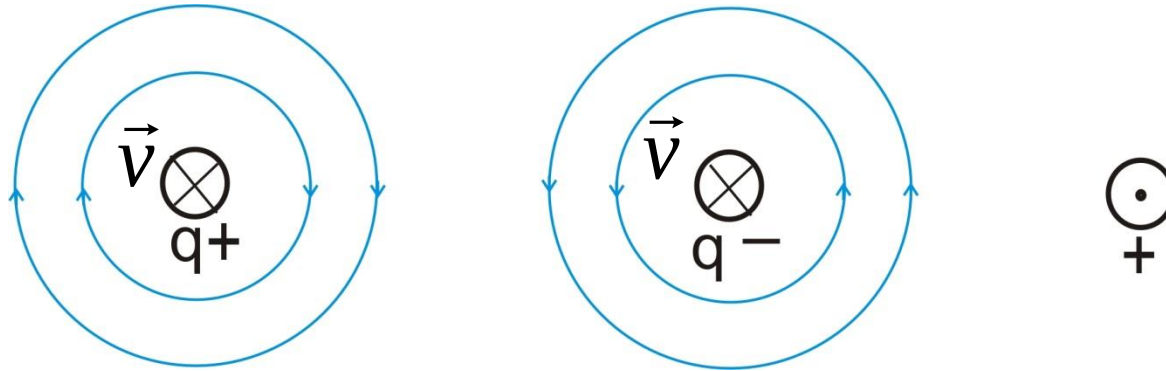


POLE MAGNETYCZNE

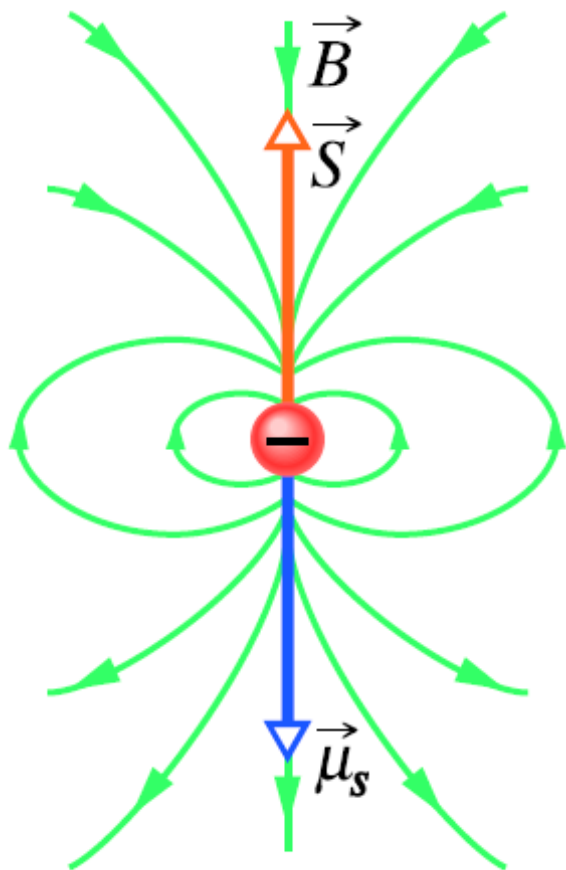
Pole magnetyczne wytwarzają ładunki elektryczne będące w ruchu



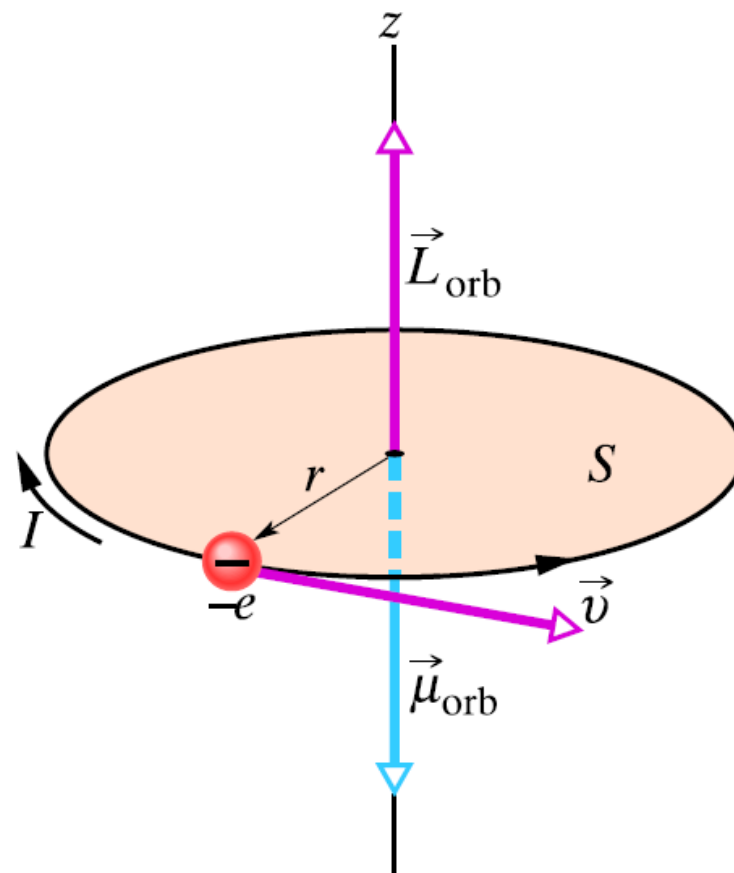
Wytwarzanie pola magnetycznego

- Pole własne naładowanych cząstek elementarnych – magnesy trwałe.
- Pole od ruchomych ładunków – elektromagnesy

Magnetyzm materii



Spinowy moment magnetyczny



Orbitalny moment magnetyczny

Źródłem pola magnetycznego zawsze są poruszające się ładunki elektryczne.

Właściwości magnetyczne materii

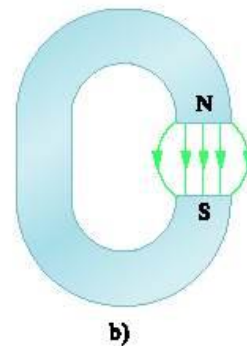
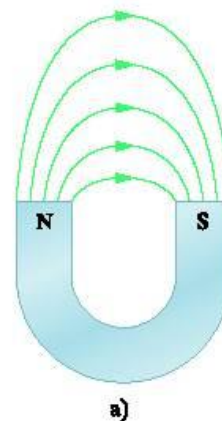
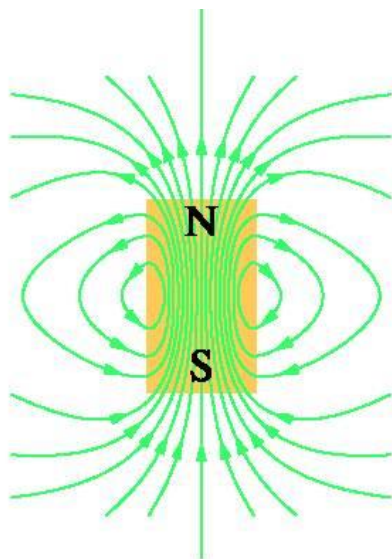
Diamagnetyki – są indukowane słabe momenty magnetyczne gdy materiał jest umieszczany w zewnętrznym polu magn. Mom. magn. znikają gdy usuniemy zewn. p. magnetyczne. Diamagnetyzm jest zjawiskiem b. słabym (niedostrzegalnym, przysłanianym przez pozostałe wł. Magn.). Diamagnetyzm wykazują wszystkie powszechnie spotykane materiały.

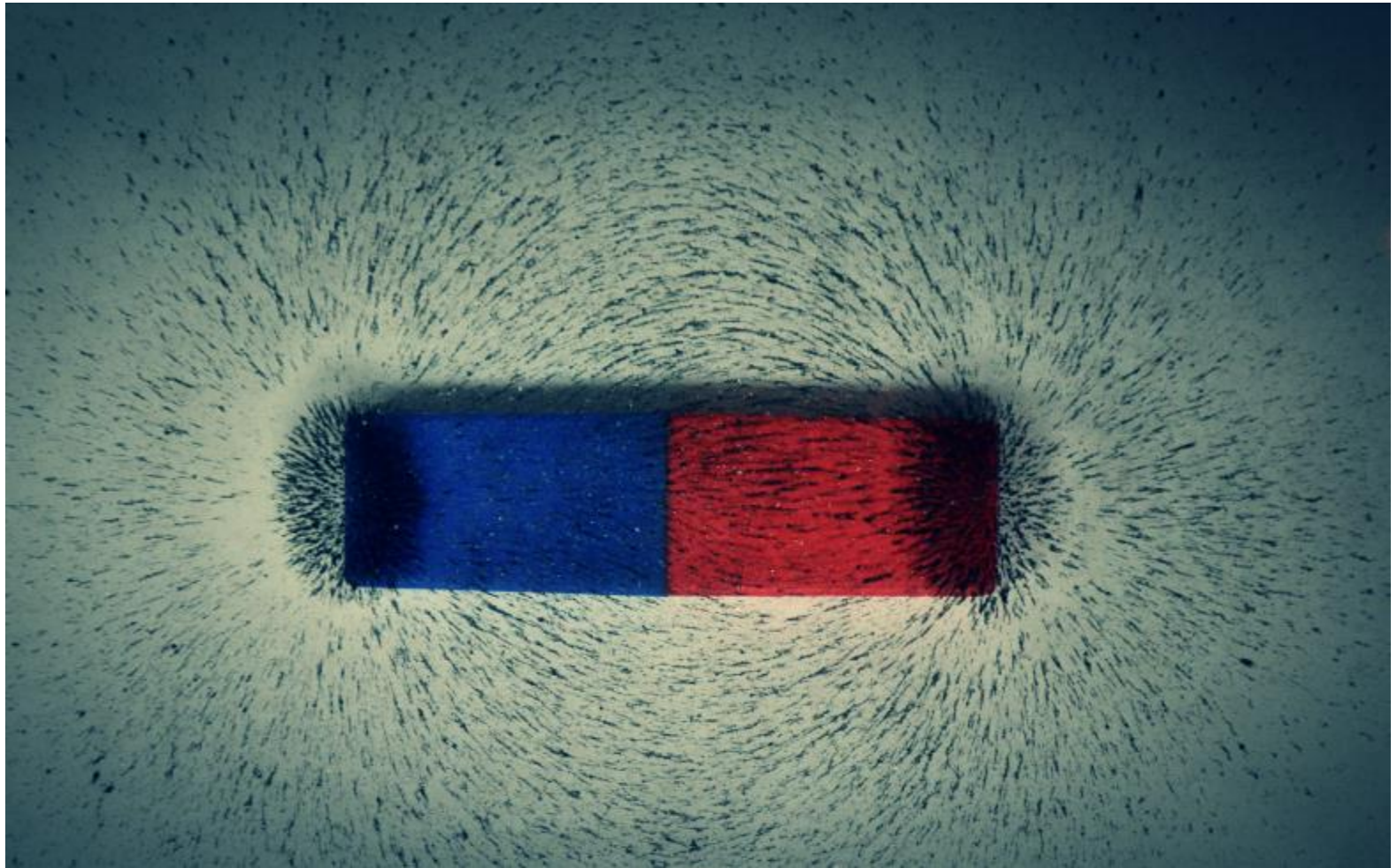
Paramagnetyki – każdy atom ma trwały wypadkowy moment magnetyczny, ale momenty są zorientowane przypadkowo. Pole magn. zewn. (B_{zewn}) może częściowo uporządkować momenty magnetyczne atomów. Uporządkowanie i związane z nim pole znika, gdy usuniemy B_{zewn} . Paramagnetyzm wykazują metale ziem rzadkich (lantanowce oraz aktynowce).

