

# Pole magnetyczne

Sila Lorentza działająca na cząstkę

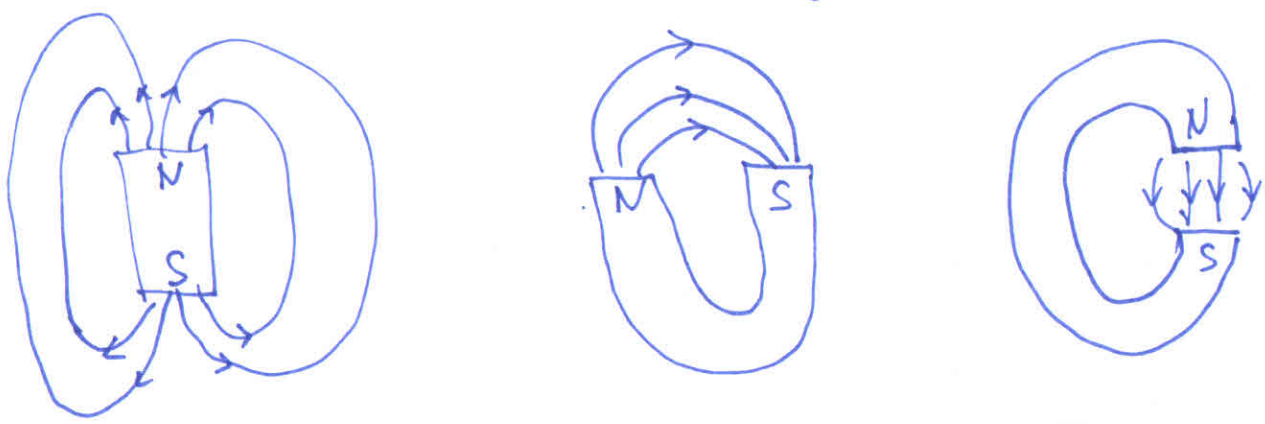
$$\vec{F}_B = q \vec{v} \times \vec{B} \quad \Rightarrow \quad B = \frac{F_B}{|q|v} \quad (\vec{v} \perp \vec{B})$$

Jednostka indukcji pola magnetycznego:

$$1 \text{ tesla} = 1 \text{ T} = 1 \frac{\text{N}}{\text{A} \cdot \text{m}}$$

$$1 \text{ tesla} = 10^4 \text{ gaesów}$$

## Linie sił pola magnetycznego



# Zjawisko Halla

Edwin Hall (1879)

Napięcie Halla  $U = Ed$

Gdy siły elektryczne i magnetyczne się równoważą

$$eE = ev_d B \quad (F_E = F_B)$$

Prędkość unoszenia

$$v_d = \frac{I}{neS}$$

$$n = \frac{I}{v_d e S} = \frac{IBd}{UeS}$$

$$\underline{n = \frac{IB}{Ue}}$$

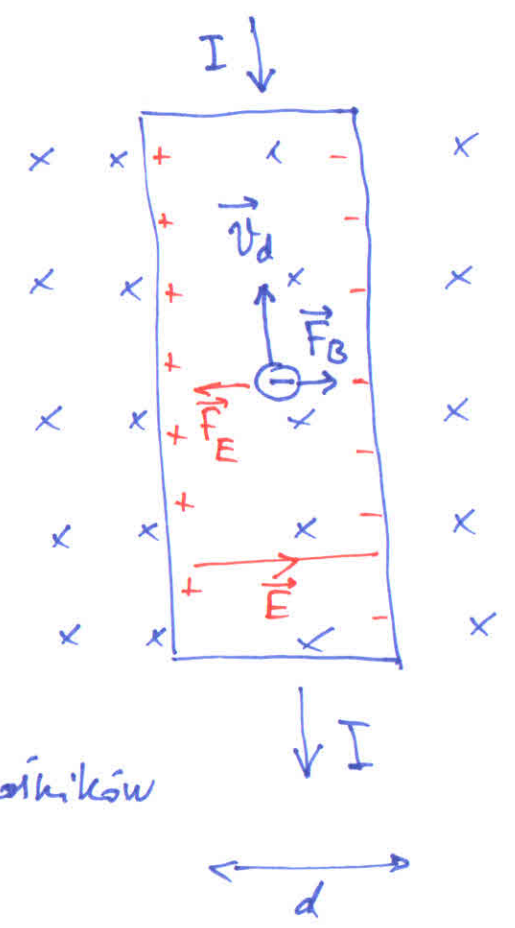
możemy wyznaczyć  $n$

$\frac{I}{S}$  - gęstość prądu

$n$  - koncentracja nośników (elektronów)

