

Magnetyzm cz.I

Oddziaływanie magnetyczne

Siła Lorentza

Prawo Biote'a Savart'a

Prawo Ampera

Magnesy

Zjawiska magnetyczne (naturalne magnesy) były obserwowane i badane już w starożytnej Grecji 2500 lat temu.

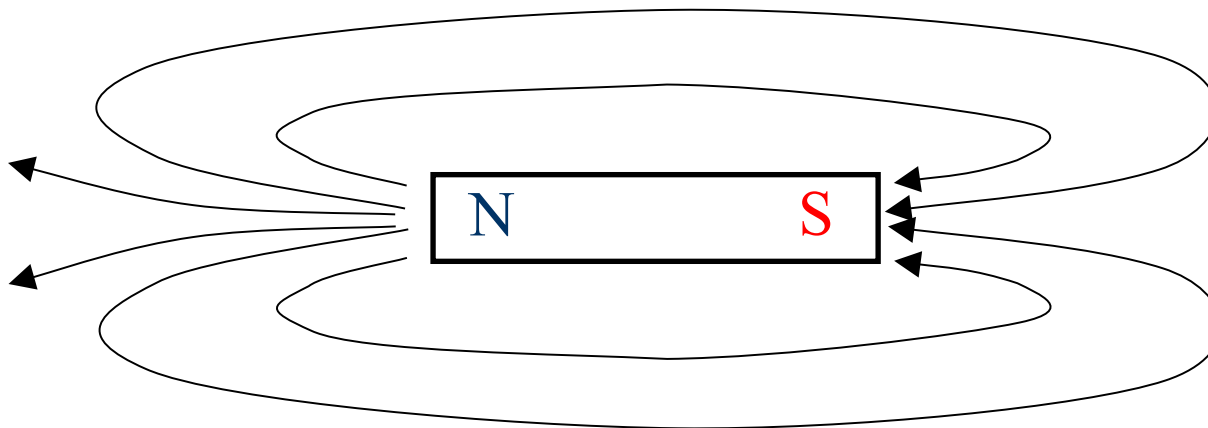
Własności „magnesów”:

mogą wywierać siłę na inne magnesy,

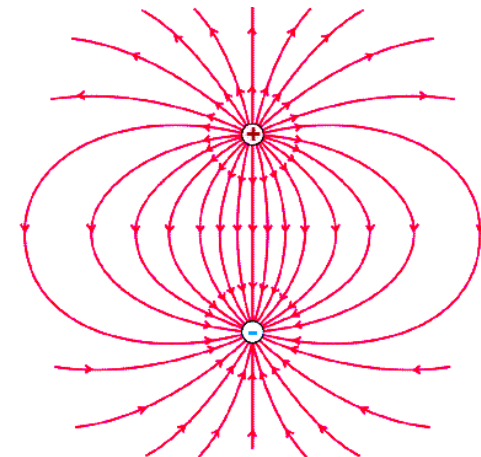
mogą „magnetyzować” przez dotyk kawałki żelaza

Magnes trwały ... dwa bieguny : N i S

Pole magnetyczne, linie pola magnetycznego są zamknięte.



Analogia do pola elektrycznego dipoli



Magnesy

Zjawiska magnetyczne (naturalne magnesy) były obserwowane i badane już w starożytnej Grecji 2500 lat temu.

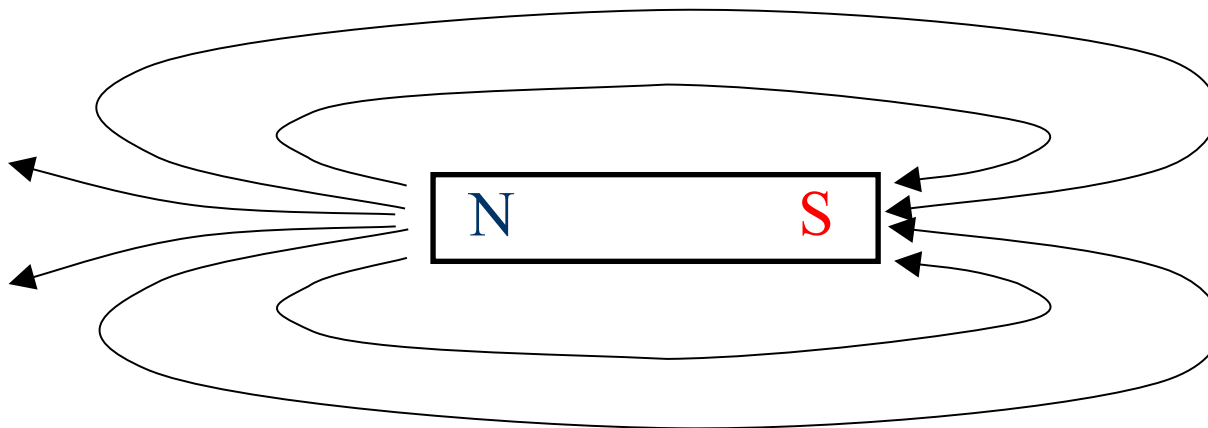
Własności „magnesów”:

mogą wywierać siłę na inne magnesy,

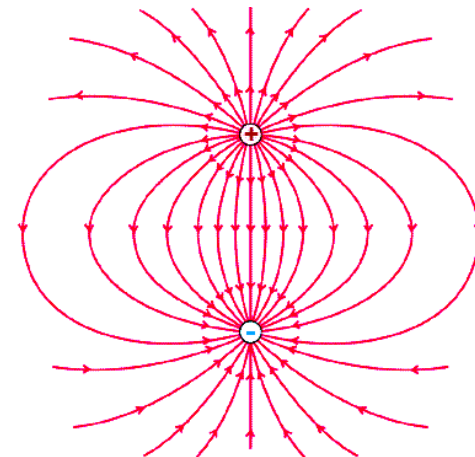
mogą „magnetyzować” przez dotyk kawałki żelaza

Magnes trwały ... dwa bieguny : N i S

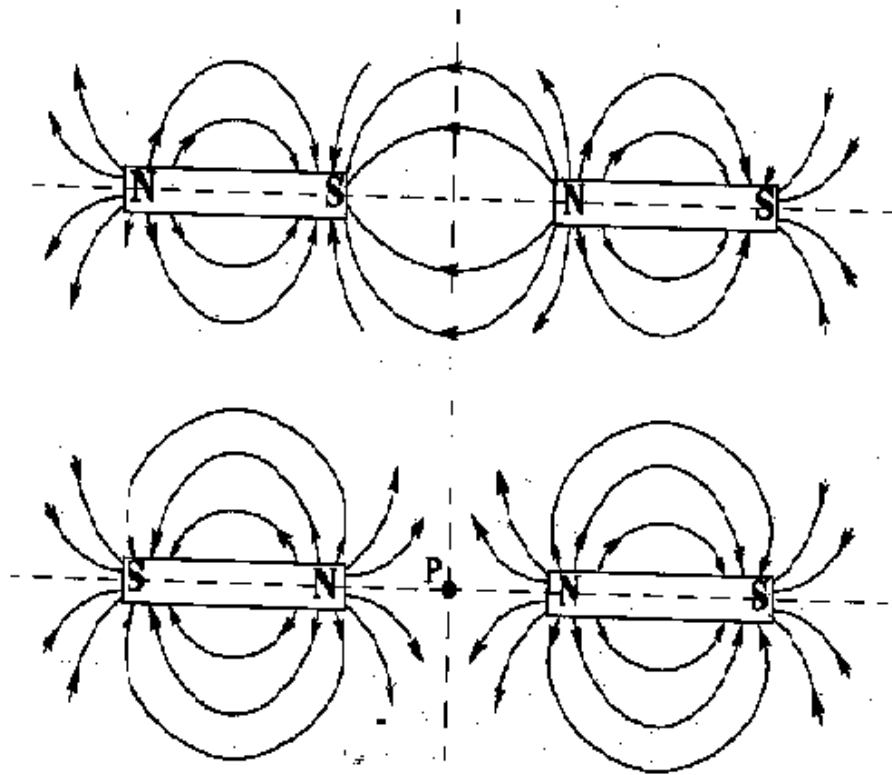
Pole magnetyczne, linie pola magnetycznego są zamknięte.



