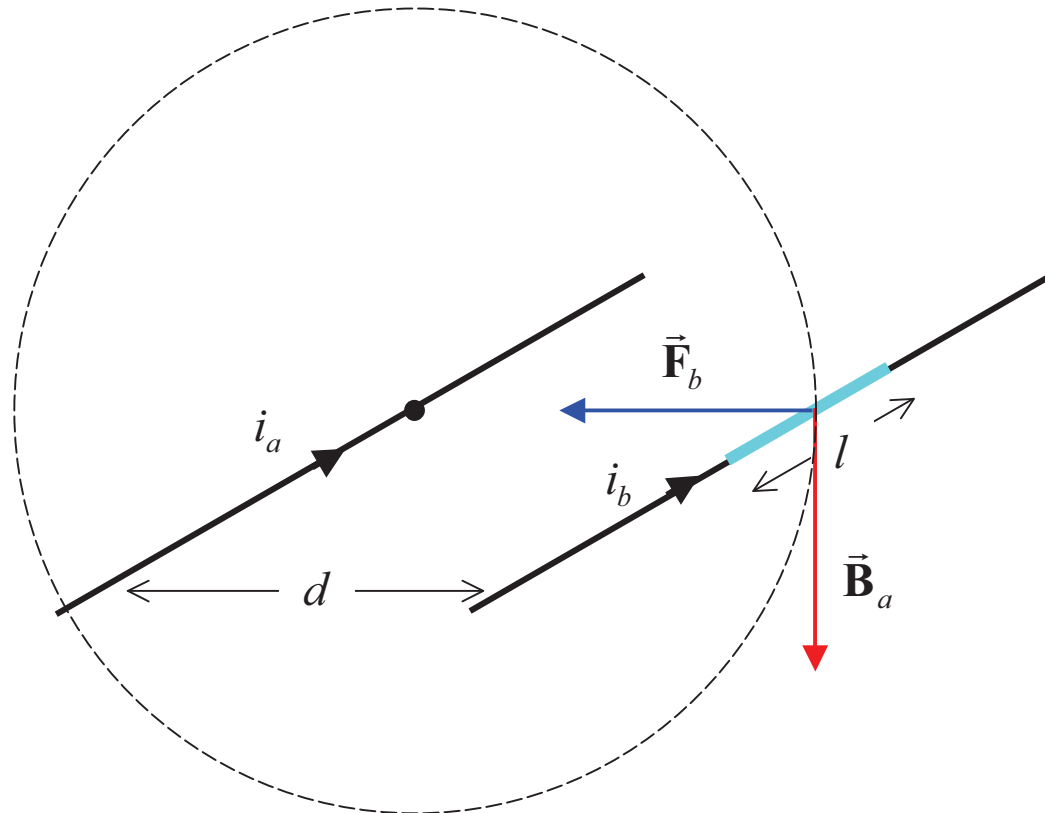
$$B \cdot 2\pi r = \mu_0 i$$

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r}$$

Ten wynik został sprawdzony eksperymentalnie.

Oddziaływanie wzajemne prądów

Rozważmy dwa równoległe przewody z prądem



$$B_a = \frac{\mu_0 i_a}{2\pi d}$$
$$F_b = i_b l B_a$$
$$F_b = \frac{\mu_0 i_a i_b l}{2\pi d}$$

Przewody przyciągają się wzajemnie. Jeżeli prądy są antyrównoległe, to przewody odpychają się.

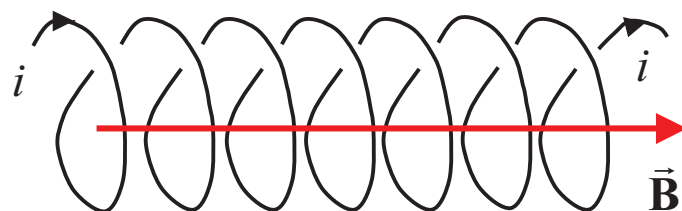
Powyższa zależność służy do zdefiniowania jednostki natężenia prądu.

Definicja ampera:

Jeden amper (1 A) jest to natężenie takiego prądu stałego, który płynąc w dwóch równoległych, prostoliniowych, nieskończenie długich przewodach, o przekroju okrągłym, znikomo małym, umieszczonych w próżni w odległości 1 m od siebie, wywołuje między nimi siłę przyciągania $2 \cdot 10^{-7}$ N na każdy metr przewodu.