$l = \frac{S}{d}$  - grubość paska

$$\underline{U = \frac{1}{enl} IB}$$

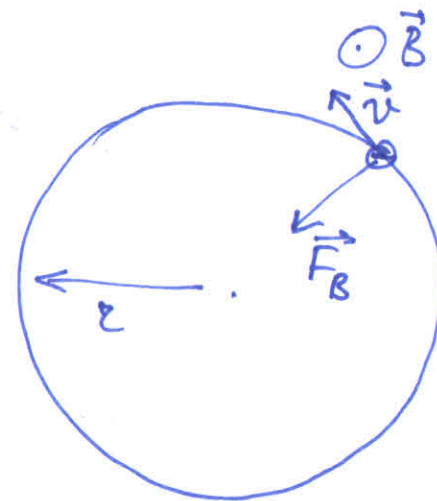


# Ruch cząstek naładowanych w polu magnetycznym

Ruch obrotowy - siła dośrodkowa:

$$F_B = m \frac{v^2}{r} = qvB$$

$$\Rightarrow \underline{r = \frac{mv}{qB}} \quad - \text{promień toru cząstki.}$$



Okres:

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi m}{qB}$$

Częstość:

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{qB}{2\pi m}$$

Częstość kołowa

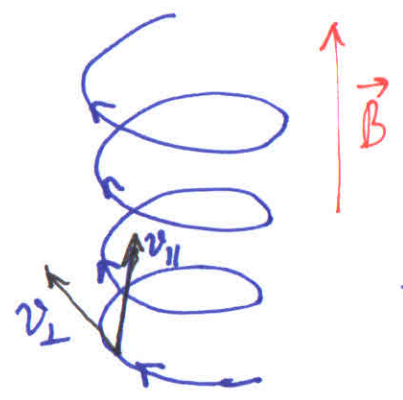
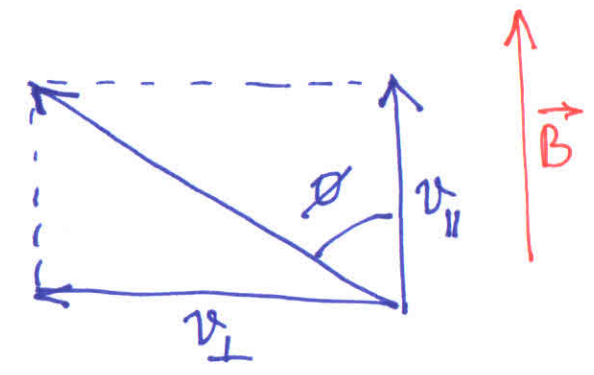
$$\omega = 2\pi\nu = \frac{qB}{m}$$

można zignorować m!

# Tory śrubowe

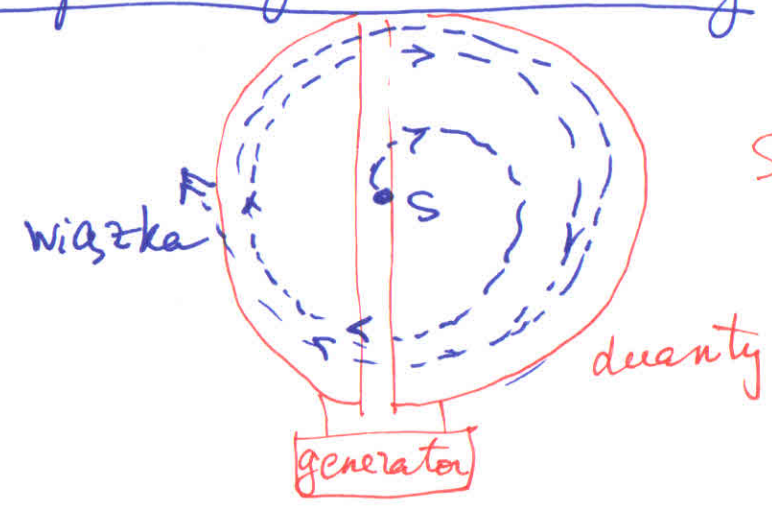
Wektor prędkości ma dwie składowe:

$$v_{||} = v \cos \theta, \quad v_{\perp} = v \sin \theta$$



Tor ruchu cząstki w jednorodnym polu magnetycznym

# Cyklotrony i synchrotrony



S - źródło cząstek

Jednorodne pole magnetyczne skierowane prostopadle przed płaszczyzną rysunku

# Siła magnetyczna działająca na przewodnik z prądem

14.

