



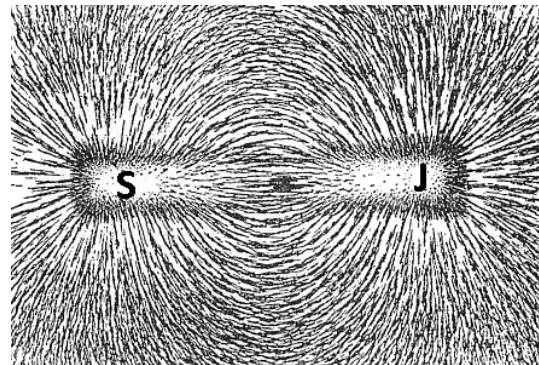
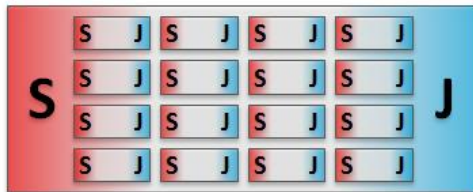
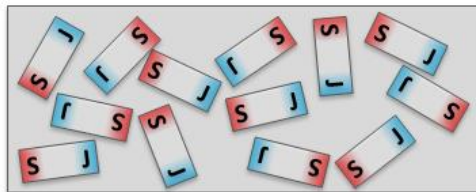
Magnetické pole I – FYZ2

2023 FS

Ing. Štěpán Kunc, Ph.D.

stepan.kunc@tul.cz

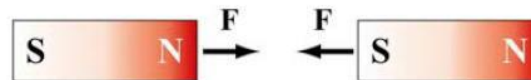
Stacionární magnetické pole



Magnetické pole je jedna z forem projevu elektromagnetického pole

Magnetické pole působí pouze na pohybující se nabitě částice a tělesa, na vodiče protékané Proudě, a na částice a tělesa s nenulovým magnetickým momentem

Zdrojem magnetického pole jsou pohybující se nabitě částice a tělesa, vodiče protékané proudem, částice a tělesa s magnetickým momentem a časově proměnné elektrické pole.



Magnetická indukce

Magnetická indukce B

Magnetická indukce B
Popisuje silové působení
magnetického pole
Na pohybující se náboj Q

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

Lorentzova síla



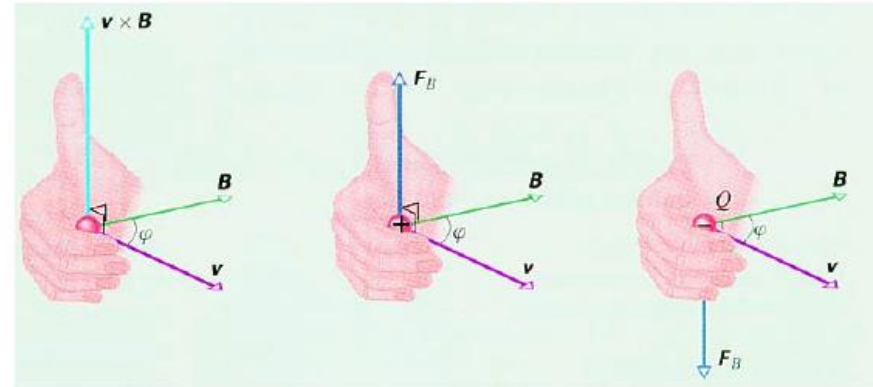
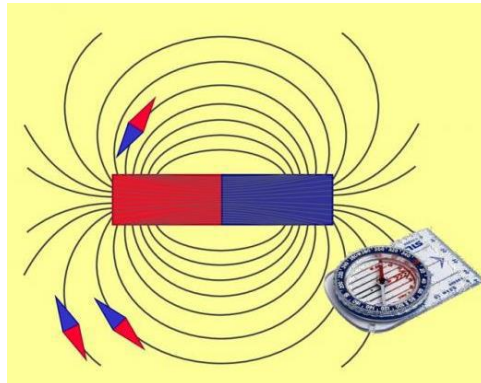
$$P = \vec{F} \vec{v} = Q(\vec{v} \times \vec{B}) \vec{v} = 0$$