Solenoid (cewka, zwojnica)

Ampere zauważył, że pojedynczy obwód kołowy zachowuje się jak dipol magnetyczny, m. in. wytwarza pole magnetyczne. Solenoid to zbiór takich obwodów, połączonych szeregowo:



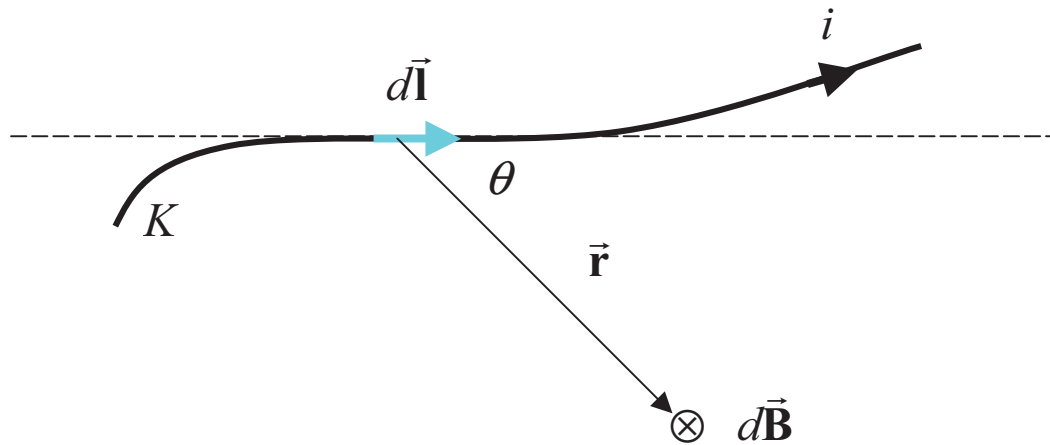
Gęsto nawinięty, długi solenoid, ma wewnątrz pole jednorodne. Z prawa Ampere'a

$$B = \mu_0 i n$$

gdzie n - ilość zwojów na jednostkę długości.

Prawo Biota-Savarta

służy do obliczania pola magnetycznego od dowolnych układów prądów



$$dB = \frac{\mu_0 i}{4\pi} \frac{dl \sin \theta}{r^2}$$

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 i}{4\pi} \frac{d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$$

$$\vec{B} = \int_K d\vec{B}$$

$$\vec{B} = \int_K \frac{\mu_0 i}{4\pi} \frac{d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$$

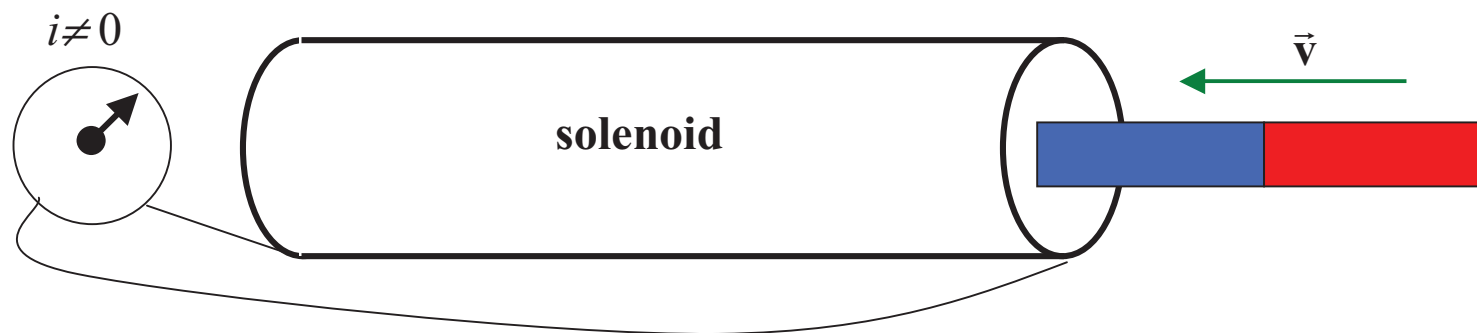
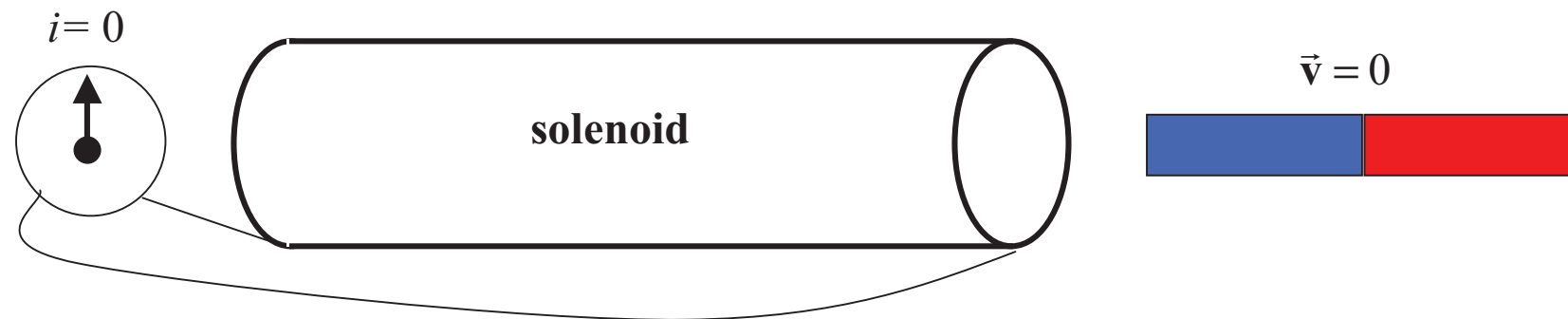
Pole magnetyczne \Leftrightarrow prąd elektryczny