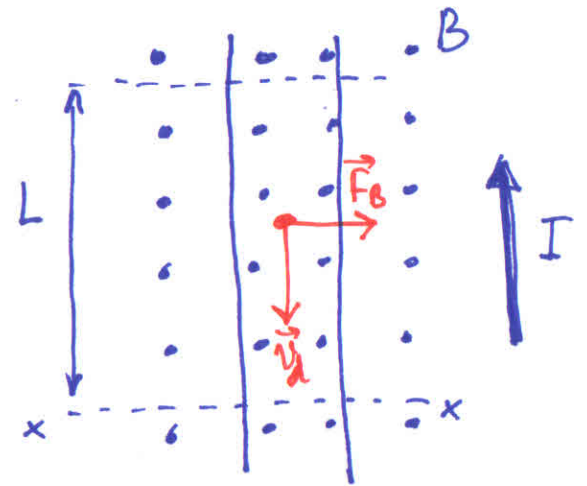
ładunek, przepływający w czasie  $t = L/v_d$   
przez płaszczyznę  $xx$

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

Siła działająca na ładunek  $q$

$$F_B = q v_d B = ILB$$

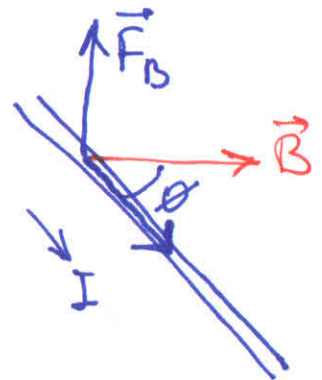
$$(\vec{B} \perp \vec{I})$$



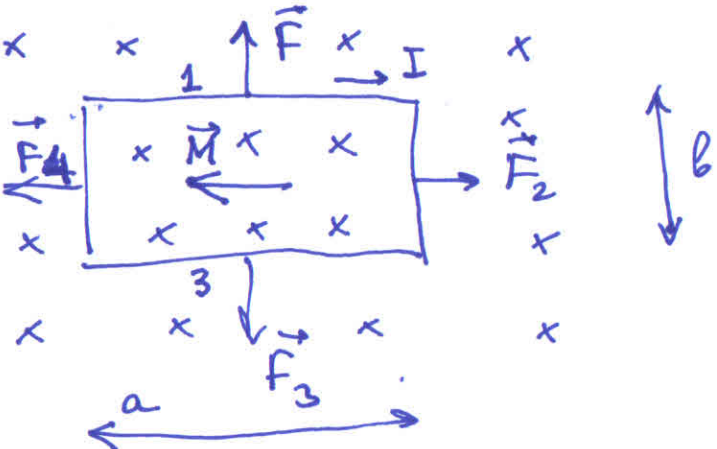
w ogólnym przypadku

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

$\vec{L}$  - wektor długości



Moment siły działający na ramkę z prądem

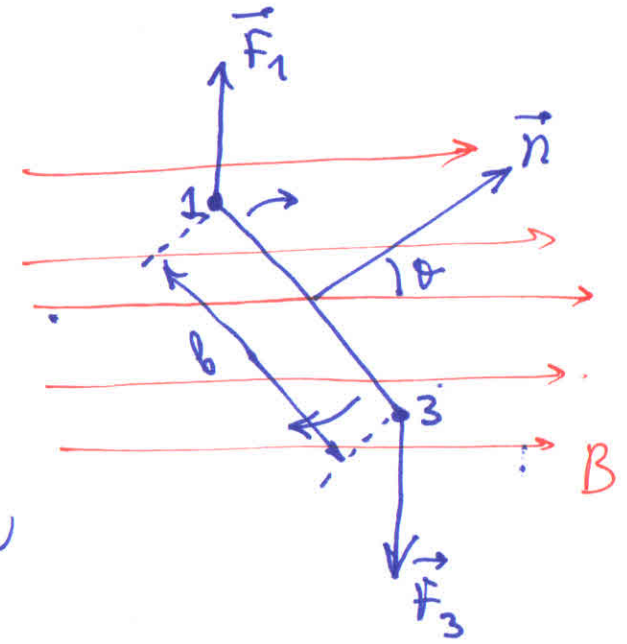
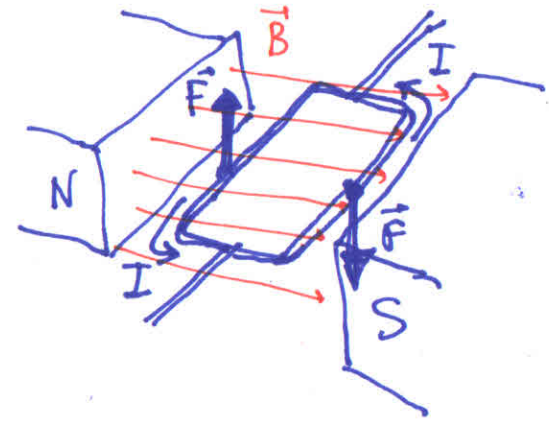