Magnetická síla nekoná
Práci pouze zakřivuje
Dráhu částice

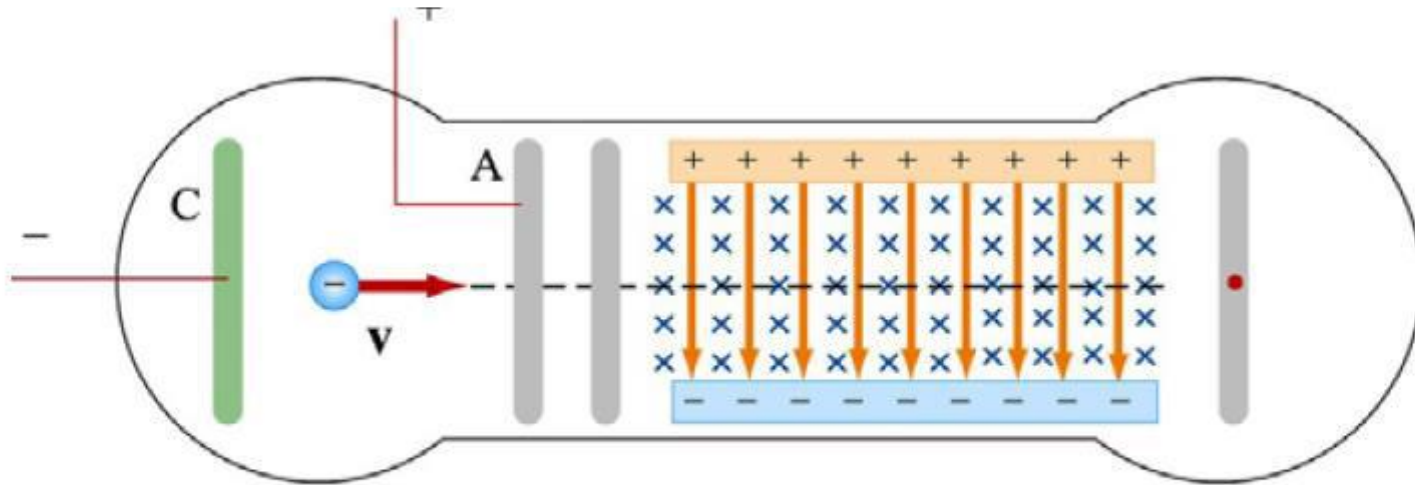
Magnetické indukční linie

Čáry, jejichž tečna v
daném bodě
Prostoru má směr
vektoru
Magnetické indukce

Indukční linie tvoří
uzavřené čáry

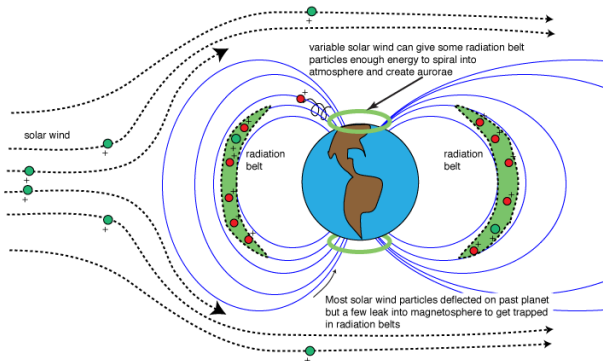
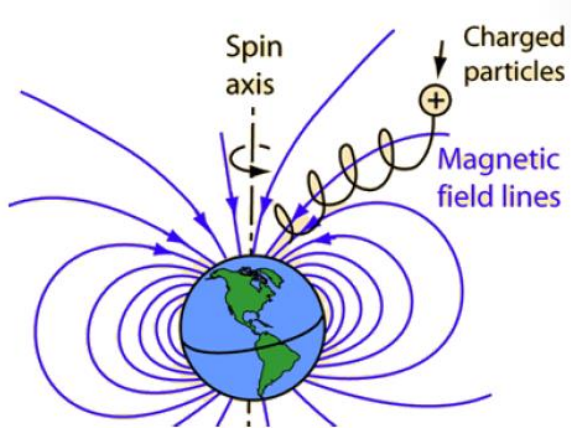
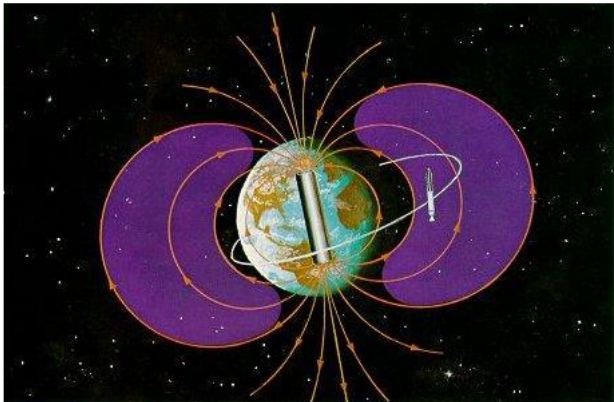


Třídění rychlosti – poměr q_e a m_e



Obr. 8.6.1: Thomsonova aparatura.