Ferromagnetyki – momenty magnetyczne niektórych elektronów w tych materiałach są uporządkowane, dzięki czemu powstają obszary o dużym momencie magnetycznym. B_{zewn} może uporządkować momenty magnetyczne tych obszarów, wytwarzając silne pole magnetyczne w próbce materiału. To pole się częściowo utrzymuje, gdy usuniemy B_{zewn} . Ferromagnetyzm jest właściwością głównie żelaza i niklu.

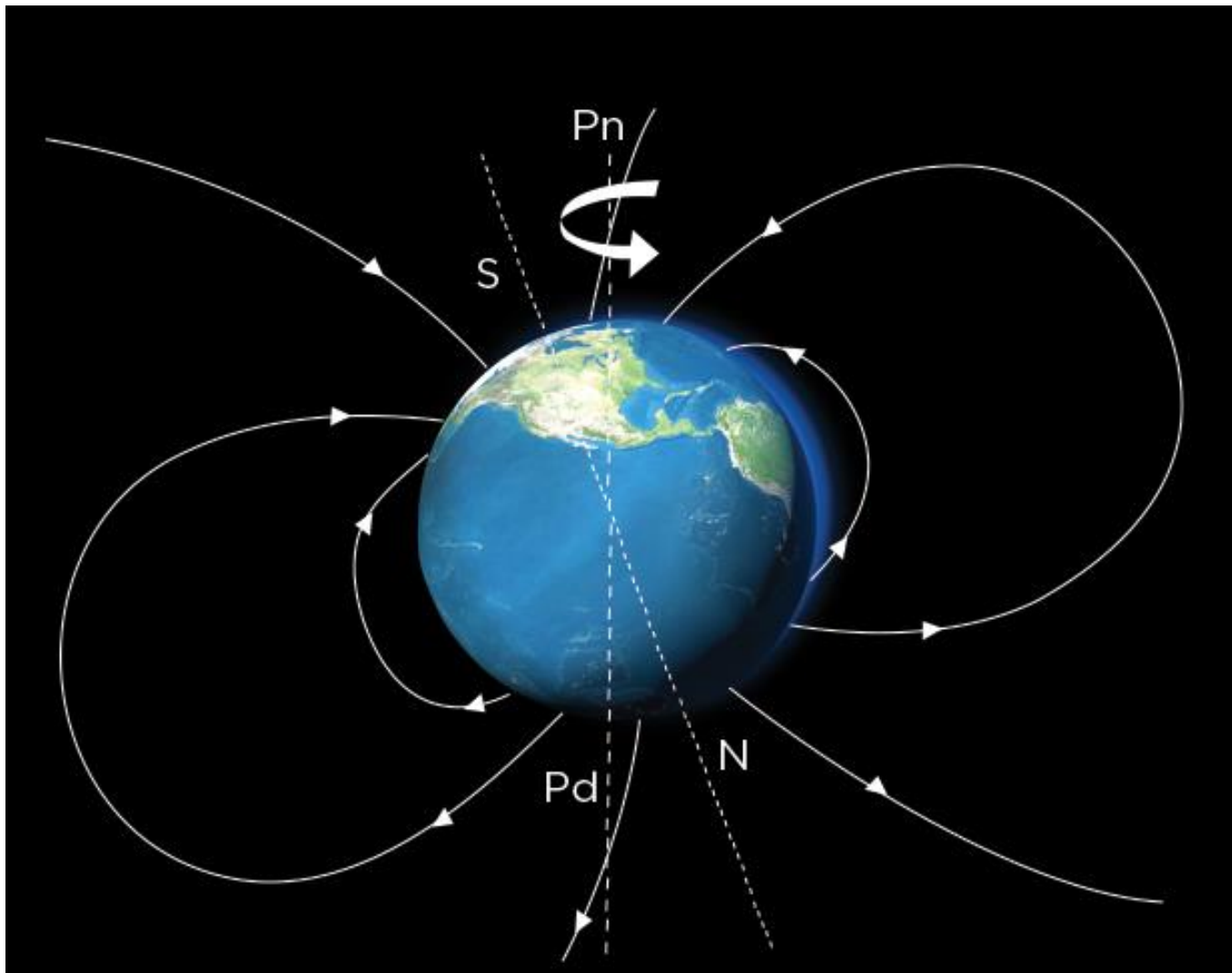
Wytwarzanie pola magnetycznego

- Pole własne naładowanych cząstek elementarnych – magnesy trwałe.

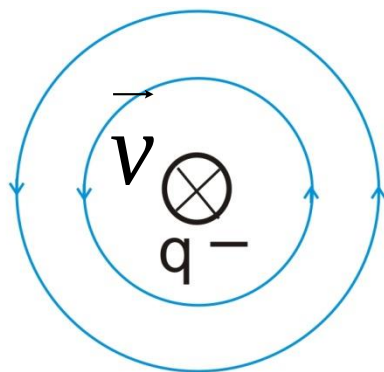
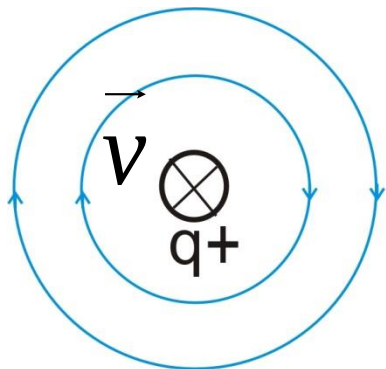




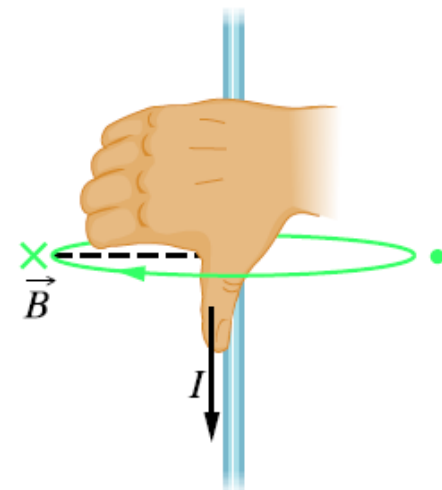
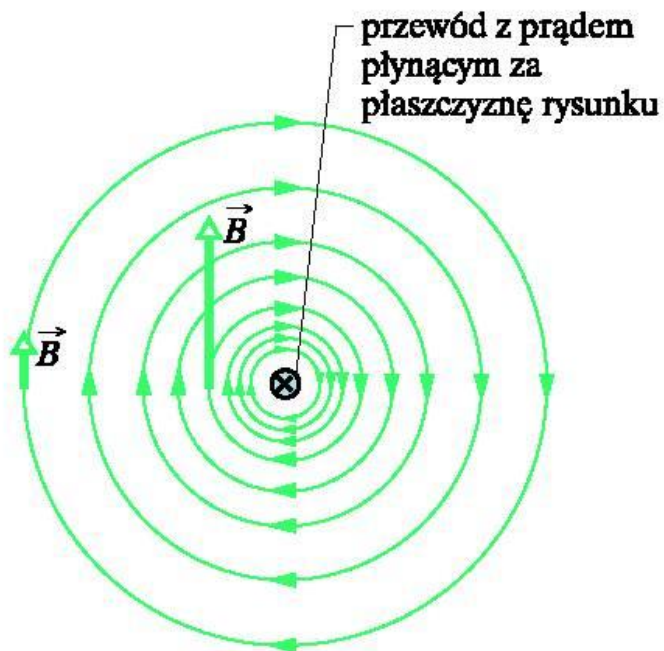
Pole magnetyczne Ziemi



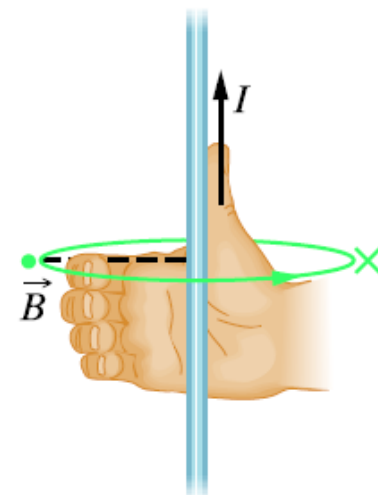
- Pole wokół przewodnika z prądem



$\vec{B}$ [T] tesla

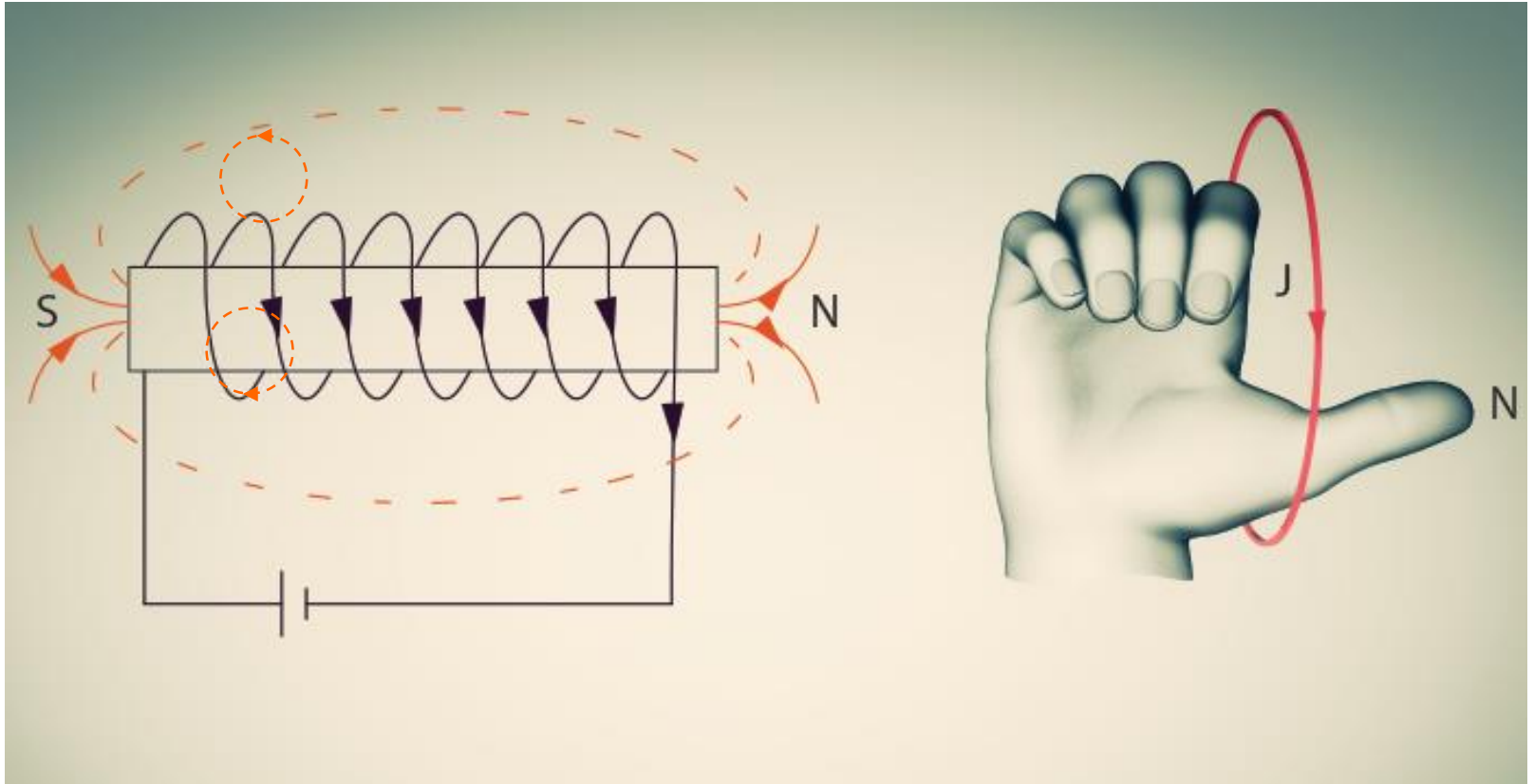


a)