Analogia do pola elektrycznego dipoli

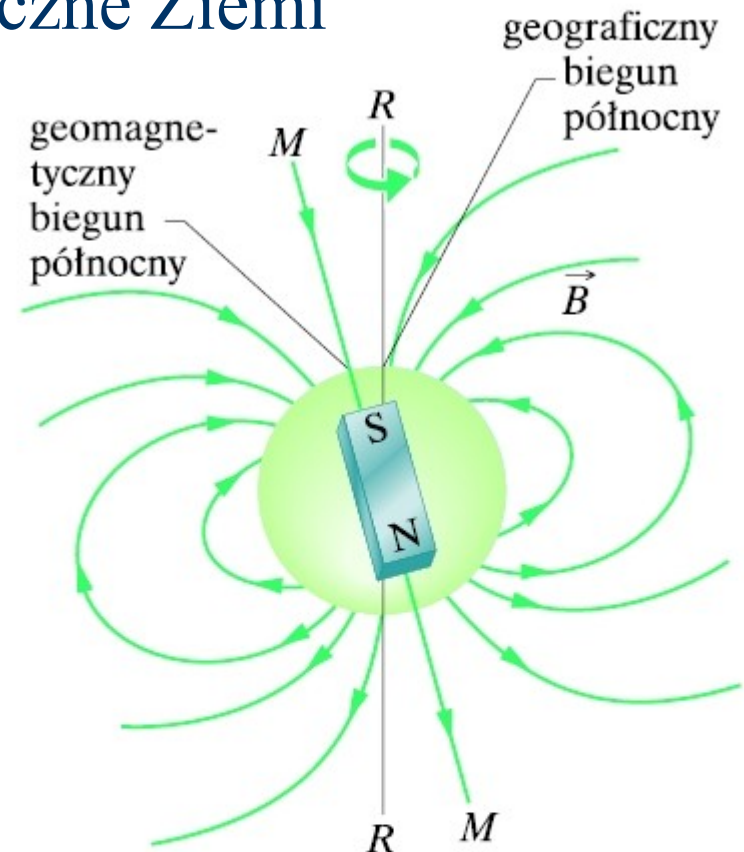


Oddziaływanie magnesów, pole magnetyczne Ziemi



Bieguny jednoimienne
odpychają się

Bieguny różnoimienne
przyciągają się

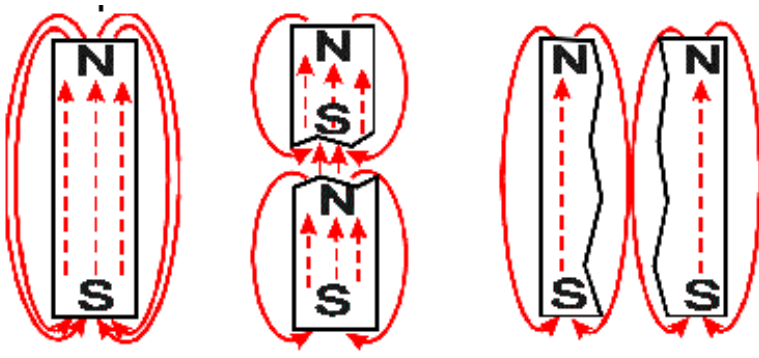


Rys. 32.4. Pole magnetyczne Ziemi przedstawione jako pole dipola. Oś dipola MM tworzy kąt $11,5^\circ$ z osią obrotu Ziemi RR . Południowy biegun dipola znajduje się na półkuli północnej

Dipole magnetyczne, źródło pola magnetycznego

magnesy trwałe mają zawsze dwa bieguny – są „dipolami magnetycznymi”

nie znaleziono dotychczas magnetycznego „mono-pola” czyli pojedynczego „ładunku magnetycznego”

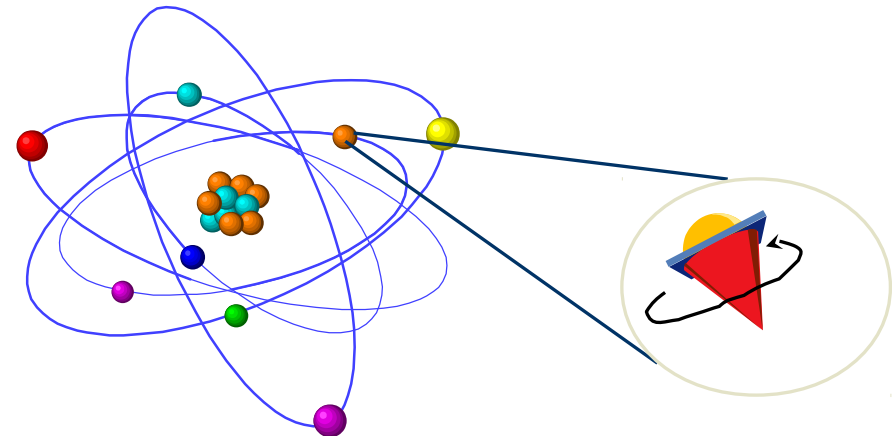


co jest zatem źródłem pola magnetycznego jeśli nie znamy „ładunku magnetycznego”?

ładunek elektryczny w ruchu!

***pole magnetyczne wytwarzane
jest przez wszelkiego rodzaju
prądy elektryczne!***

źródłem pola magnetycznego w magnesach trwałych jest też ruch ładunków elektrycznych w atomach



elektrony krążą po orbitach wokół jądra
nawet sam elektron ma własny „dipol
magnetyczny” związany z jego spinem
wektorowa suma tych „dipoli” stanowi o
całkowitym momencie magnetycznym atomu

Porównanie: pole elektryczne i magnetyczne

Pole elektryczne

rozkład ładunków wytwarza pole elektryczne $E(\mathbf{r})$ wokół otaczającej przestrzeni

pole elektryczne oddziałuje siłą $\mathbf{F} = q \mathbf{E}(\mathbf{r})$ na ładunek q w punkcie $\mathbf{r}$

wektor natężenia pola

Pole magnetyczne

poruszający się ładunek wytwarza pole magnetyczne $\mathbf{B}(\mathbf{r})$ wokół otaczającej przestrzeni

pole magnetyczne oddziałuje siłą $\mathbf{F}$ na poruszający się ładunek q w punkcie $\mathbf{r}$

jaka to siła $\mathbf{F}$?

co to jest $\mathbf{B}(\mathbf{r})$?

wektor indukcji pola
magnetycznego

Siła Lorentz'a

Fakty doświadczalne dotyczące oddziaływania pola indukcji magnetycznej na poruszające się elektrony:

poruszające się elektrony są odchylane ,

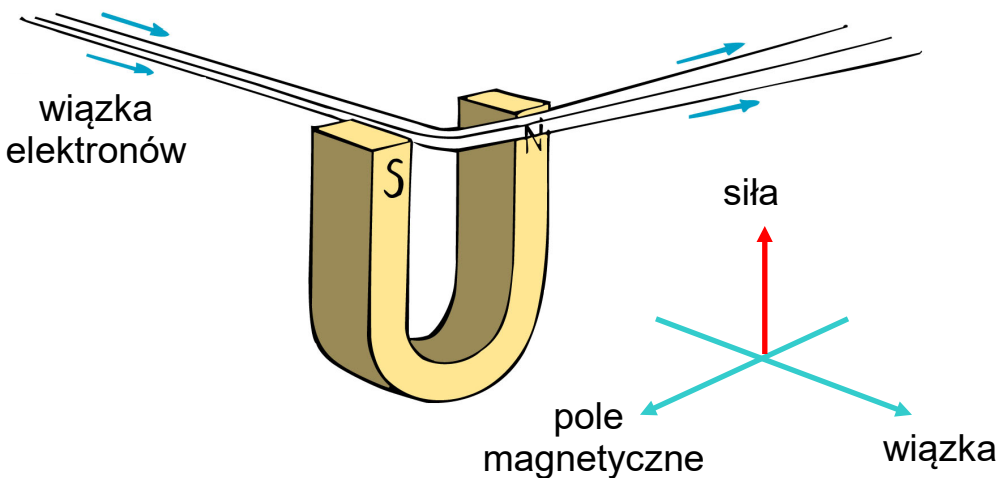
działająca na ładunki siła F jest $\perp$ do kierunku wskazywanego przez igłę magnetyczną, czyli do kierunku wektora B ,

siła $F \perp$ do prędkości ładunku v ,

siła $F \propto |v|$,

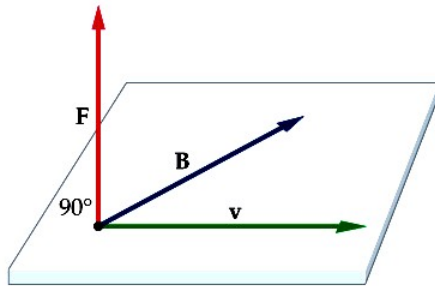
wartość siły $F \propto q$.