Polární záře



Ampérův zákon síly - vodič

Jaká síla působí na proudový element vodiče v magnetické poli o indukci B

$$I = \frac{dQ}{dt} \quad \vec{v} = \frac{d\vec{l}}{dt}$$

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

Lorentzova síla



$$d\vec{F} = dQ(\vec{v} \times \vec{B}) = Idt\left(\frac{d\vec{l}}{dt} \times \vec{B}\right)$$

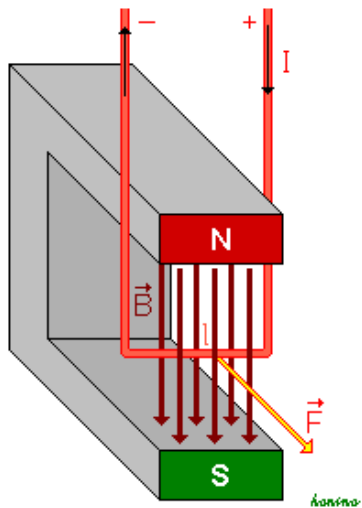


Ampérův zákon síly

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

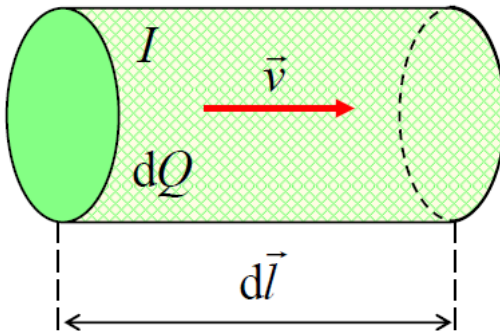


$$\vec{F} = \int_L I(d\vec{l} \times \vec{B})$$



$$F = IBL \sin \theta$$

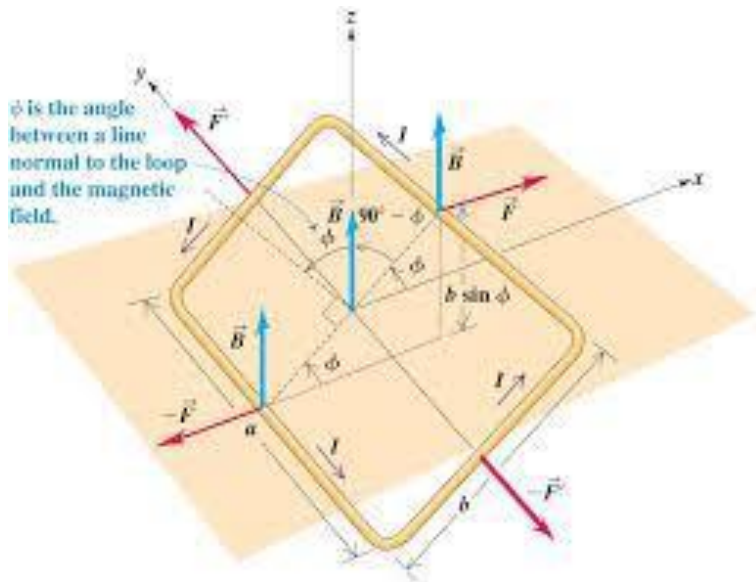
Přímý vodič
V homogenním poli



Síla která působí na vodič
protékaným proudem I v
Mag. Poli B

Ampérův zákon síly - smyčka

Smyčka obdélníkového tvaru v magnetickém poli B

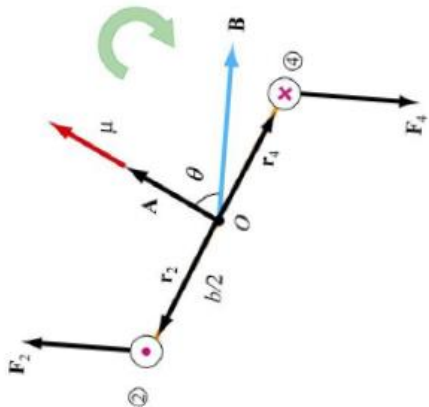


$$\vec{F} = \int_L I(d\vec{l} \times \vec{B})$$

Lorentzova síla

$$\vec{M} = \vec{b} \times \vec{F}$$

Moment síly



$$\vec{M} = \vec{b} \times \vec{F}$$

$$\vec{M} = \vec{b} \times I(\vec{a} \times \vec{B})$$