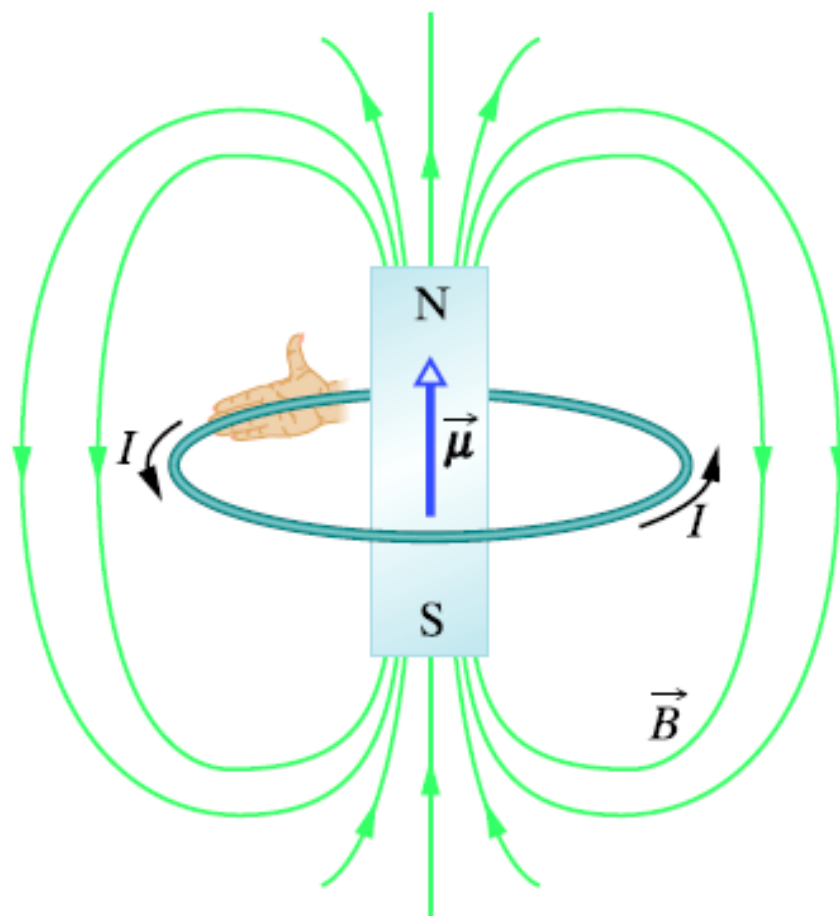


b)

Elektromagnes

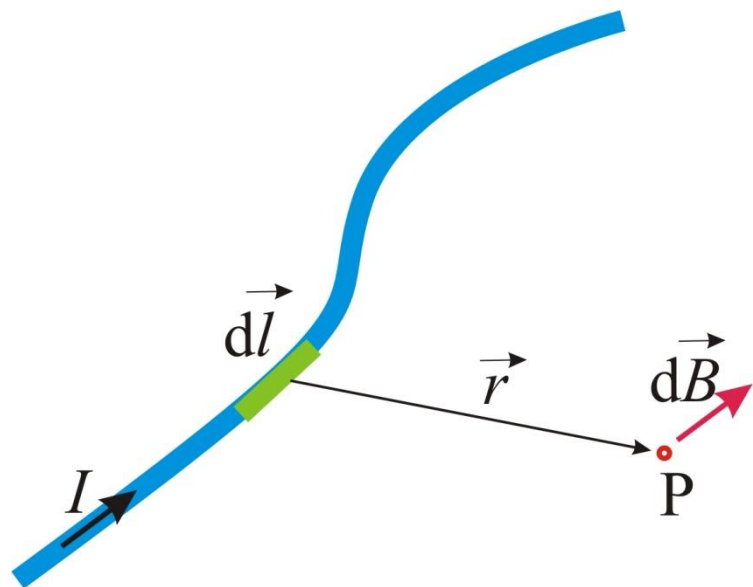


Magnes a elektromagnes



Prawo Biota-Savarta

Indukcja pola magnetycznego w odległości r od przewodnika z prądem o natężeniu I



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

$[T]$ – tesla

$$\mu = \mu_0 \mu_r$$

$$\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6} \quad [T \cdot m/A]$$

przenikalność magnetyczna próżni

μ_r - przenikalność magnetyczna względna ośrodka

*prawo Biota-Savarta
zapis skalarny*

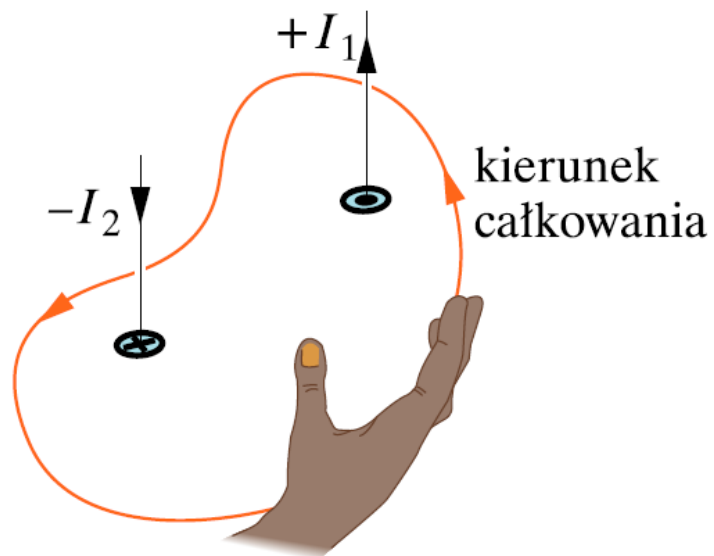
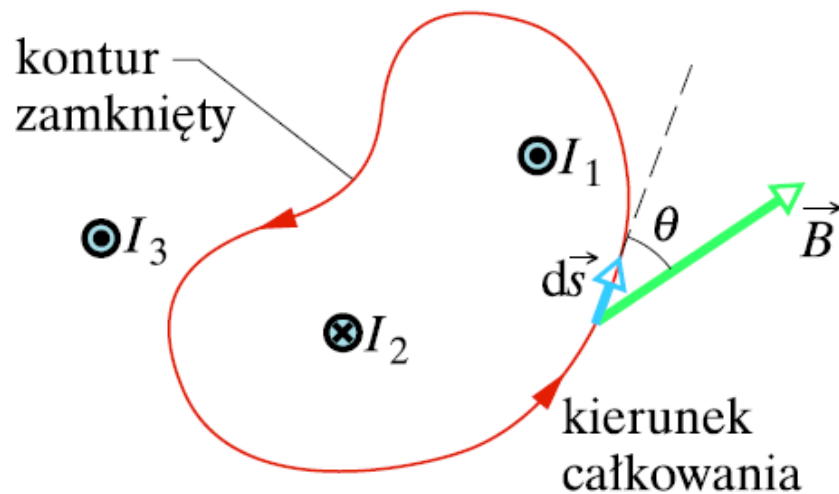
$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idl \sin \theta}{r^2}$$

Natężenie pola magnetycznego

*dla prostoliniowego długiego
przewodnika*

Prawo Ampère'a

Całka krzywoliniowa wektora indukcji magnetycznej, wytworzonego przez stały prąd elektryczny w przewodniku wzdłuż linii zamkniętej otaczającej prąd, jest równa sumie algebraicznej natężeń prądów przepływających przez dowolną powierzchnię objętą przez tę linię.

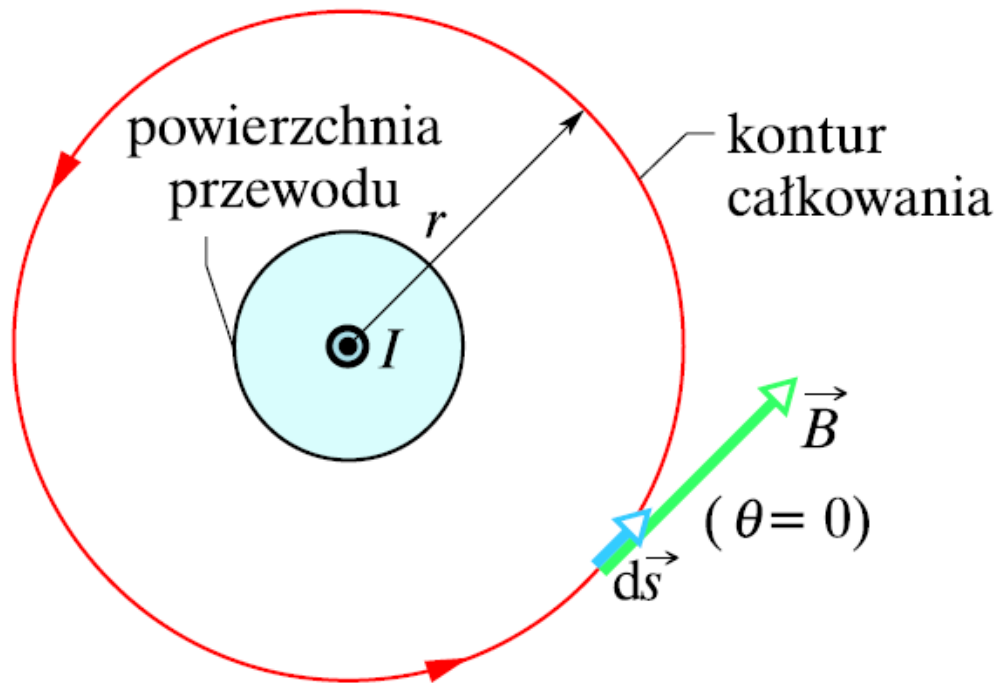


Dla podanych w przykładzie prądów

$$\oint B \cos \theta \, ds = \mu(I_1 - I_2)$$

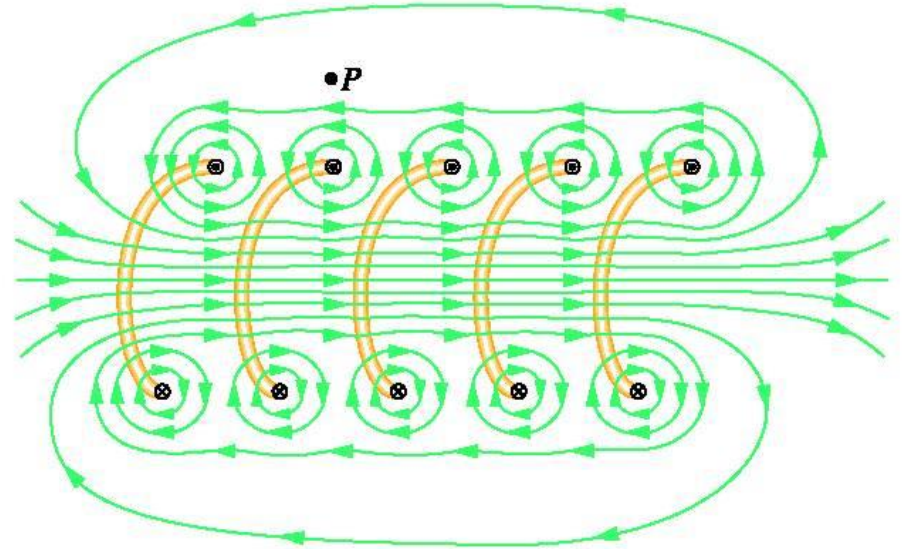
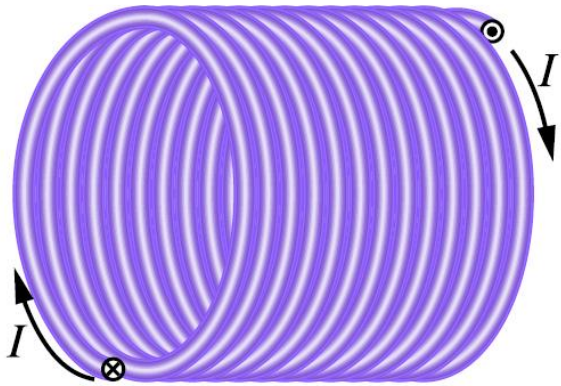
Indukcja magnetyczna pola, od prądu w długim prostoliniowym przewodzie
(z prawa *Ampère'a*)