Wszystkie te wyniki doświadczalne zebrał Hendrik Lorentz(1853-1928) definiując siłę nazwaną obecnie **siłą Lorentza**

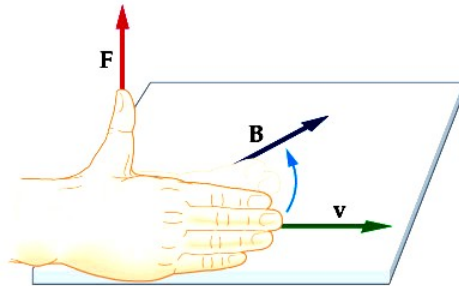


$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

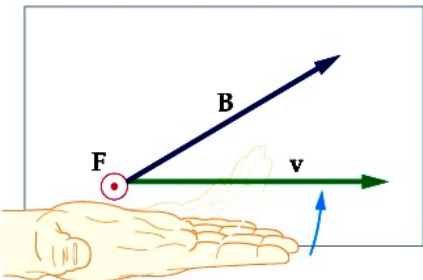
Kierunek siły Lorentza



(a)



(b)



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

Jednostki:

$$[F] = \text{N}$$

$$[v] = \text{m/s}$$

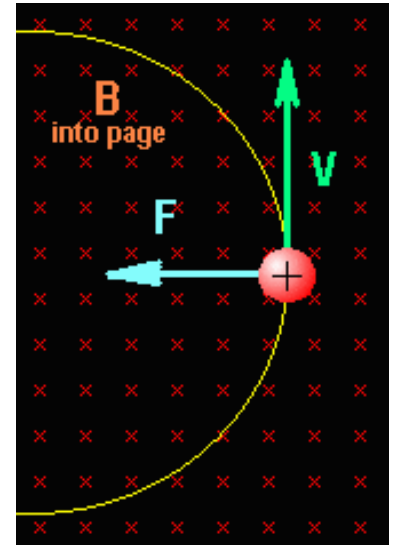
$$[q] = \text{C}$$

$$[B] = \text{T (tesla)}..$$

$$1 \text{ T} = 1 \text{ Wb/m}^2.$$

$$1 \text{ T} = 1 \text{ N s m}^{-1} \text{ C}^{-1}.$$

$$1 \text{ T} = 1 \text{ N A}^{-1} \text{ m}^{-1}.$$



Ruch ładunku w polu magnetycznym

Jeśli ładunek q porusza się w kierunku prostopadłym do pola magnetycznego wówczas jego trajektoria będzie okręgiem ponieważ siła $\mathbf{F} = q \mathbf{v} \mathbf{B}$ jest zawsze prostopadła do ruchu ładunku (dośrodkowa)

$$F = ma = \frac{mv^2}{r}$$

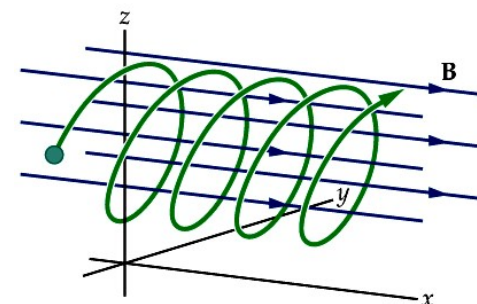
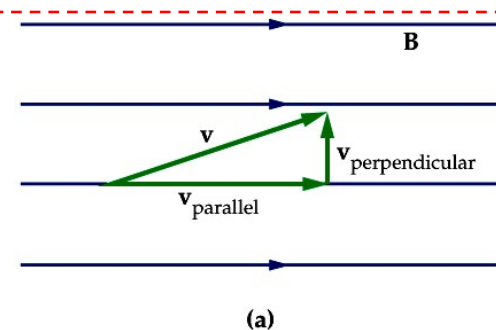
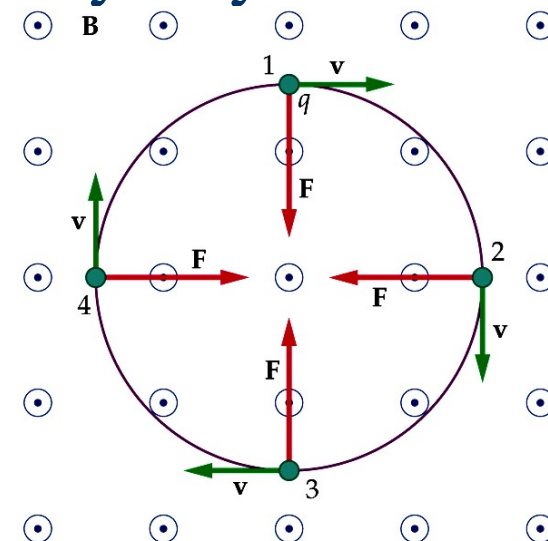
$$F = qvB = \frac{mv^2}{r}$$

Promień okręgu po którym porusza się ładunek q

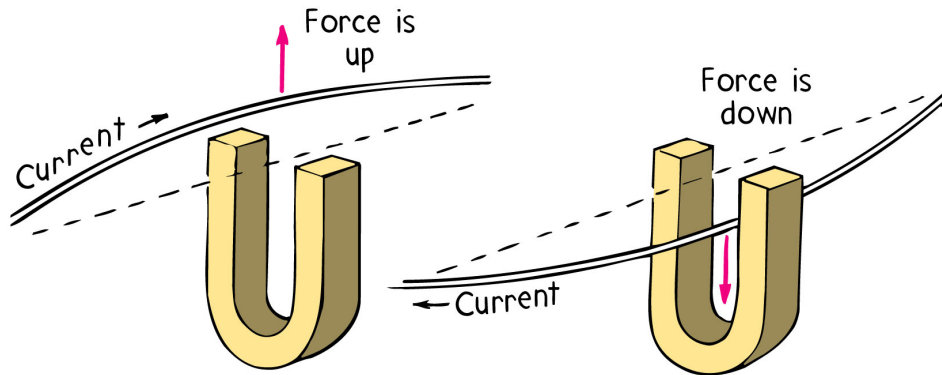
$$r = \frac{mv}{qB}$$

Częstość obrotów

$$\omega = 2\pi f = \frac{qB}{m}$$



Oddziaływanie pola magnetycznego na przewodnik z prądem



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

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

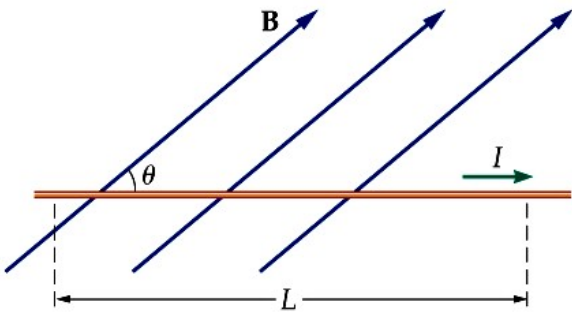
prąd jako ładunek, który przepłynął w czasie