$$M = IabB \sin \theta = ISB \sin \theta$$

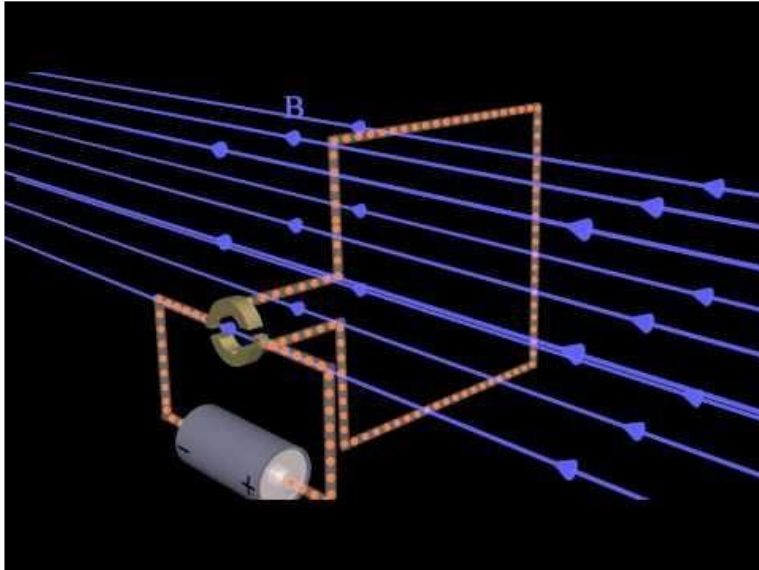
N - závitů

$$M = NISB \sin \theta$$

Síly, působící na strany **b** jenom deformují smyčku a vyruší se přes síly reakce
 Výsledná magnetická síla na uzavřenou smyčku je nulová, smyčku neposune
 Síly, působící na strany **a** vyvolají moment dvojice sil **M**

Ampérův zákon síly – DC motor

Smyčka obdélníkového tvaru v magnetickém poli B

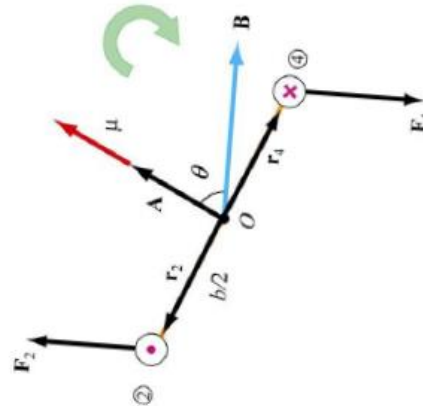


$$\vec{F} = \int_L I(d\vec{l} \times \vec{B})$$

Lorentzova síla

$$\vec{M} = \vec{b} \times \vec{F}$$

Moment síly



$$\vec{M} = \vec{b} \times \vec{F}$$

$$\vec{M} = \vec{b} \times I(\vec{a} \times \vec{B})$$

$$M = IabB \sin \theta = ISB \sin \theta$$

N - závitů

$$M = NISB \sin \theta$$

[Magnetic Forces and the DC Electric Motor \(revised\) \(youtube.com\)](https://www.youtube.com/watch?v=j_F4limaHYI)

https://www.youtube.com/watch?v=j_F4limaHYI

Biot – Savartův zákon

Jaké pole **B** vznikne kolem liniového vodiče konečné délky?
Indukce **B** díky pohybujícím se náboji **Q**