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \oint B \cos \theta \, ds = B \oint ds = B(2\pi r)$$

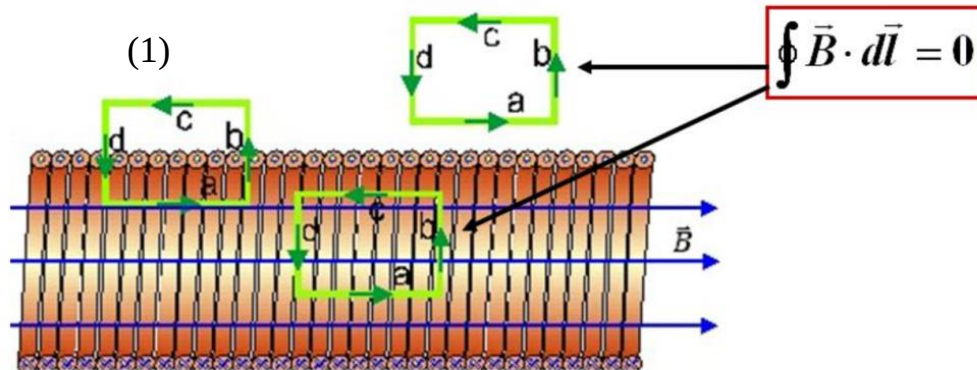


$$B = \frac{\mu I}{2\pi r}$$

Pole magnetyczne solenoidu



Pole magnetyczne solenoidu



Pole magnetyczne w całej przestrzeni wewnątrz solenoidu jest jednorodne, czyli takie samo co do wartości i kierunku.

Pole magnetyczne na zewnątrz solenoidu równe jest zero.

Do wyznaczenia wartości indukcji magnetycznej wewnątrz solenoidu weźmy kontur (1). Niezerowy wkład wnosi wyłącznie bok a .

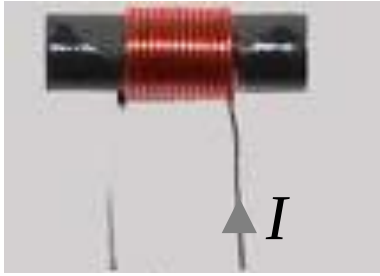
Na jednostkę długości solenoidu przypada n zwojów. Obliczanie B sprowadza się do całkowania wzdłuż tego tylko boku w rezultacie czego otrzymujemy wzór na **wartość wektora indukcji magnetycznej wewnątrz solenoidu**:

$$B = \mu n I$$

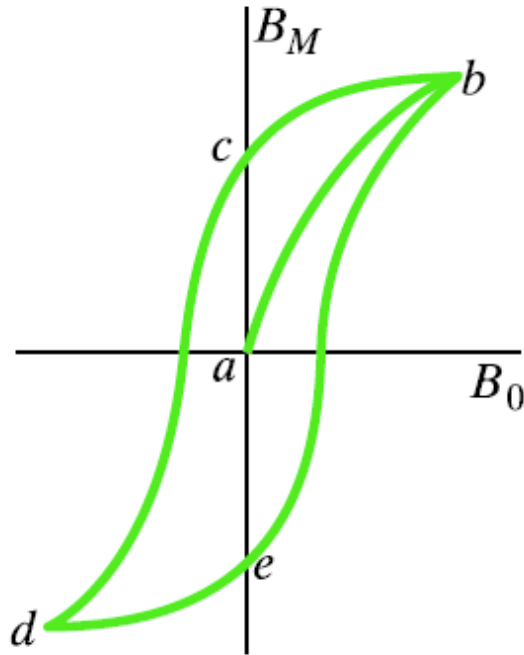
$$n = \frac{N}{l}$$

N – liczba zwojów na długość l

Rozważmy solenoid o nieskończonej długości. Z prawa Ampere'a obliczamy całkę z wektora wzdłuż zamkniętego konturu. Dla uproszczenia naszych rozważań nadamy konturowi postać prostokątnej ramki o bokach a i c . Całka ta liczona zarówno dla ramki znajdującej się całkowicie wewnątrz solenoidu jak i dla tej na zewnątrz równa jest zero, bowiem w obu przypadkach ramki nie obejmują przewodników z prądem. Wkład do całki od boków b i d jest we wszystkich przypadkach równy zero, bowiem wektor jest prostopadły do tych boków i iloczyn skalarny we wzorze równy jest zero. Wkłady od boków a i c kompensują się wewnątrz i na zewnątrz solenoidu co oznacza, że panuje tam jednorodne pola magnetyczne.



Histereza Magnetyczna



Krzywa magnesowania
(*ab*) dla próbki ferromagnetyka i związana z nią pętla histerezy (*bcdeb*)

a → *b* – zwiększamy prąd *I* w cewce

$$B_0 = \mu I N$$

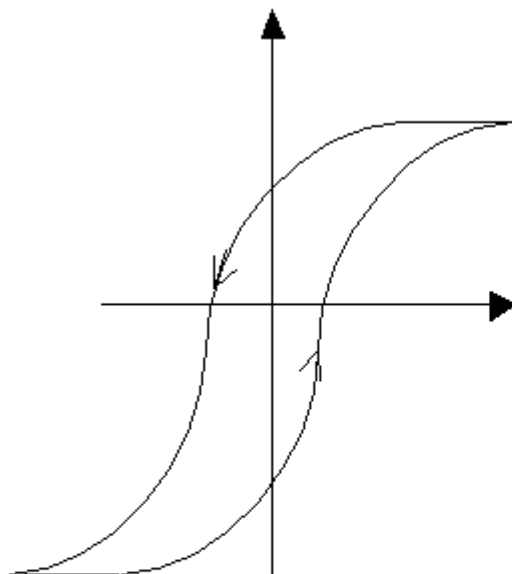
b → *c* – zmniejszamy prąd *I* w cewce do zera

c → *d* – zmieniamy kierunek prądu zwiększając jego wartość

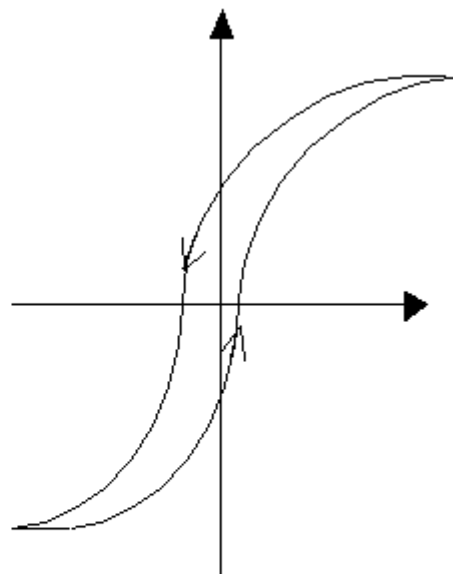
d → *e* – zmniejszamy prąd do zera

e → *b* – jeszcze raz zmieniamy kierunek prądu zwiększając jego wartość

Rdzeń został namagnesowany

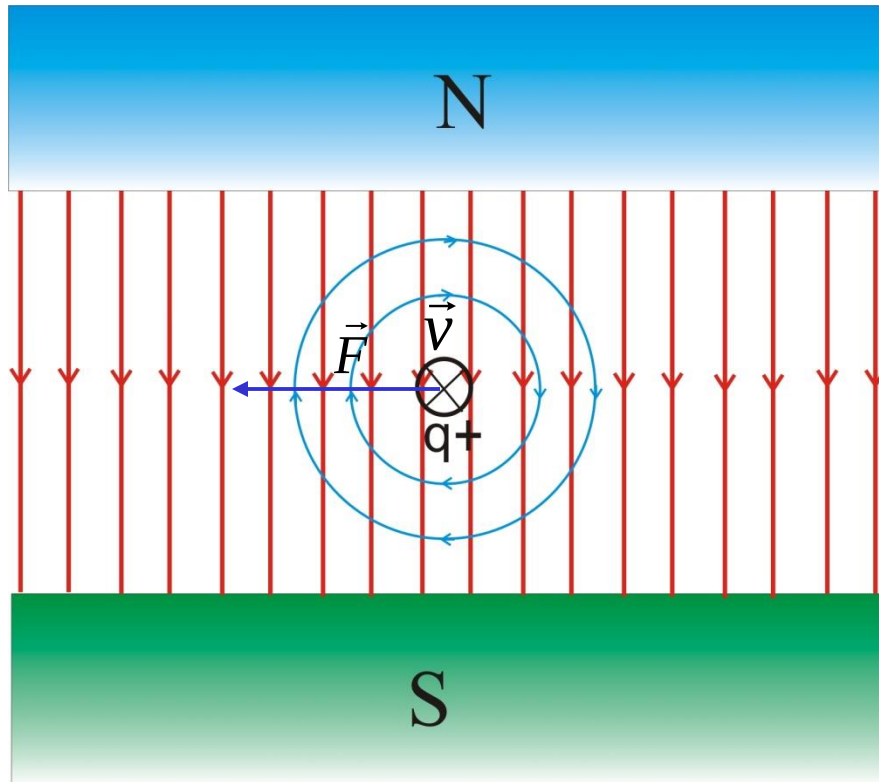


Rdzeń
magnetycznie
twardy



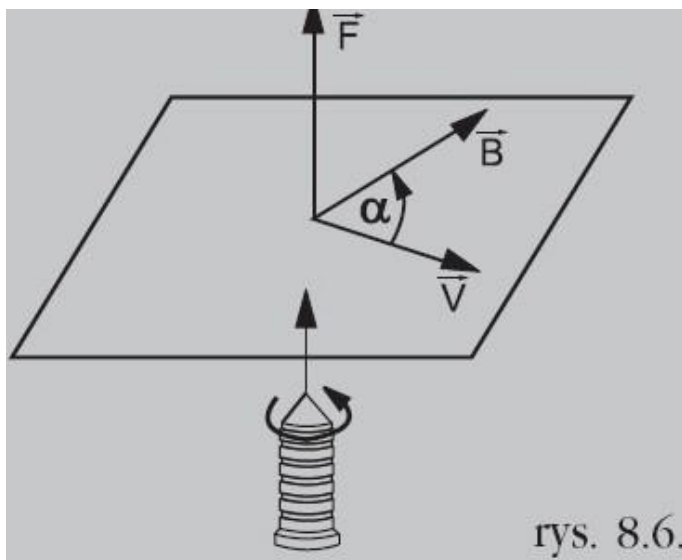
Rdzeń
magnetycznie
miękki

Ładunek w polu magnetycznym - Siła Lorentza



Pole magnetyczne wytwarzają ładunki elektryczne będące w ruchu

Na ładunki elektryczne będące w ruchu w polu magnetycznym działa siła

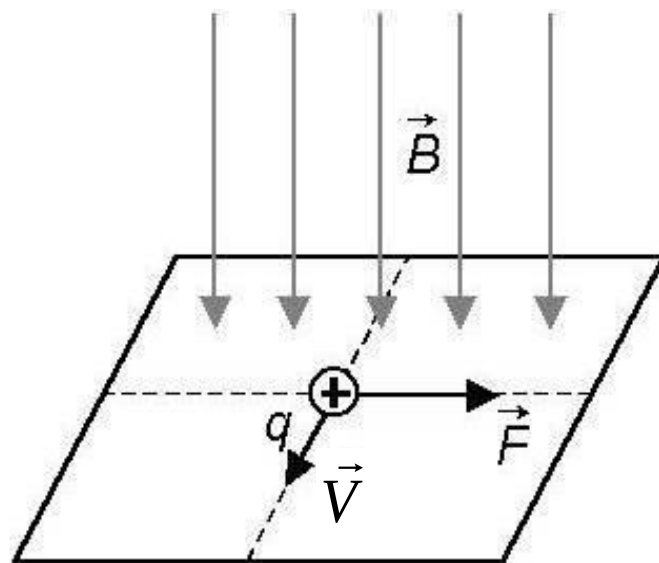


Siła Lorentza jest to siła, która działa na naładowaną cząstkę wpadającą z pewną prędkością do pola magnetycznego. Wielkość tej siły zależy od wartości indukcji magnetycznej pola magnetycznego B , ładunku elektrycznego cząstki q , i prędkości z jaką cząstka wpada do pola v , według wzoru:

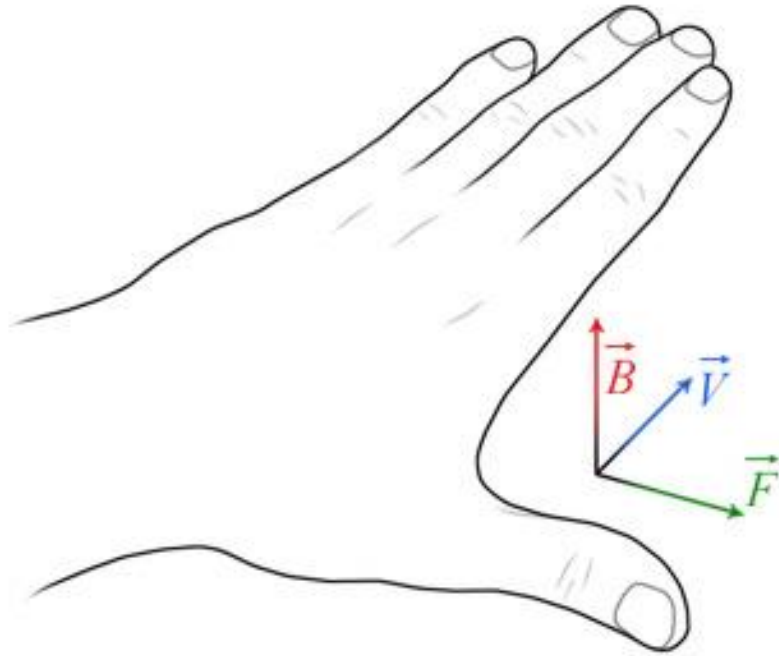
$$F = qvB \sin \alpha$$

Dla $\alpha = 90^\circ$

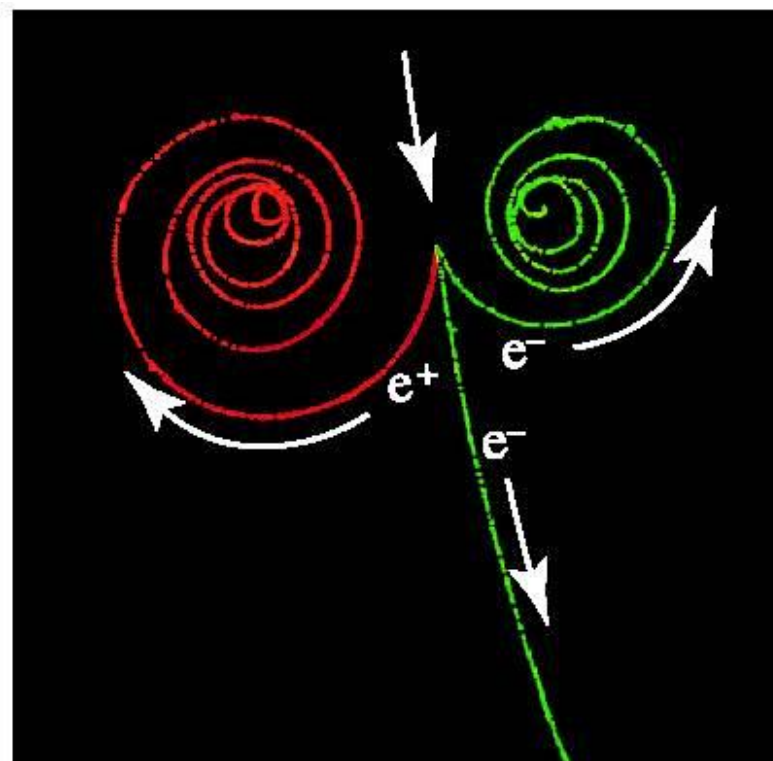
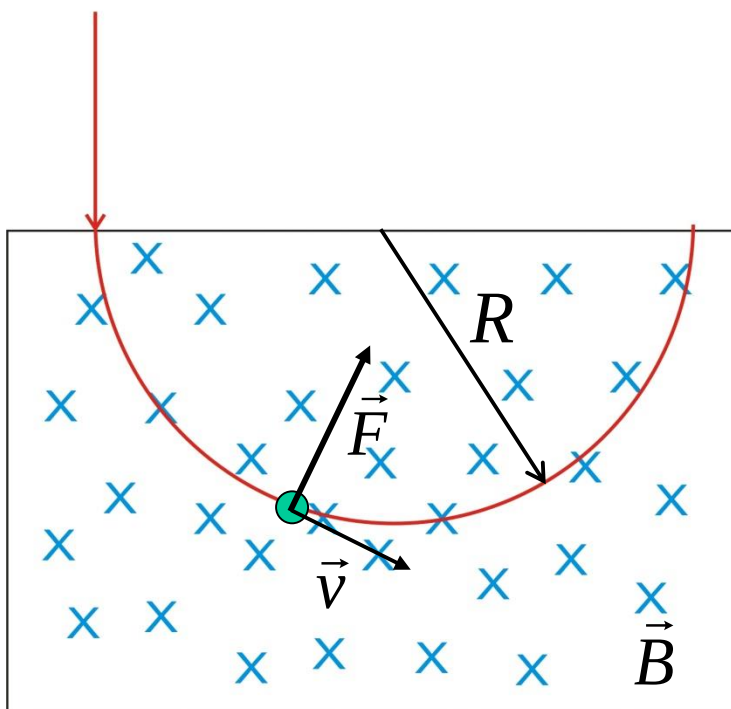
$$[T = \text{N s}/(\text{C m})]$$



Reguła lewej dłoni

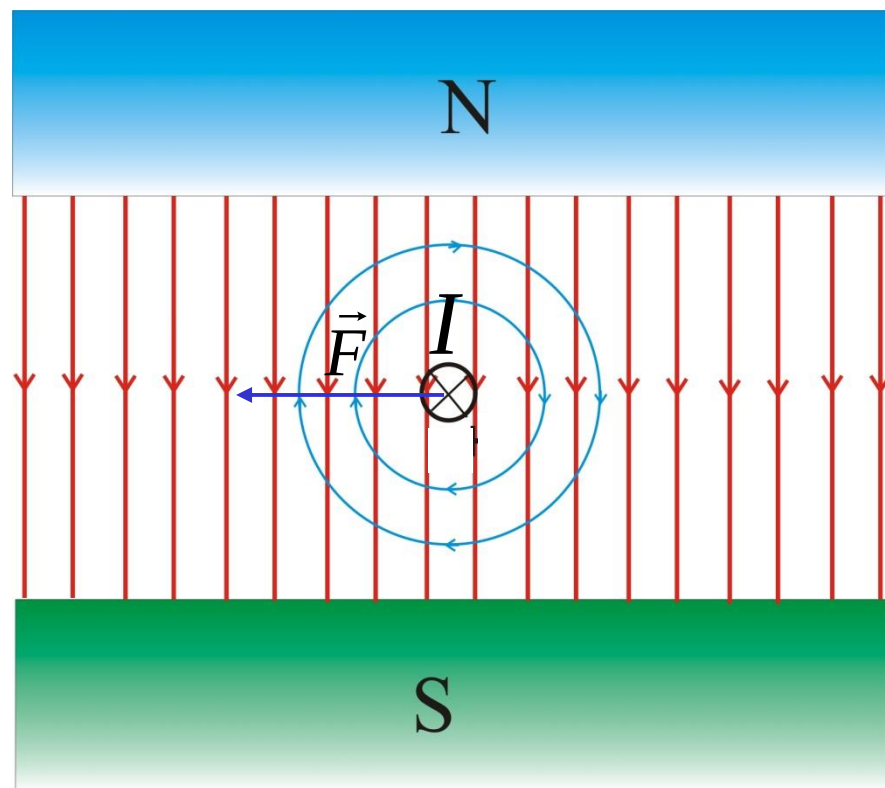
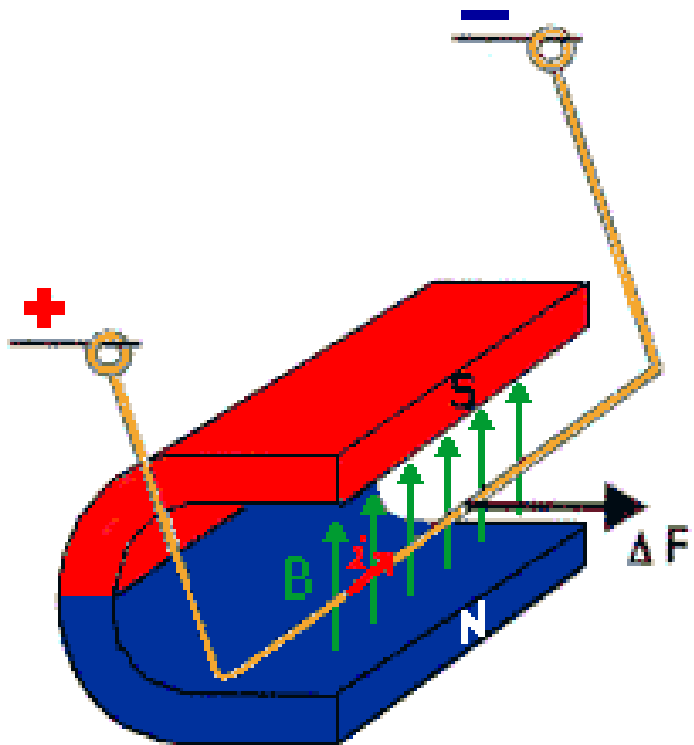


Jeżeli ustawiamy lewą dłoń tak, aby linie pola magnetycznego wchodziły w nią, a cztery wyciągnięte palce były skierowane zgodnie z kierunkiem ładunku dodatniego (prądu), wówczas odchylony o 90° kciuk wskazuje kierunek i zwrot siły magnetycznej.