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

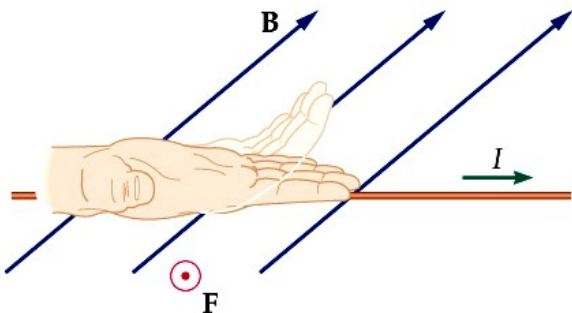
czas w jakim ład. q przebył drogę L

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

prędkość ład. q



(a)



zatem

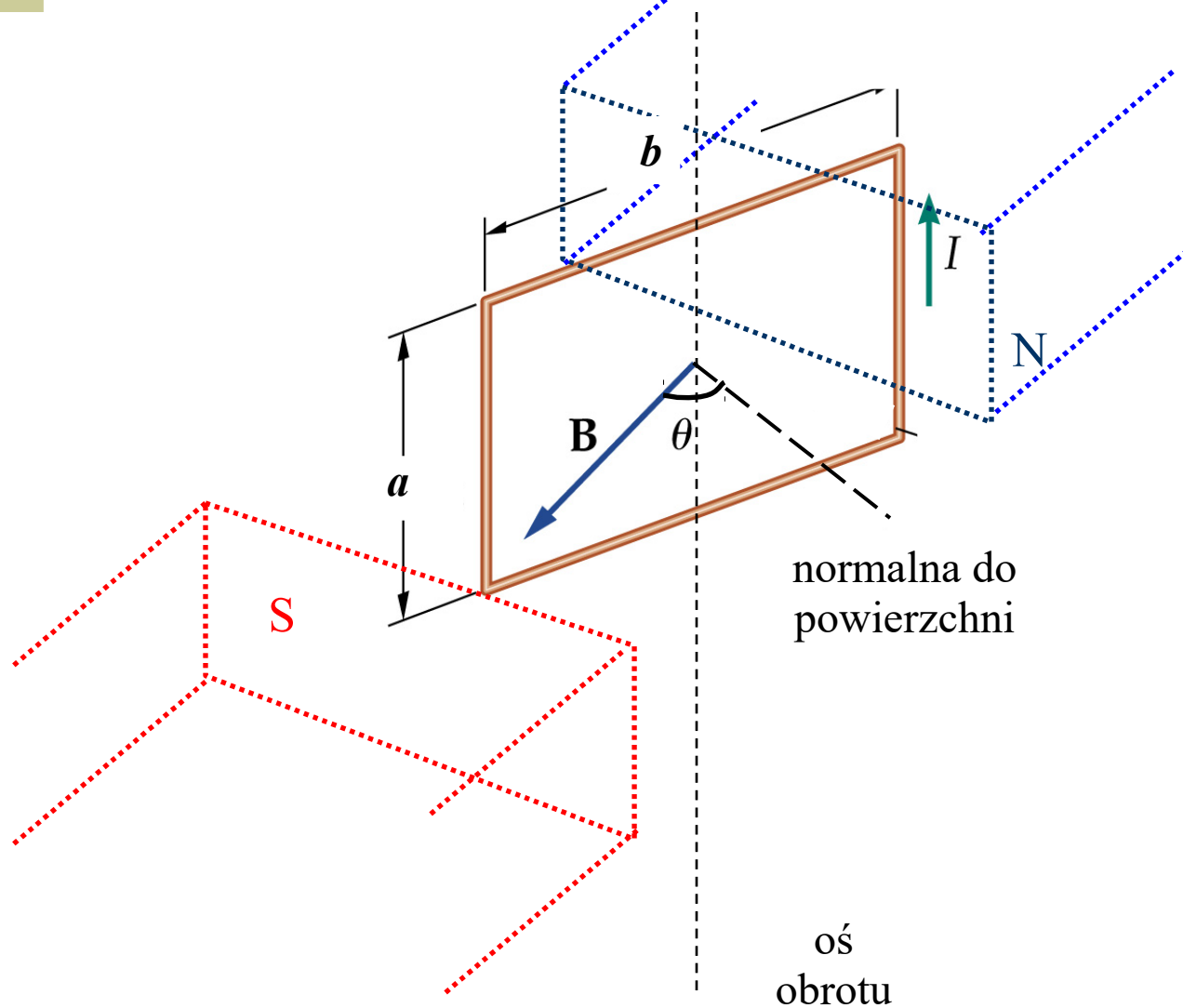
$$\vec{F} = i \frac{L}{v} (\vec{v} \times \vec{B})$$

$$\vec{F} = i (\vec{L} \times \vec{B})$$

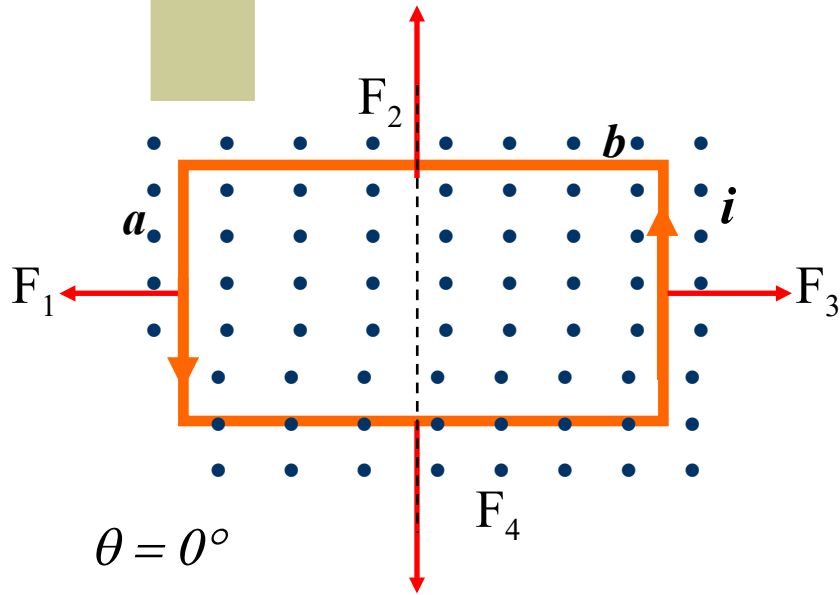
Jeśli linia nie jest prosta wówczas musimy podzielić ją na małe $d\vec{l}$ i sumować

$$d\vec{F} = i (d\vec{l} \times \vec{B})$$

Ramka z prądem w polu magnetycznym



Ramka z prądem w polu magnetycznym



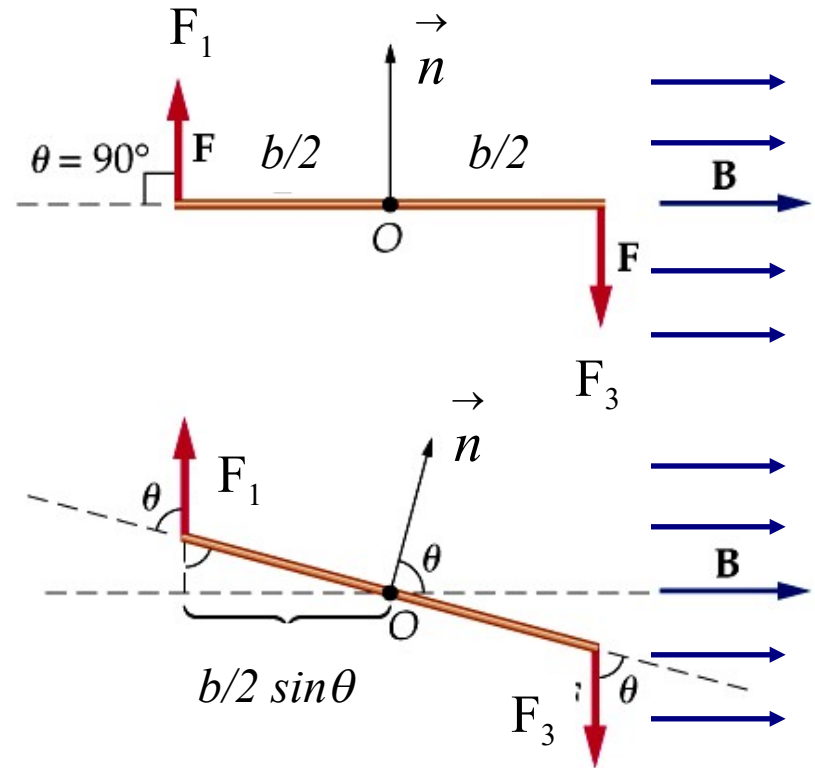
Siły F_2 i F_4 równoważą się niezależnie od orientacji ramki