Moment siły:  $M' = Iab \sin \theta$

Moment siły działający na cewkę

$M = N M' = N I S \sin \theta$

$S = ab$   
 N - ilość zwojów



# Dipolowy moment magnetyczny

Wprowadzimy moment magnetyczny cewki:

$$\mu = N I S$$

$$\Rightarrow M = \mu B \sin \theta$$

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

Równanie podobne do momentu siły działającej na dipol elektryczny:

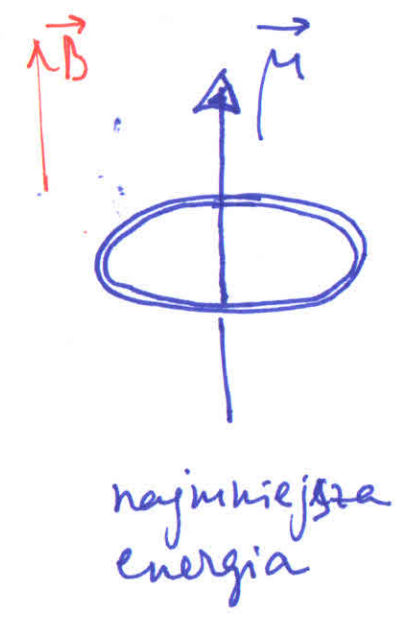
$$\vec{M} = \vec{p} \times \vec{E}$$

Magnetyczna energia potencjalna, którą ma dipol magnetyczny w polu magnetycznym

$$E_p(\theta) = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$$

(Dla dipola elektrycznego:  $E_p(\theta) = -\vec{p} \cdot \vec{E}$ )

magnes jest również dipolem magnetycznym



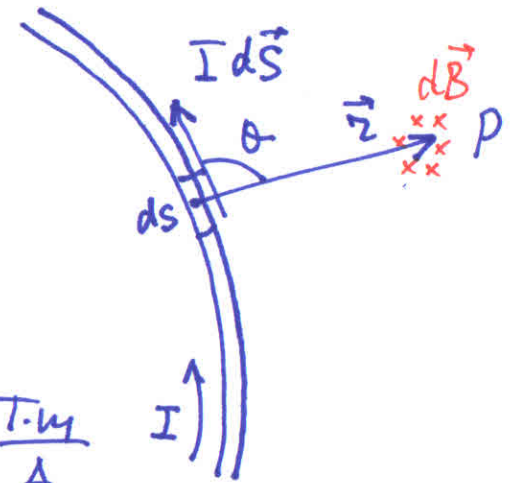
# Pole magnetyczne wywołane przepływem prądu

Prawo Biot-Savarta:

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

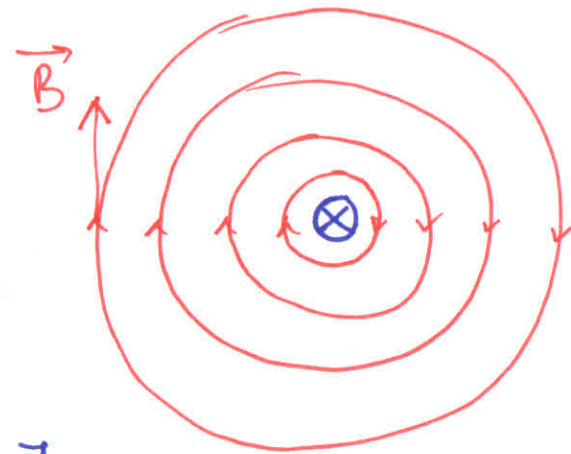
$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T}\cdot\text{m/A} \approx 1,26 \cdot 10^{-6} \frac{\text{T}\cdot\text{m}}{\text{A}}$$