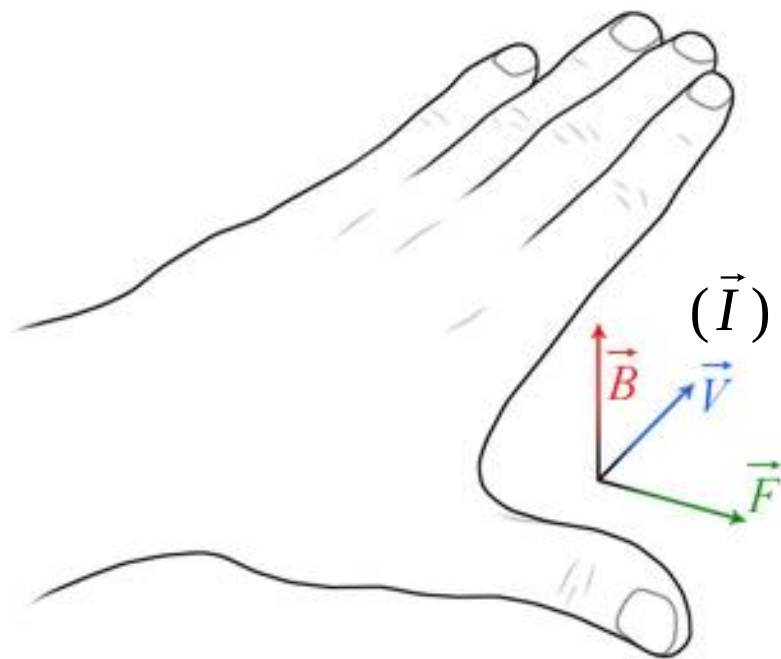
Ślady dwóch elektronów (e^-) i pozytonu (e^+) w komorze pęcherzykowej, umieszczonej w jednorodnym polu magnetycznym, które jest skierowane prostopadle przed płaszczyznę rysunku

Przewodnik z prądem w polu magnetycznym



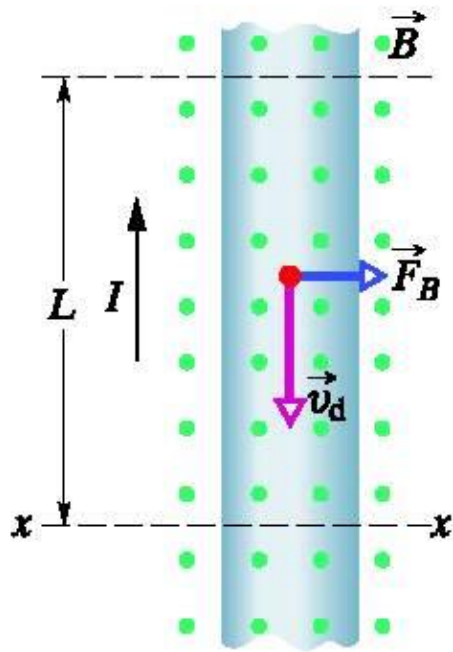
Na przewodnik z prądem działa siła elektrodynamiczna

Reguła lewej dłoni



Jeżeli ustawiamy lewą dłoń tak, aby linie pola magnetycznego wchodziły w nią, a cztery wyciągnięte palce były skierowane zgodnie z kierunkiem ładunku dodatniego (prądu), wówczas odchylony o 90° kciuk wskazuje kierunek i zwrot siły elektrodynamicznej

Przewodnik z prądem w polu magnetycznym



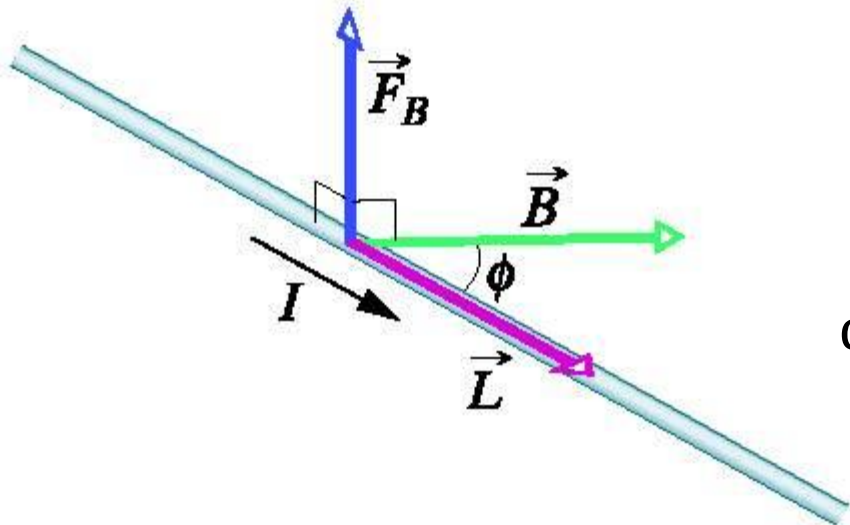
$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

Natężenie prądu $I = \frac{q}{t}$

$$v_d = \frac{L}{t}$$

$$q = It = I \frac{L}{v_d}$$

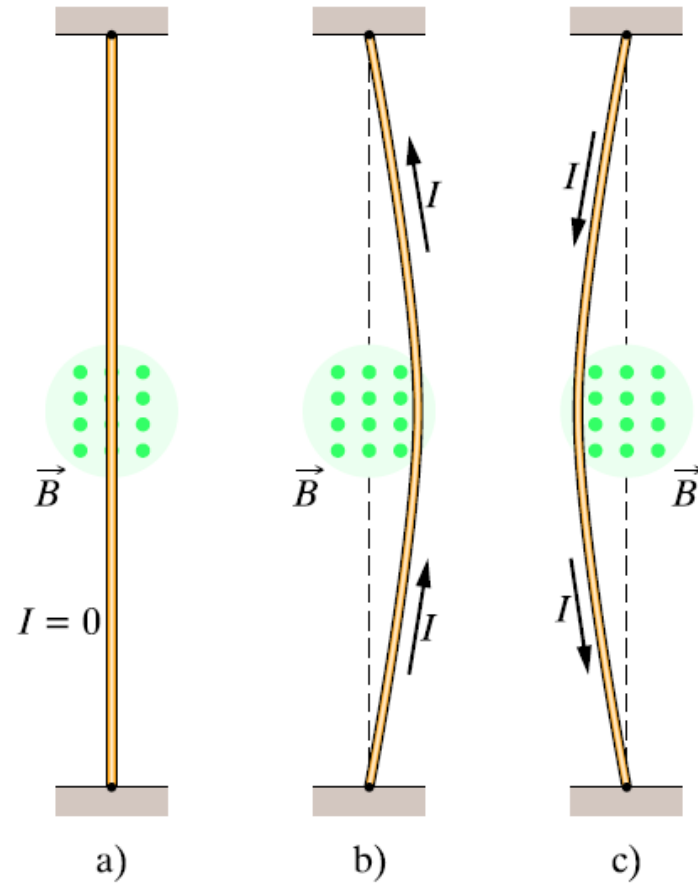
$$F_B = \frac{IL}{v_d} v_d B \sin \phi = ILB \sin \phi$$



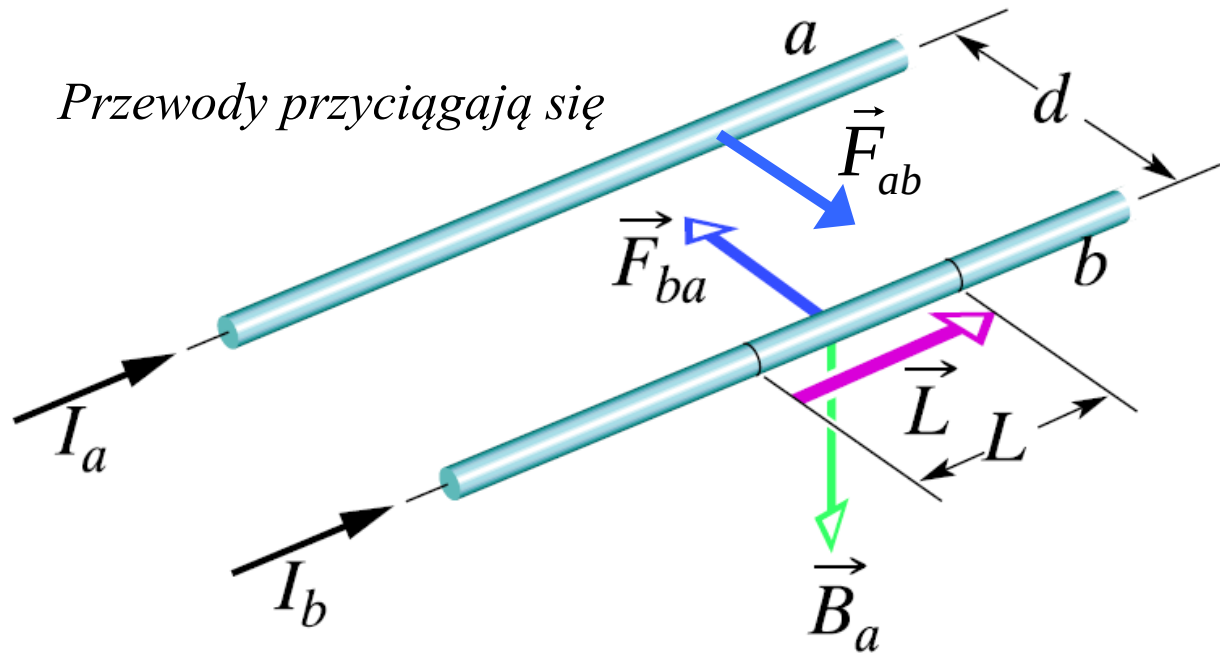
$$\vec{F}_B = I\vec{L} \times \vec{B}$$

dla $\phi = 90^\circ$

Wzajemne oddziaływanie przewodników z prądem



Siły działające między dwoma równoległymi przewodami z prądem



$$B_a = \frac{\mu_0 I_a}{2\pi d}$$

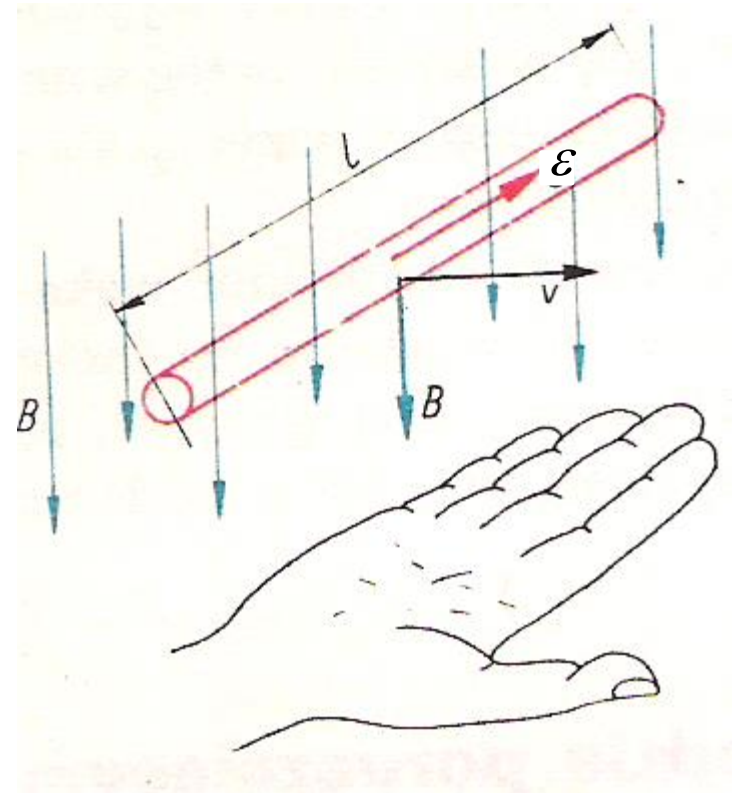
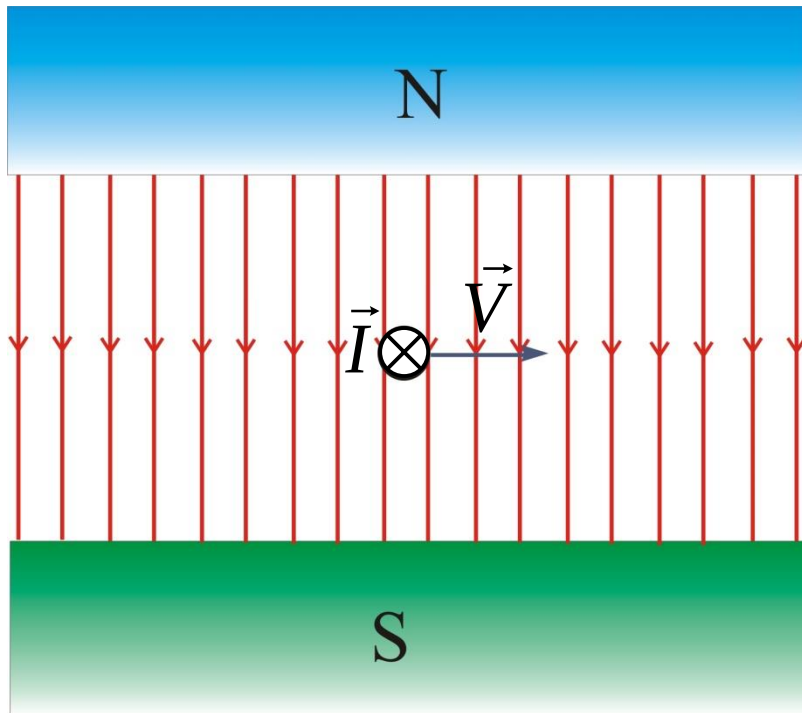
$$F_{ba} = I_b L B_a \sin 90^\circ = \frac{\mu_0 L I_a I_b}{2\pi d}$$