$$\vec{F}_2 = i(\vec{b} \times \vec{B}) = -\vec{F}_4$$

Siły F_1 i F_3 obracają ramkę

$$\vec{F}_1 = i(\vec{a} \times \vec{B})$$

$$F_1 = i(a B) \sin(90^\circ) = F_3$$



Ramka z prądem w polu magnetycznym

Moment sił które obracają ramkę

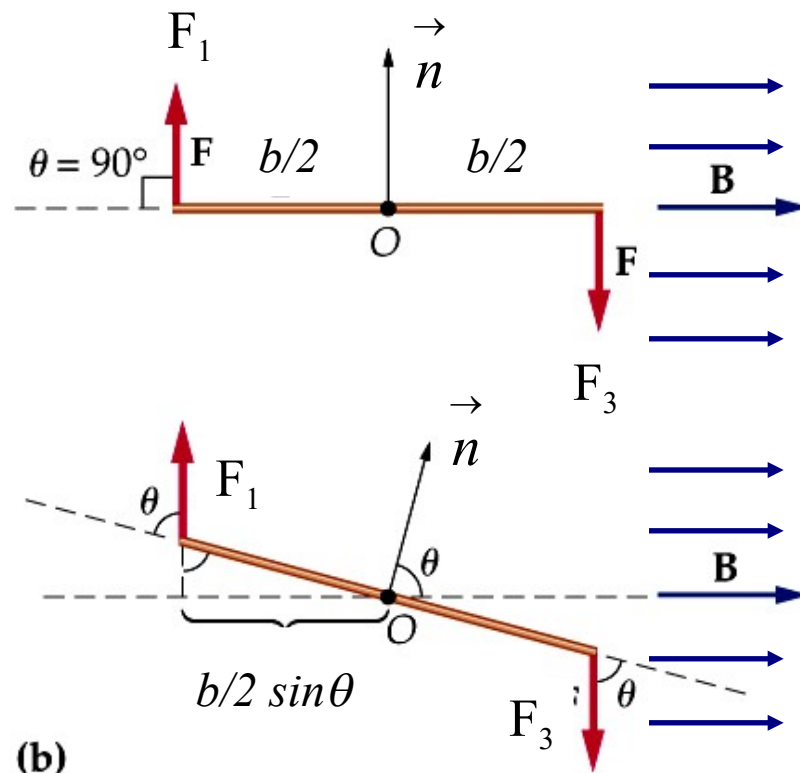
$$\vec{M} = 2 \left(\frac{\vec{b}}{2} \times \vec{F}_1 \right)$$

$$M = 2 \frac{b}{2} F_1 \sin(\theta)$$

Def. magnetycznego momentu dipolowego

$$\vec{\mu} = i a b \vec{n} = i S \vec{n}$$

powierzchnia ramki S

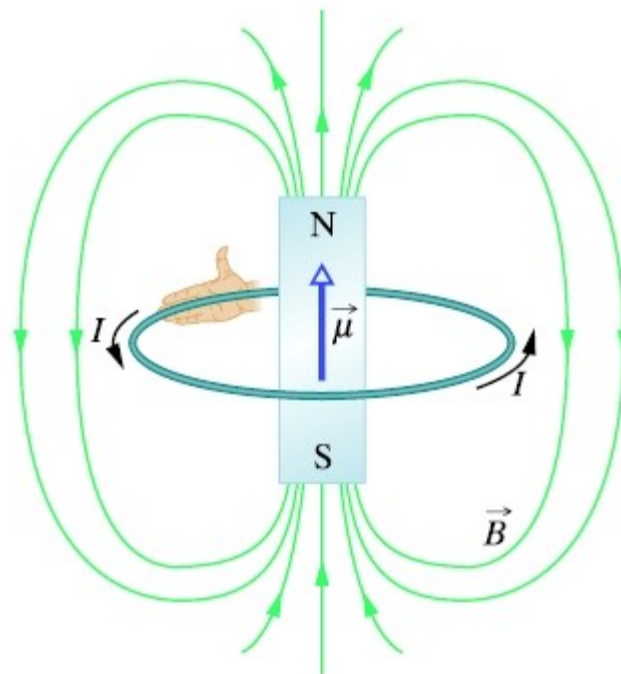


Moment sił które obracają ramkę

$$M = i a b B \sin(\theta)$$

$$\vec{M} = \vec{\mu} \times \vec{B}$$

Ramka z prądem w polu magnetycznym



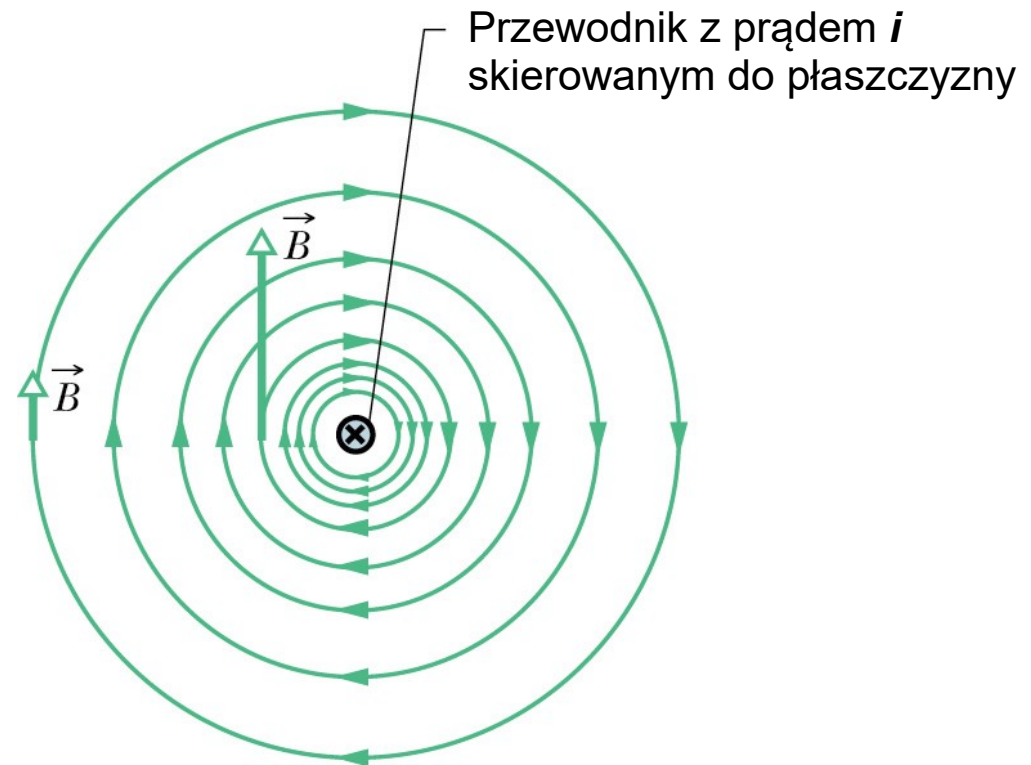
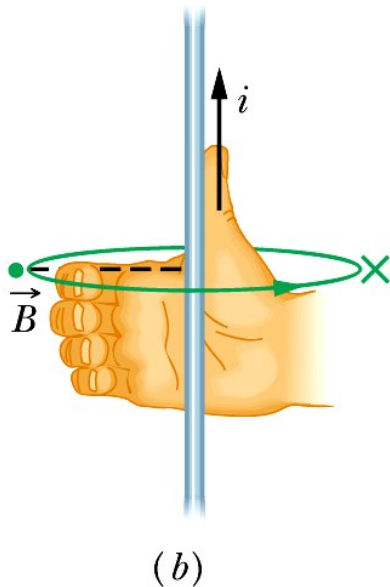
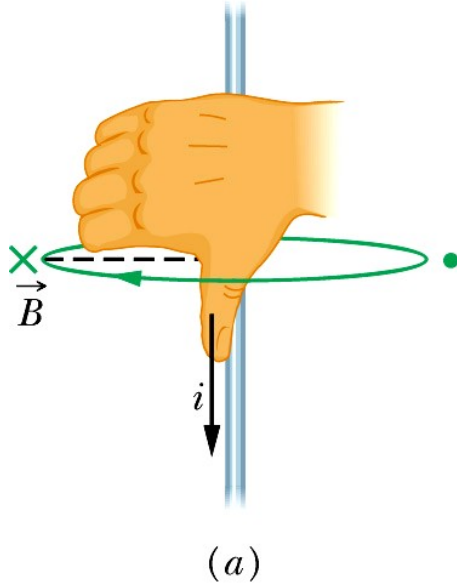
Def. magnetycznego momentu dipolowego

$$\vec{\mu} = i a b \vec{n} = i S \vec{n}$$

powierzchnia ramki S

Rys. 30.21. Pętla z prądem wytwarza pole magnetyczne, podobne do pola magnesu sztabkowego, dlatego można skojarzyć z pętlą biegun północny i południowy. Dipolowy moment magnetyczny $\vec{\mu}$ pętli, wyznaczony za pomocą reguły prawej dłoni, jest skierowany od bieguna południowego do północnego, zgodnie z kierunkiem linii pola $\vec{B}$ wewnątrz pętli