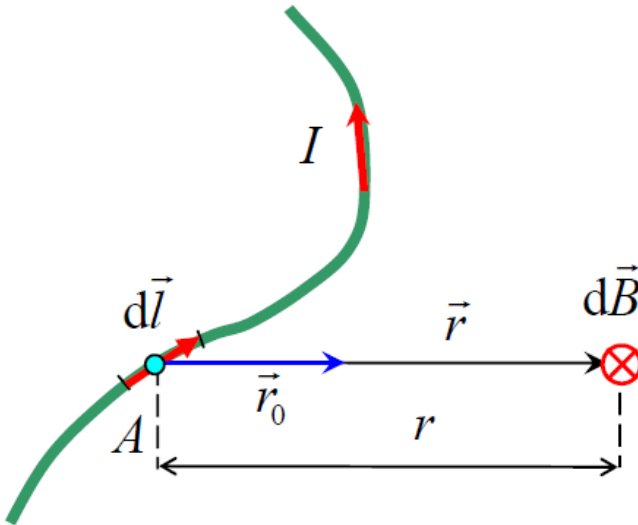
Biot – Savartův zákon

$$d\vec{B}(\vec{r}) = \frac{\mu_0 I (d\vec{l} \times \vec{r})}{4\pi r^3} = \frac{\mu_0 I (d\vec{l} \times \vec{r}_0)}{4\pi r^2}$$

μ_0 Permeabilita vakua $\mu_0 = \frac{1}{\epsilon_0 c^2} = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Hm}^{-1}$

$$\vec{B}(\vec{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_L \frac{I (d\vec{l} \times \vec{r})}{r^3} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_L \frac{I (d\vec{l} \times \vec{r}_0)}{r^2}$$

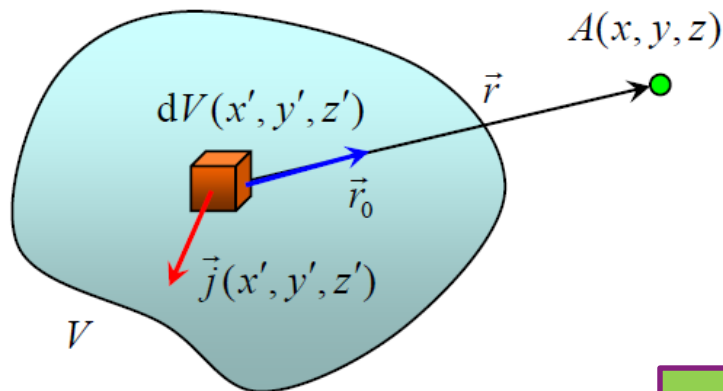
$\vec{B} = \sum \vec{B}_i$ Princip superpozice



Biot – Savartův zákon

Jaké pole **B** vznikne kolem obecného objemového vodiče?

Indukce **B** díky pohybujícím se náboji **Q**



$$Id\vec{l} = \vec{j}dV$$

\vec{j} – hustota elektrického proudu



Magnetické pole **B**

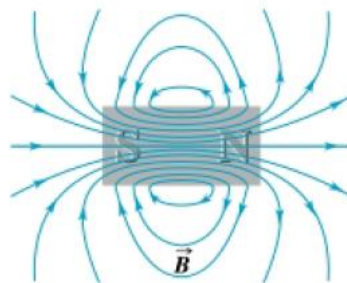
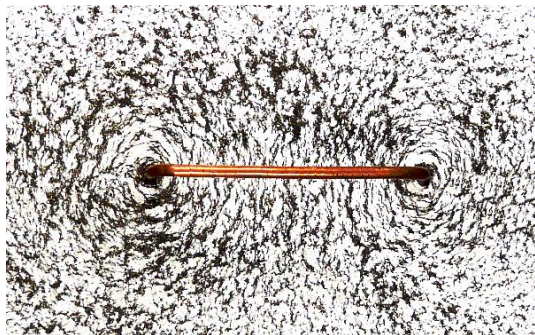
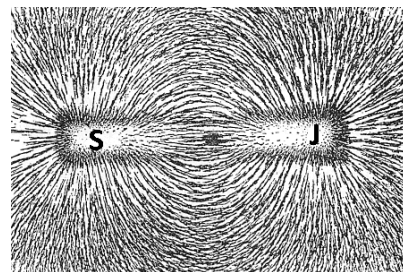
$$\vec{B}(\vec{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} \iiint_V \frac{\vec{j} \times \vec{r}}{r^3} dV = \frac{\mu_0}{4\pi} \iiint_V \frac{\vec{j} \times \vec{r}_0}{r^2} dV$$