Zdefiniowanie 1 ampera gdy $I_a = I_b = I$ to $F = \frac{\mu_0 L I^2}{2\pi d}$

gdy: $d = 1\text{m}$, $L = 1\text{m}$, $F = 2 \cdot 10^{-7} \text{ N}$

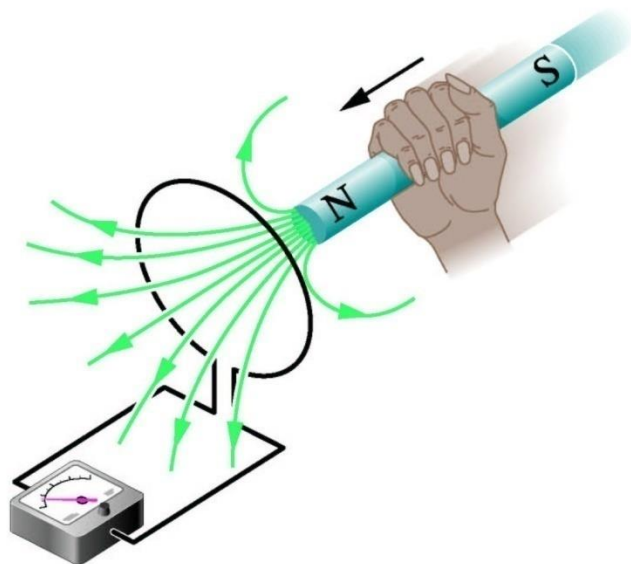
ZJAWISKO INDUKCJI ELEKTROMAGNETYCZNEJ

Przewodnik ruchomy w polu magnetycznym

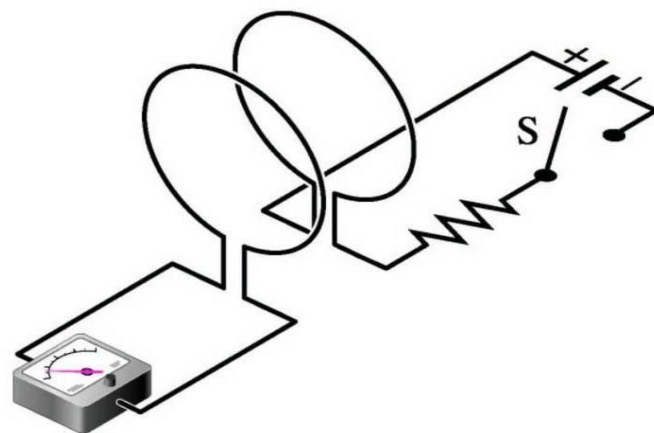


W ruchomym przewodniku przecinającym linie pola magnetycznego indukuje się SEM $\mathcal{E}$ powodująca przepływ prądu I

Prawo indukcji faradaya



Miernik wskazuje przepływ prądu w pętli z drutu, gdy magnes porusza się względem tej pętli



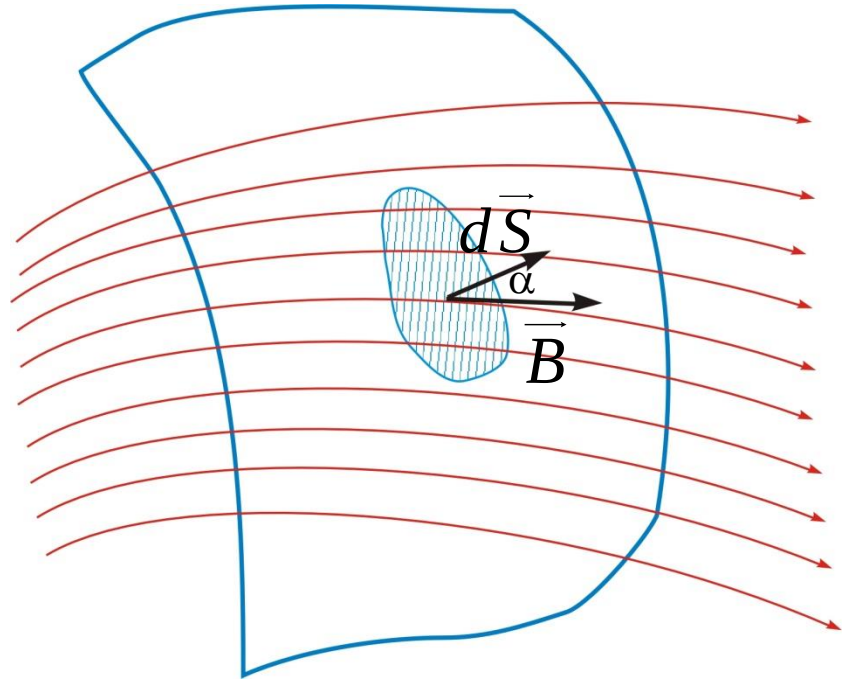
Miernik wskazuje przepływ prądu w pętli po lewej stronie w momencie, gdy klucz S jest zamykany (aby włączyć prąd w pętli po prawej stronie) lub otwierany (aby wyłączyć prąd w pętli po prawej stronie). Obie cewki są nieruchome

SEM w obwodzie jest indukowana, wtedy gdy zmienia się liczba linii pola magnetycznego przechodzących przez obwód.

Strumień magnetyczny

$$d\Phi = \vec{B} \cdot d\vec{S} = BScos\alpha$$

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

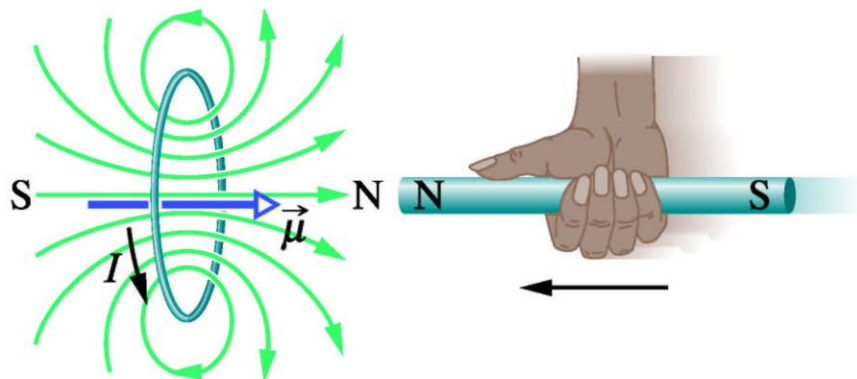


$$\varepsilon = - \frac{d\Phi}{dt}$$

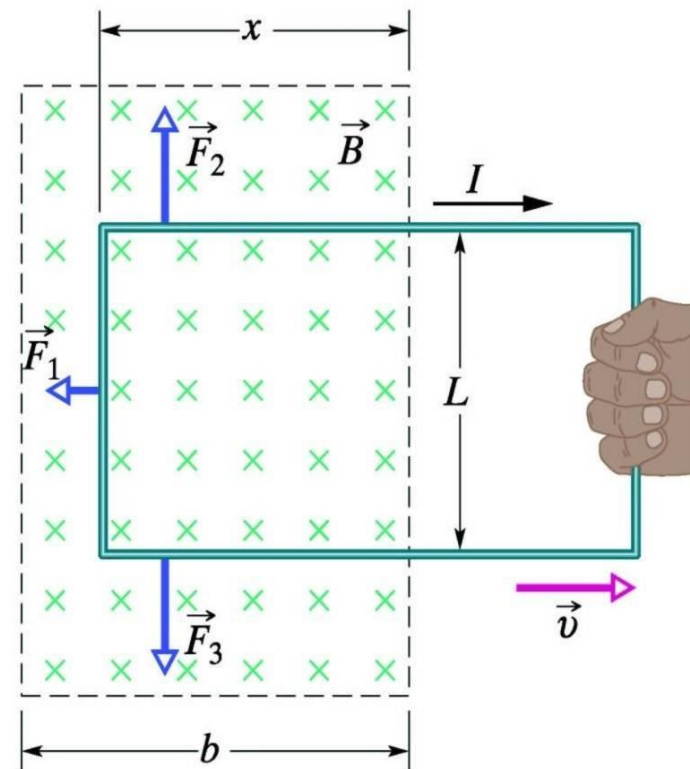
Prawo indukcji Faradaya

Wartość SEM w obwodzie jest równa szybkości zmian w czasie strumienia magnetycznego przechodzącego przez ten obwód.

Reguła Lenza



Reguła Lenza. Magnes przesuwany w kierunku pętli indukuje w niej prąd. Prąd ten wytwarza swoje własne pole magnetyczne, a dipolowy moment magnetyczny $\vec{\mu}$ jest zorientowany tak, aby przeciwdziałać ruchowi magnesu. Tak więc prąd indukowany musi płynąć w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara, jak pokazano na rysunku



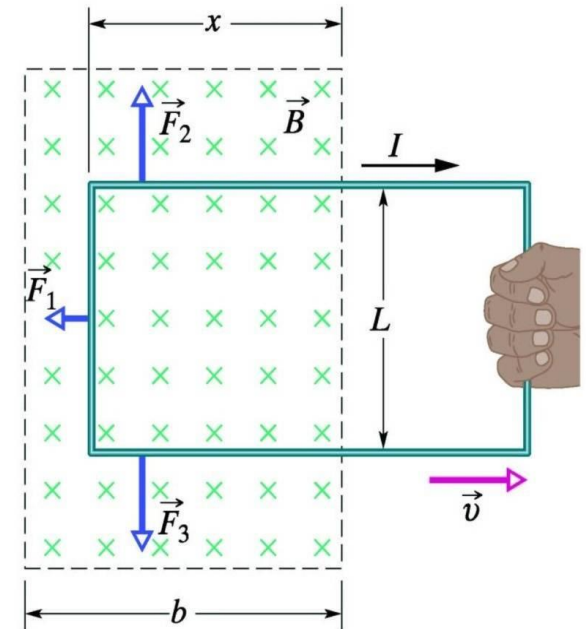
Zamknięta przewodząca ramka jest wyciągana ze stałą prędkością $\vec{v}$ z obszaru, w którym istnieje pole magnetyczne. Podczas ruchu ramki indukuje się w niej prąd o natężeniu I , płynący w kierunku zgodnym z ruchem wskazówek zegara. Na odcinki ramki znajdujące się nadal w polu magnetycznym działają siły $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ i $\vec{F}_3$

SEM indukowana jest w taki sposób, że wywołany przez nią prąd przeciwdziała przyczynie która ją wzbudziła.