Pola magnetyczne wytwarzane przez przewodnik z prądem



Prawo Biot'a-Savart'a- pole magnetyczne wytwarzane przez dowolny przewodnik z prądem

wektor styczny do przewodnika skierowany zgodnie z kierunkiem prądu i

wektor łączący punkt P z elementem $d\vec{s}$

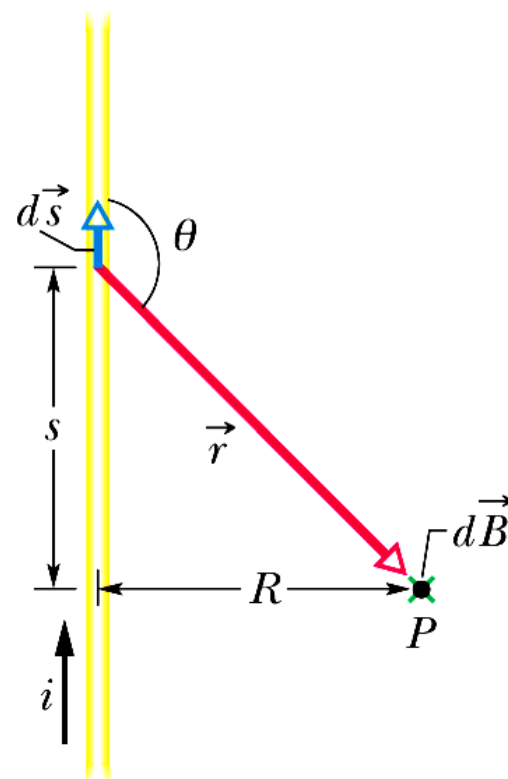
Pole mag. pochodzące od odcinka przewodnika $d\vec{s}$

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

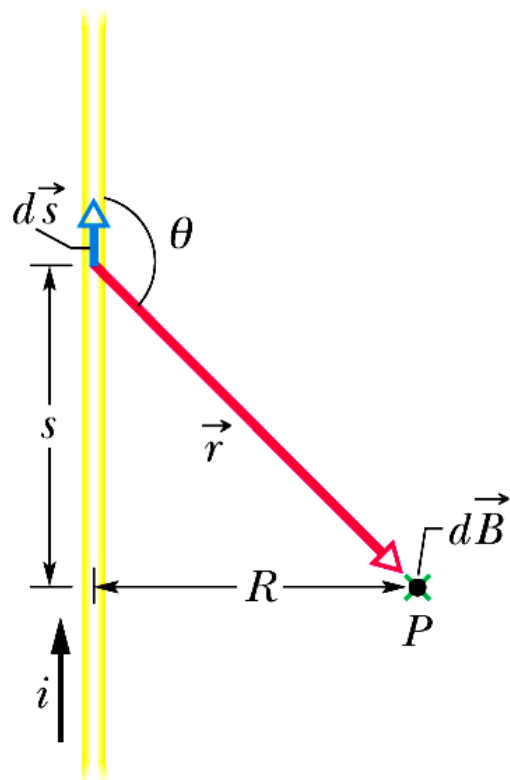
Aby policzyć pole w punkcie P trzeba sumować (całkować) odpowiednie $d\vec{B}$ po całej długości przewodnika

$$\vec{B} = \int \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{id\vec{s} \times \vec{r}}{r^3}$$

μ_0 przenikalność magnetyczna próżni = $4\pi \times 10^{-7} = 1.26 \times 10^{-6}$ Tm/A



Prawo Biot'a-Savart'a- pole magnetyczne wytwarzane przez prostoliniowy przewodnik z prądem



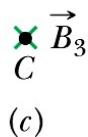
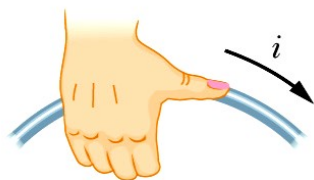
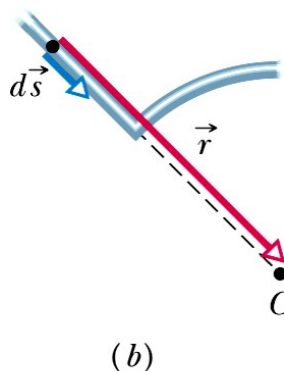
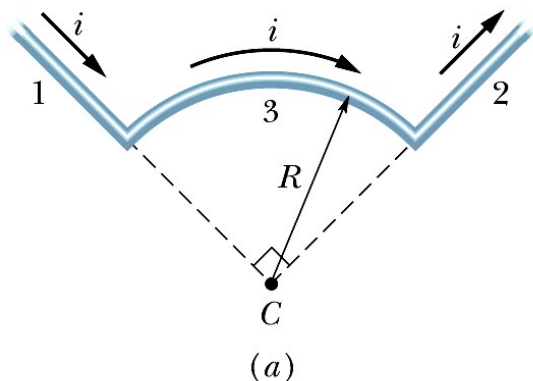
W punkcie P:
$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{id\vec{s} \sin \theta}{r^2}$$

Zauważ, że kierunek dla wszystkich małych $d\vec{B}$ jest do płaszczyzny kartki, obojętnie czy $d\vec{s}$ jest powyżej czy poniżej punktu **P**

Używając zależności $r^2 = (s^2 + R^2)$ i $\sin\theta = R/r$

$$\begin{aligned} B &= \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{id\vec{s} \sin \theta}{r^2} = \frac{\mu_0 i}{4\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{ds}{(s^2 + R^2)} \frac{R}{(s^2 + R^2)^{1/2}} \\ &= \frac{\mu_0 i}{4\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{R ds}{(s^2 + R^2)^{3/2}} = \frac{\mu_0 i}{4\pi R} \left[\frac{s}{(s^2 + R^2)^{1/2}} \right]_{-\infty}^{+\infty} = \boxed{\frac{\mu_0 i}{2\pi R}} \end{aligned}$$

Prawo Biot'a-Savart'a- pole magnetyczne wytwarzane przez przewodnik z prądem o przykładowym kształcie :



Dla odcinków 1 i 2 :

$$d\vec{s} \times \vec{r} = 0$$

$$\sin\theta = \sin(0^\circ)$$

Dla odcinka 3 :