przenikalność magnetyczna  
próżni



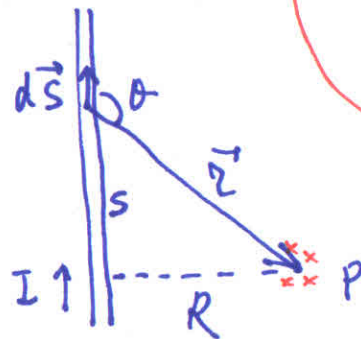
Przewód prostoliniowy

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



Wyprowadzenie:

$$B = 2 \int_0^{\infty} dB = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \int_0^{\infty} \frac{\sin\theta ds}{r^2} =$$
$$= \frac{\mu_0 I}{2\pi} \int_0^{\infty} \frac{R ds}{(s^2 + R^2)^{3/2}} = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} \frac{s}{(s^2 + R^2)^{1/2}} \Big|_0^{\infty} = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}$$



$$r = \sqrt{s^2 + R^2}$$
$$\sin\theta = \sin(\pi - \theta) = \frac{R}{\sqrt{s^2 + R^2}}$$



# Sily działające między równoległymi przewodami z prądem

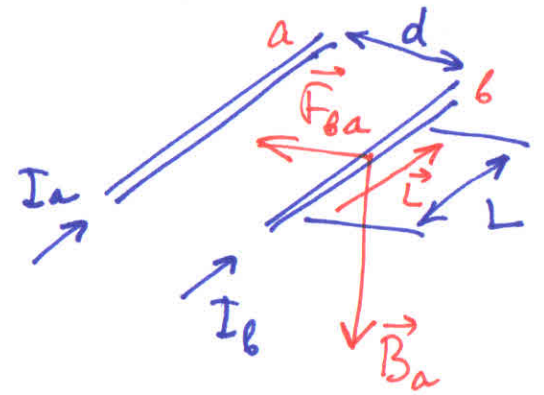
Prąd w przewodzie wytwarza pole magnetyczne

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

Sila Lorentza

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

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



Przewody, w których płyną prądy równoległe, przyciągają się, a te, w których płyną prądy antyrównoległe, się odpychają.

# Prawo Ampère'a

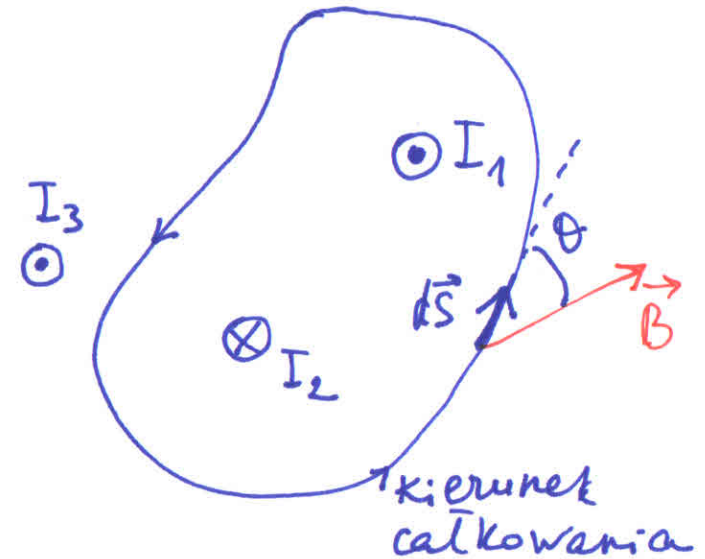
$$\sum \vec{B} \cdot \Delta \vec{S} \xrightarrow{\Delta \vec{S} \rightarrow 0} \oint \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

całka wzdłuż zamkniętego konturu

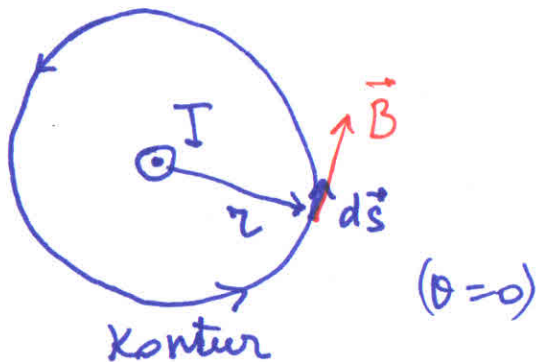
$$\boxed{\oint \vec{B} \cdot d\vec{S} = \mu_0 I_p}$$

prawo Ampère'a

$I_p$  - natężenie całkowite prądu przecinającego powierzchnię ograniczoną przez kontur całkowania