Czy pole magnetyczne może wytwarzać prąd elektryczny?

Pierwsze eksperymenty dawały zawsze wynik negatywny.

Powód: statyczny układ magnesów.

Michał Faraday pierwszy zauważył, że ruch magnesu względem obwodu powoduje przepływ prądu (1831)



Podsumowanie obserwacji: zmiana strumienia pola magnetycznego, przenikającego przez obwód, powoduje powstanie w tym obwodzie siły elektromotorycznej, a ta – jeżeli obwód jest zamknięty – powoduje przepływ prądu.

Jest to zjawisko indukcji elektromagnetycznej.

Prawo indukcji Faradaya:

$$\mathcal{E} = - \frac{d\Phi_B}{dt}$$

Siła elektromotoryczna indukcji jest równa szybkości zmian strumienia magnetycznego przenikającego dany obwód, ze znakiem przeciwnym.

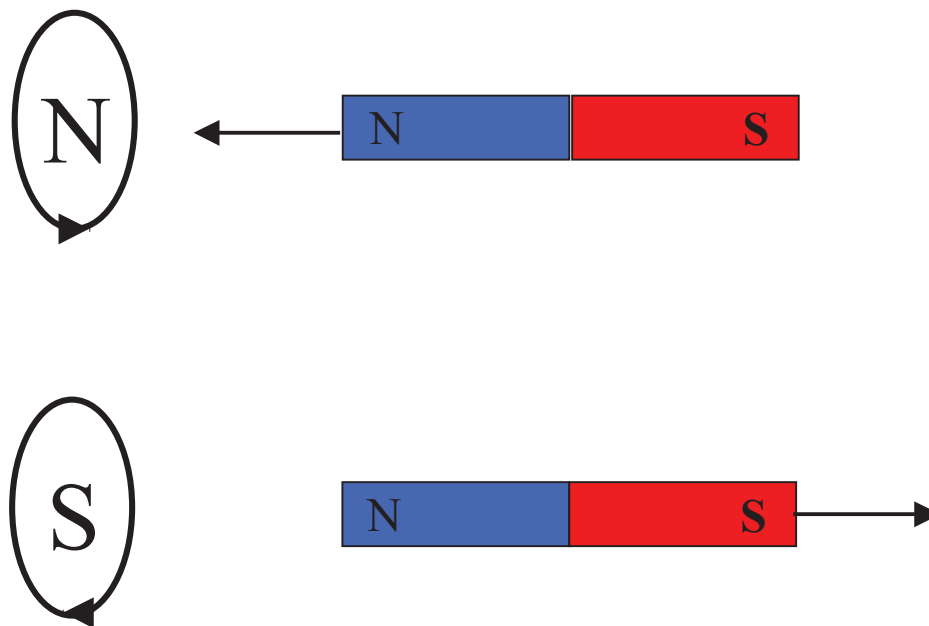


Michael Faraday (1791 - 1867)

(źródło: Internet)

Reguła Lenza:

Prąd indukowany ma taki kierunek, że przeciwstawia się zmianie, która go wywołała.



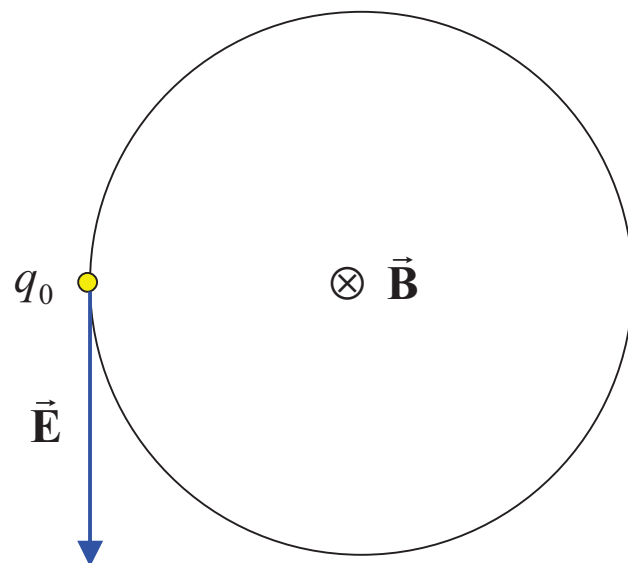
Zastosowanie prawa indukcji Faradaya (w połączeniu z regułą Lenza):