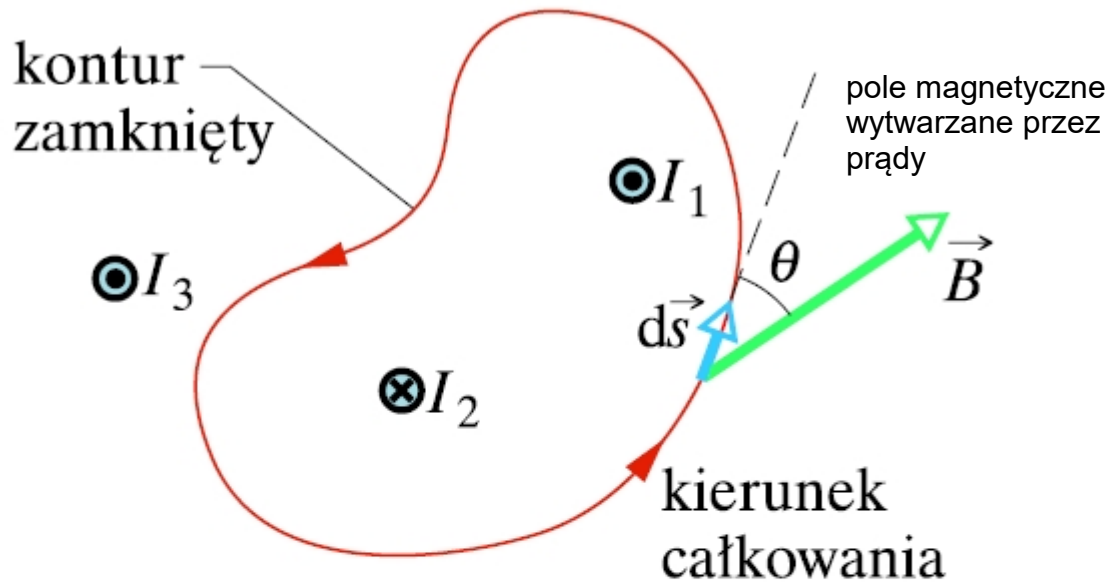
$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{id\vec{s} \times \vec{r}}{r^3} =$$

$$\frac{\mu_0}{4\pi} \frac{id s \sin\theta}{R^2} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{id s}{R^2}$$

Sumowanie (całkowanie) odbywa się po ds , które można wyrazić $ds = R d\theta$:

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_0^{\pi/2} \frac{iR d\theta}{R^2} = \frac{\mu_0 i}{4\pi} \frac{\pi}{2R} = \frac{\mu_0 i}{8R}$$

Prawo Ampera



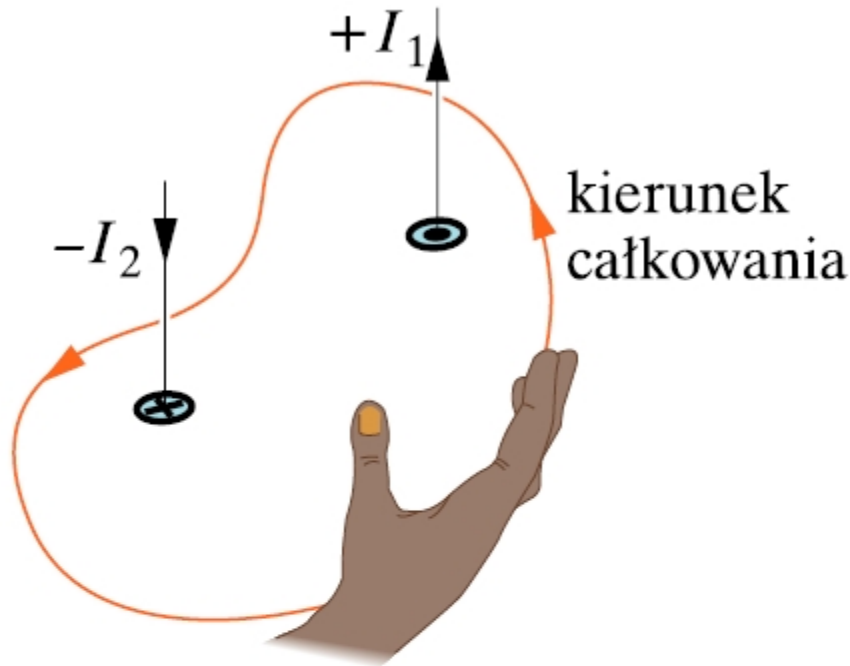
„krążenie” wektora $\vec{B}$ po zamkniętej krzywej

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \sum_k I_k$$

suma prądów przecinających powierzchnię rozpiętą na zamkniętej krzywej

Rys. 30.11. Prawo Ampère’a zastosowane do dowolnego konturu, który obejmuje dwa długie prostoliniowe przewody, ale nie obejmuje trzeciego przewodu. Zwróć uwagę na kierunki prądów

Prawo Ampera



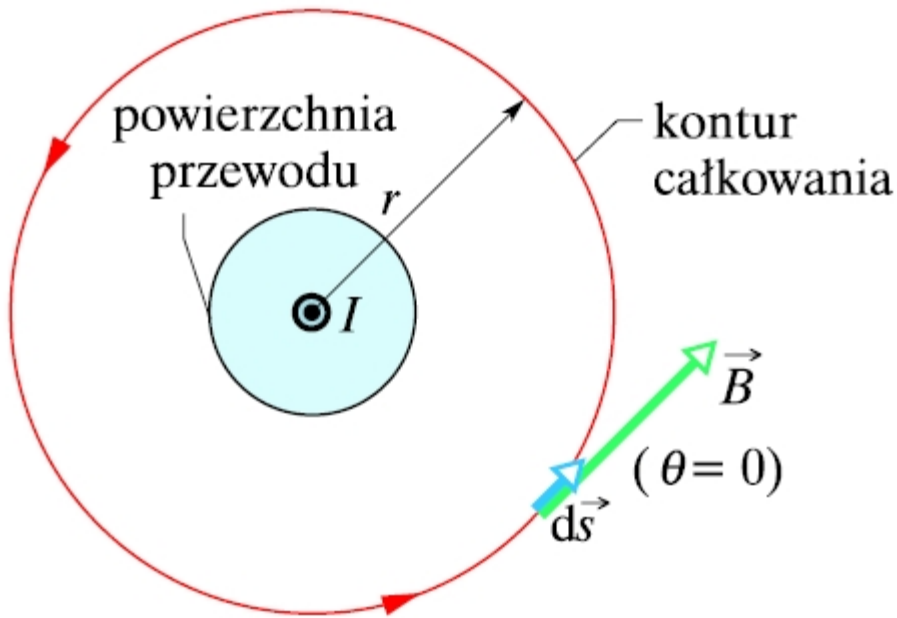
„krażenie” wektora $\vec{B}$ po zamkniętej krzywej

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \sum_k I_k$$

suma prądów przecinających powierzchnię rozpiętą na zamkniętej krzywej

Rys. 30.12. Reguła prawej dłoni dla prawa Ampère’a, służąca do określenia znaków prądów objętych konturem. Sytuacja odpowiada przedstawionej na rysunku 30.11

Prawo Ampera



Rys. 30.13. Zastosowanie prawa Amperè'a do wyznaczenia indukcji magnetycznej pola, wytworzonego przez prąd o natężeniu I , płynący w długim prostopadłościowym przewodzie. Konturem całkowania jest okrąg, leżący na zewnątrz przewodu

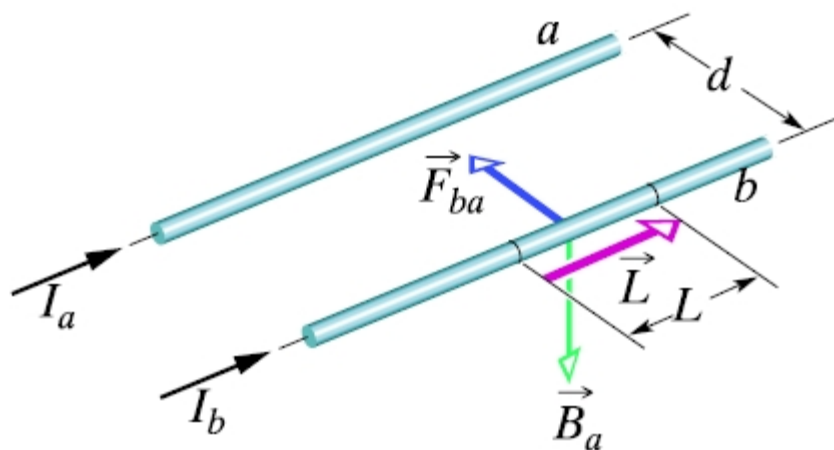
$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I$$

$$B \oint ds = \mu_0 I$$

$$B(2\pi R) = \mu_0 I$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}$$

Oddziaływanie magnetyczne dwóch równoległych przewodników z prądem



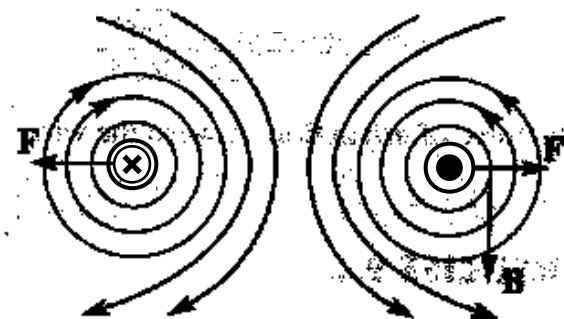
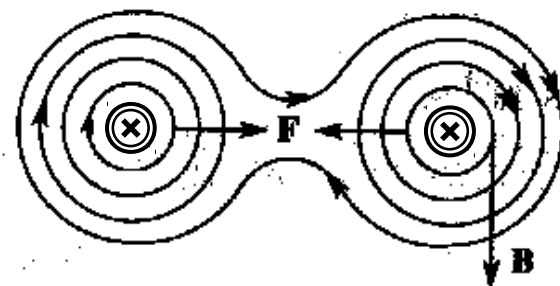
$$\vec{B}_a = \frac{\mu_0 I_a}{2\pi d}$$