## Przykład zastosowania



$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{S} = \oint B \cos \theta ds = B \oint ds = B \cdot 2\pi r$$

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

$$B = \underline{\underline{\frac{\mu_0 I}{2\pi r}}}$$

# Pole magnetyczne solenoidu

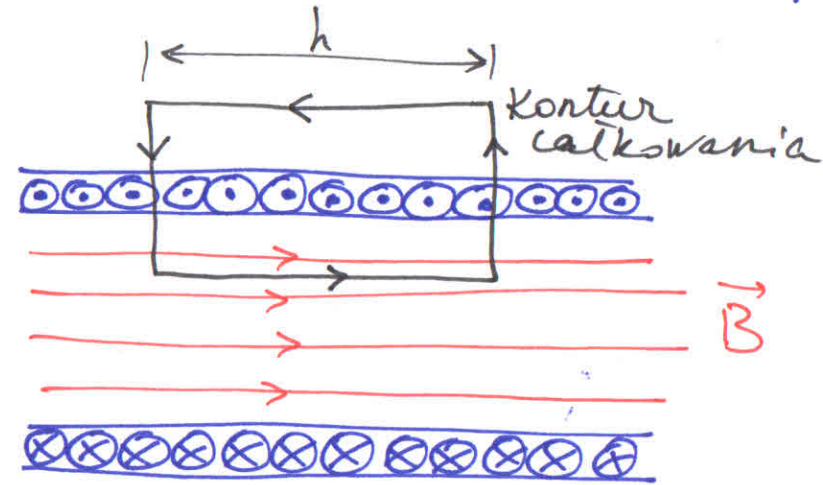
$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = Bh$$

$$Bh = \mu_0 Inh$$

$n$  - liczba zwojów  
na jednostkę długości

$$\Rightarrow \boxed{B = \mu_0 In}$$

solenoid idealny



# Cewka z prądem jako dipol magnetyczny

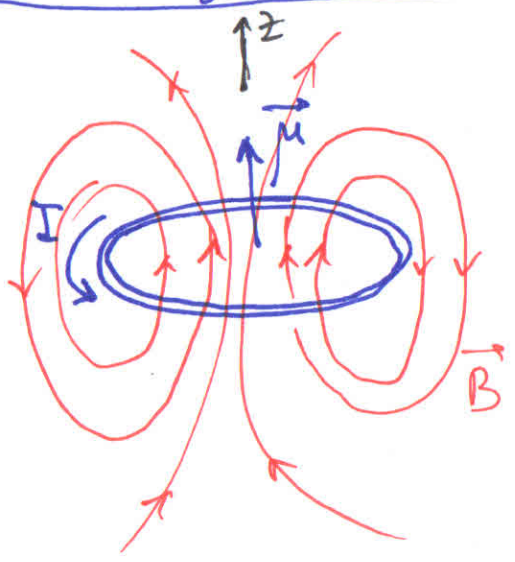
Na cewkę w polu magnetycznym  $\vec{B}$  działa moment siły

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

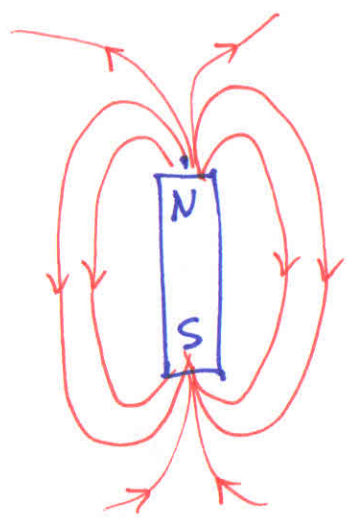
$\mu = NIS$ ,  $N$  - liczba zwojów

$\vec{\mu}$  - dipolowy moment magnetyczny cewki:

## Pole magnetyczne cewki:



Pętla z prądem



magnes sztabkowy

Pole wzdłuż osi  $z$ :

$$\vec{B}(z) = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{\vec{\mu}}{z^3}$$

cewka z prądem