- prądnice elektryczne
- transformatory
- niektóre typy silników
- liczniki prądu elektrycznego
- tygle do topienia metali

Prądy wirowe: prądy indukcyjne powstające w bryłach metalu, w zmiennym polu magnetycznym

- w licznikach, w tyglach – korzystne
- w transformatorach – niekorzystne

Postać całkowa prawa indukcji Faradaya



\vec{B} zmienne, rosnące

$$\mathcal{E} = - \frac{d\Phi_B}{dt}$$

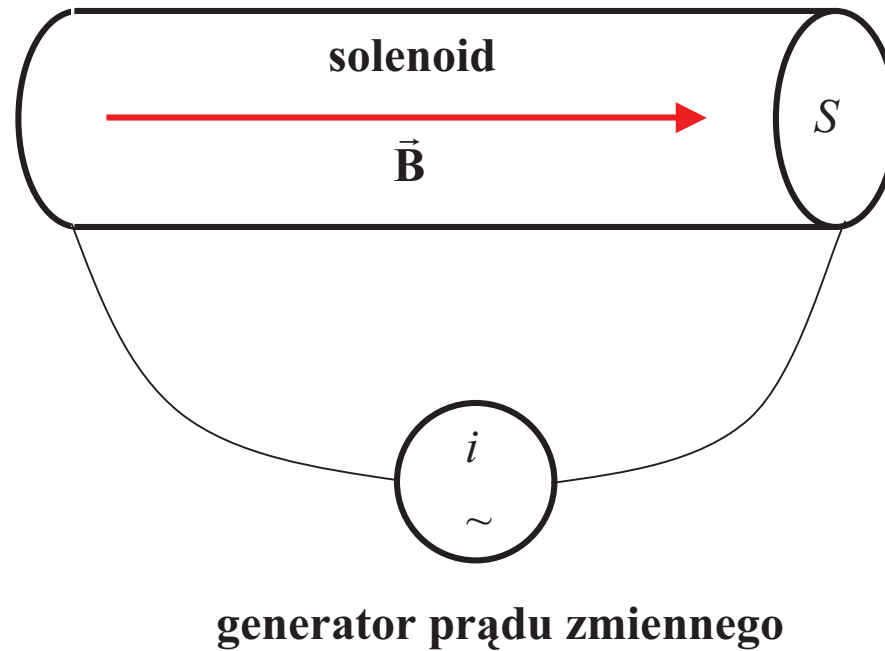
$$W = q_0 \mathcal{E}$$

$$W = \oint_K q_0 \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

$$\mathcal{E} = \oint_K \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

$$\oint_K \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \frac{d\Phi_B}{dt}$$

Zjawisko samoindukcji



Φ_B - strumień przez jeden zwój

N - liczba zwojów

Generowana siła elektromotoryczna indukcji

$$\mathcal{E} = - \frac{d(N \Phi_B)}{dt}$$

nazywana jest siłą elektromotoryczną indukcji własnej (albo samoindukcji).

Stawiamy tezę

$$N \Phi_B = Li$$

Uzasadnienie:

$$\Phi_B = \int_S \vec{\mathbf{B}} \cdot d\vec{\mathbf{S}}$$

$$\vec{\mathbf{B}} = \frac{\mu_0 i}{4\pi} \int_K \frac{d\vec{\mathbf{l}} \times \vec{\mathbf{r}}}{r^3}$$

$$\Phi_B = \frac{\mu_0 i}{4\pi} \int_S \int_K \frac{d\vec{\mathbf{l}} \times \vec{\mathbf{r}}}{r^3} \cdot d\vec{\mathbf{S}}$$

Widoczne jest, że $N \Phi_B$ jest proporcjonalne do i .

Współczynnik L nazywamy współczynnikiem indukcji własnej lub indukcyjnością.

$$\mathcal{E} = - \frac{d(Li)}{dt}$$

$$\mathcal{E} = - L \frac{di}{dt}$$

Jednostka indukcyjności: 1 H (1 henr).

Indukcyjność układu wynosi 1 H, jeżeli zmiana prądu w nim o 1 A w czasie 1 sekundy generuje siłę elektromotoryczną 1 V.