Siła działająca na przewodnik b w polu B_a , działająca na odcinek L

$$\vec{F}_{ba} = I_b \vec{L} \times \vec{B}$$

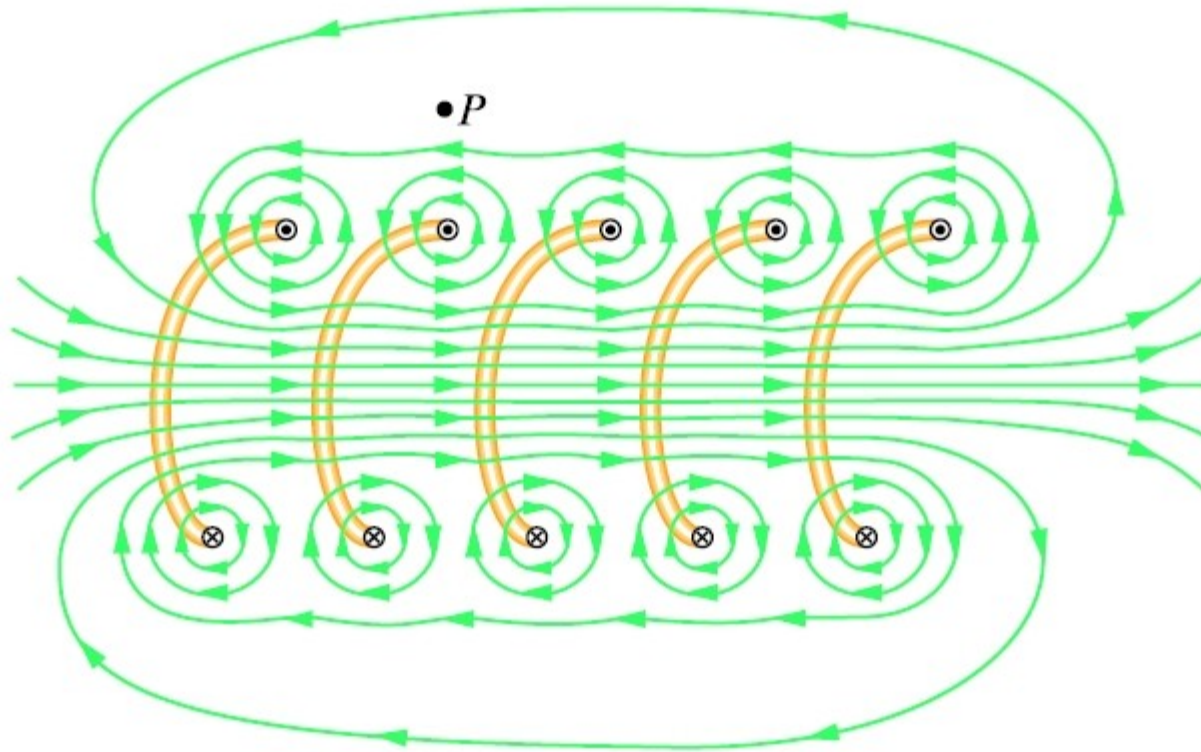
$$F_{ba} = I_b L B = \frac{\mu_0 L I_a I_b}{2\pi d}$$

prądy skierowane do tablicy



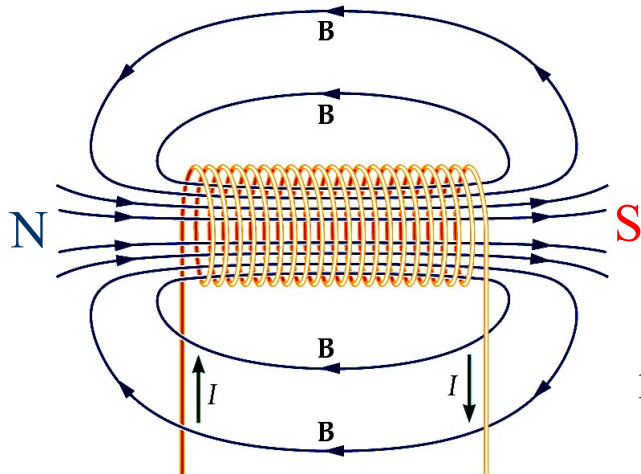
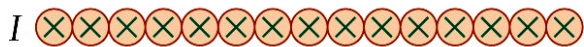
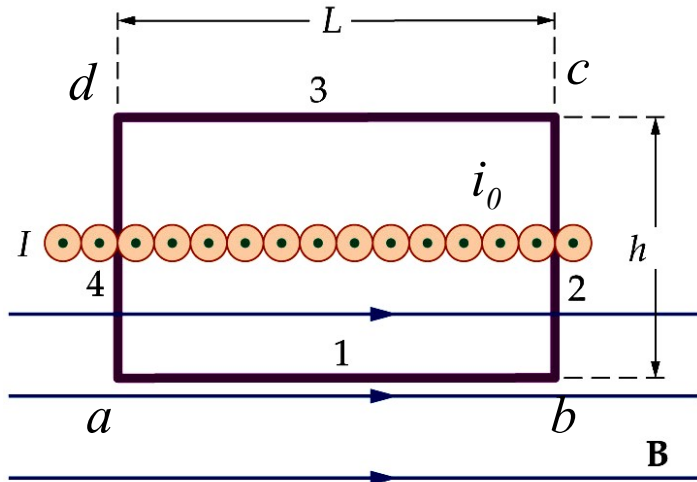
prądy przeciwnie skierowane

Pole magnetyczne solenoidu (elektromagnes)



Rys. 30.17. Pionowy przekrój przechodzący przez oś solenoidu z rozsuniętymi zwojami. Pokazane są części pięciu zwojów położone z tyłu, a także linie pola magnetycznego, wytworzonego przez prąd płynący w solenoidzie. Wokół każdego zwoju powstają kołowe linie pola. W pobliżu osi solenoidu linie skierowane są wzdłuż osi. Ułożone blisko siebie linie wskazują, że pole w pobliżu osi jest silne. Na zewnątrz solenoidu odległości między liniami są duże; oznacza to, że pole tam jest bardzo słabe

Pole magnetyczne solenoidu (elektromagnes)



Z prawa Ampera

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \sum_k i_k$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = i_0 \mu_0 N$$

Liczba zwojów przecinających powierzchnię rozpiętą na konturze **abcd**

Na odcinku **cd** wektor $B = 0$

Na odcinku **bd**, **da** wektor $B \perp$ (prostopadły do) $d\vec{l}$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \int_a^b \vec{B} \cdot d\vec{l} + \int_b^c \vec{B} \cdot d\vec{l} + \int_c^d \vec{B} \cdot d\vec{l} + \int_d^a \vec{B} \cdot d\vec{l}$$

$$BL + 0 + 0 + 0 = i_0 \mu_0 nL$$

$$B = \mu_0 i_0 n$$

Wartość wektora indukcji p.mag. jest proporcjonalna do prądu płynącego w elektromagnesie

Liczba zwojów na jednostkę długości solenoidu