Elektrické pole **E**

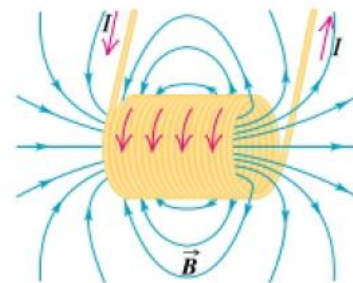
$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \iiint_V \frac{\rho \cdot \vec{r}}{r^3} dV = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \iiint_V \frac{\rho \cdot \vec{r}_0}{r^2} dV$$

Magnetické indukční čáry

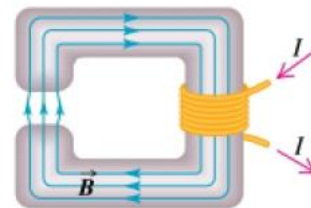
<http://old.spsemoh.cz/vyuka/zae/el7.htm>



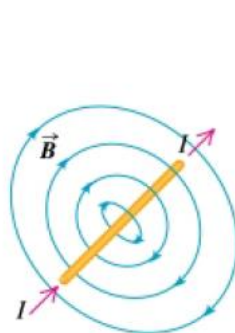
(a)



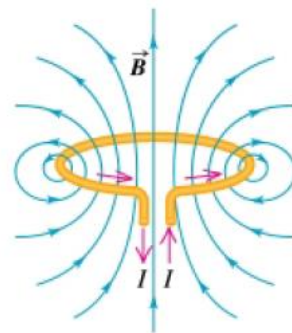
(b)



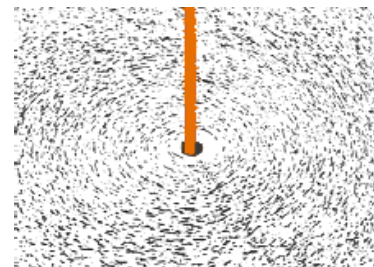
(c)



(d)



(e)



Magnetické indukční čáry jsou uzavřené křivky
Neexistuje magnetický monopol

Stacionární magnetické pole

- Př. 1 Stacionární pole přímého vodiče BS
- Př. 2 Pole závitu – kruhové smyčky BS

Ampérův zákon

$$\vec{B} d\vec{l} = B dl \cos \theta = Br d\theta$$

Cirkulace v magnetickém poli B nezáleží na poloměru kružnice, velikosti uzavřené křivky ani tvaru uzavřené křivky, vztah platí obecně

Cirkulace závisí na tom zda křivka obepíná vodič jímž protéká proud

Magnetické pole nelze jednoznačně charakterizovat potenciálem jako pole elektrické.



$$\oint_C \vec{B} d\vec{l} = \oint_C \frac{\mu_0 I}{2\pi} d\theta = \mu_0 I$$



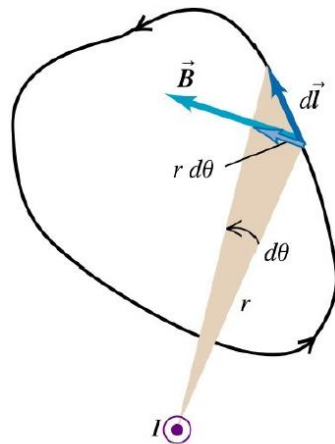
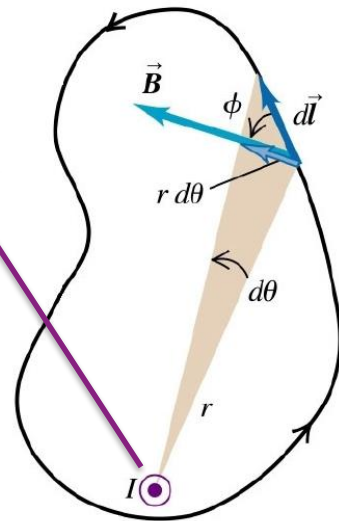
$$\oint_C \vec{B} d\vec{l} = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \int_{\theta_0}^{\theta_0} d\theta = 0$$



$$\oint \vec{B}(\vec{r}) d\vec{l} = \mu_0 I$$

Pole dlouhého vodiče

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



Ampérův zákon, zákon celkového proudu

Stacionární magnetické pole

Př. 1 Stacionární pole přímého vodiče AZ

Př. 2 Pole solenoidu AZ