Wyznaczanie SEM dla ramki

$$\Phi = BS = BLx$$

$$\frac{d\Phi}{dt} = \frac{d(BLx)}{dt} = BL \frac{dx}{dt}$$

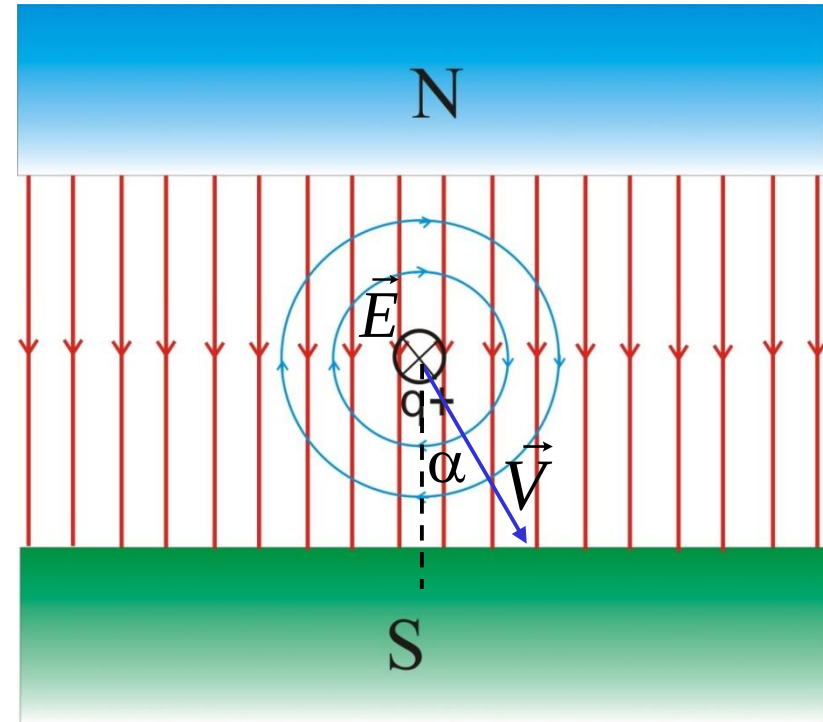


Zamknięta przewodząca ramka jest wyciągana ze stałą prędkością $\vec{v}$ z obszaru, w którym istnieje pole magnetyczne. Podczas ruchu ramki indukuje się w niej prąd o natężeniu I , płynący w kierunku zgodnym z ruchem wskazówek zegara. Na odcinki ramki znajdujące się nadal w polu magnetycznym działają siły $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ i $\vec{F}_3$

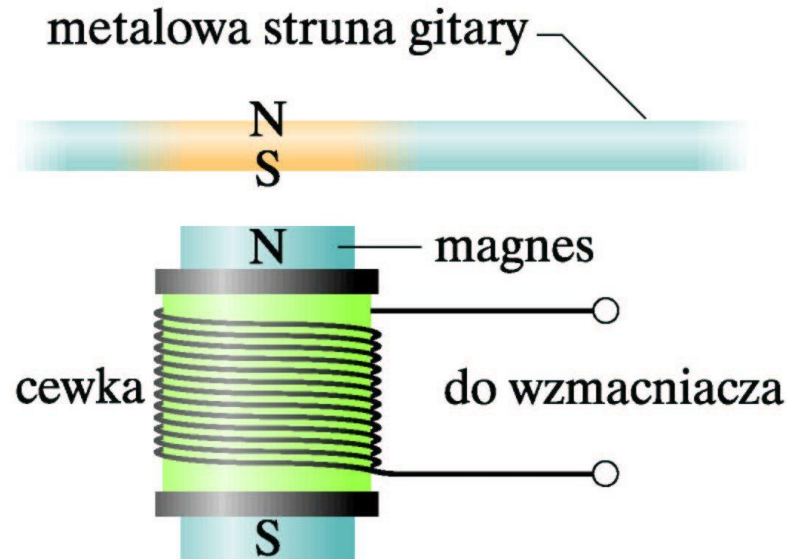
SEM indukowana w przewodniku poruszającym się w polu magnetycznym

Indukowana siła elektromotoryczna

$$\vec{E} = l(\vec{v} \times \vec{B})$$



gdy $\vec{v} \perp \vec{B}$ to $E = lvB$



Widok z boku przetwor-
nika gitary elektrycznej. Pobudzenie do
drgań metalowej struny (która zacho-
wuje się jak magnes), powoduje zmianę
strumienia magnetycznego, która indu-
kuje prąd w cewce

Indukcja własna i wzajemna

Indukcja własna (samoindukcja)

Dla cewki (solenoidu) o ilości zwojów N , przez którą płynie prąd I wytwarzający strumień magnetyczny Φ w środkowej części solenoidu możemy napisać:

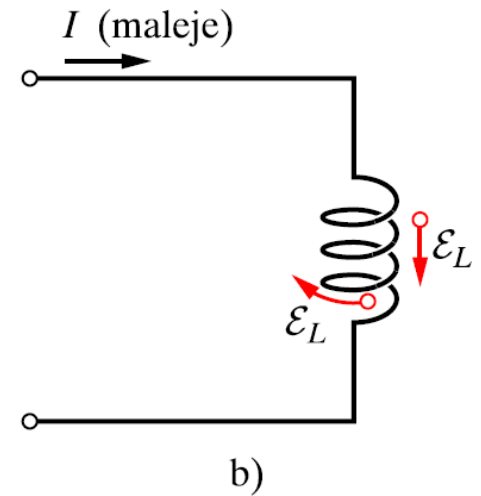
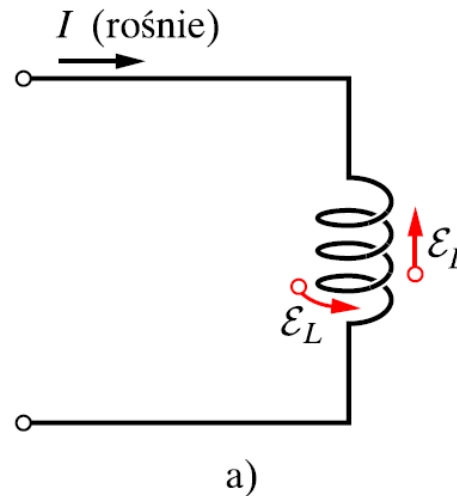
pr. Faradaya $\varepsilon_L = -\frac{d(N\Phi)}{dt}$

$$N\Phi \sim I \quad N\Phi = LI$$

$$\varepsilon_L = -L \frac{dI}{dt}$$

definicja
indukcyjności

$$[H = T \cdot m^2/A]$$



Z prawa Ampere'a
Wewnątrz solenoidu

$$B = \mu n I \quad n = \frac{N}{l} \quad \Phi = BS$$

$$L = \mu \frac{N^2 S}{l}$$

Indukcja wzajemna

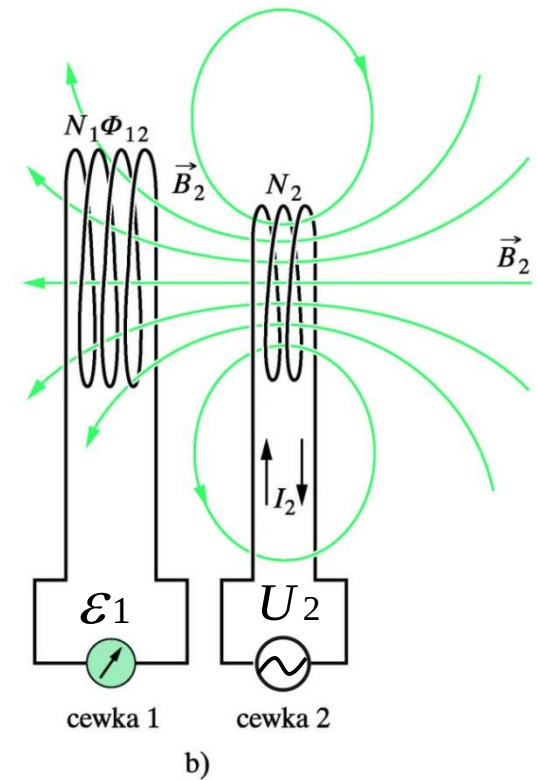
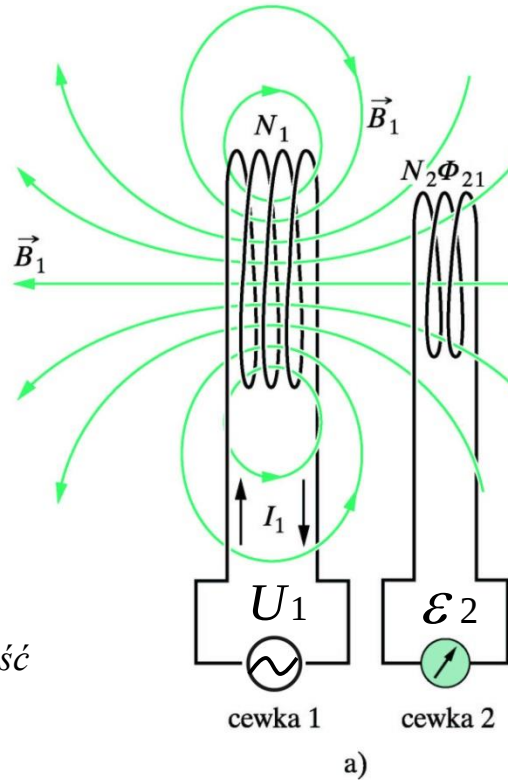
$$M_{21} = \frac{N_2 \Phi_{21}}{I_1}$$

$$M_{21} I_1 = N_2 \Phi_{21}$$

dla prądu zmiennego:

$$M_{21} \frac{dI_1}{dt} = N_2 \frac{d\Phi_{21}}{dt} = \mathcal{E}_2$$

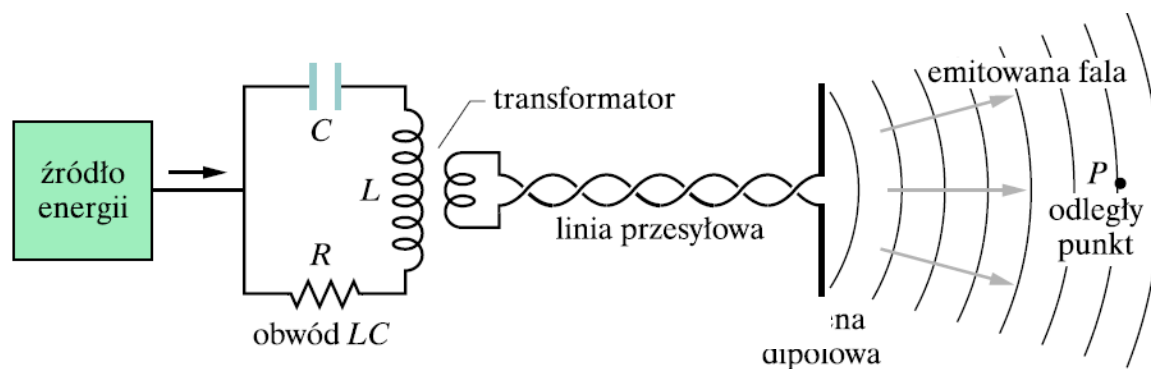
$$M_{21} = M_{12} = M \quad \text{Indukcyjność wzajemna}$$



Indukcja wzajemna. a) Jeżeli natężenie prądu w cewce 1 będzie się zmieniać, to w cewce 2 powstanie indukowana SEM. b) Jeżeli natężenie prądu w cewce 2 będzie się zmieniać, to w cewce 1 powstanie indukowana SEM

Φ_{21} — wytworzony przez cewkę 1, a przenika cewkę 2

FALE ELEKTROMAGNETYCZNE



Rys. 34.3. Układ do wytwarzania fali elektromagnetycznej z zakresu krótkich fal radiowych: obwód LC wytwarza sinusoidalnie zmienny prąd w antenie, która wysyła falę. P jest odległym punktem, w którym detektor rejestruje falę

