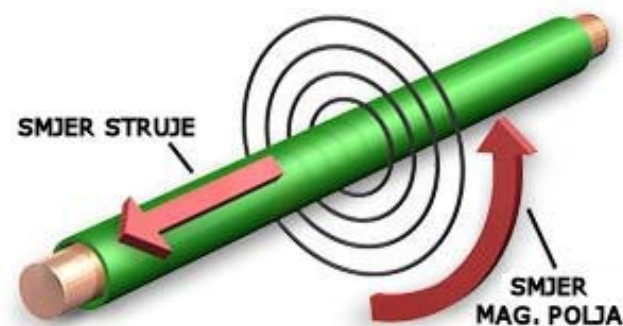
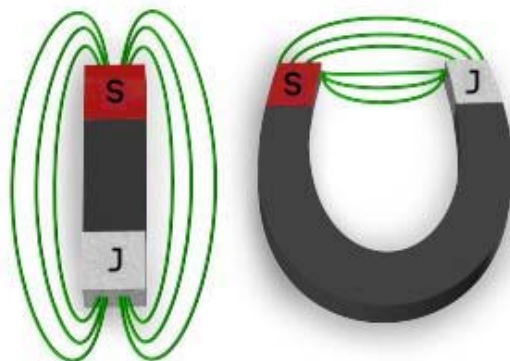
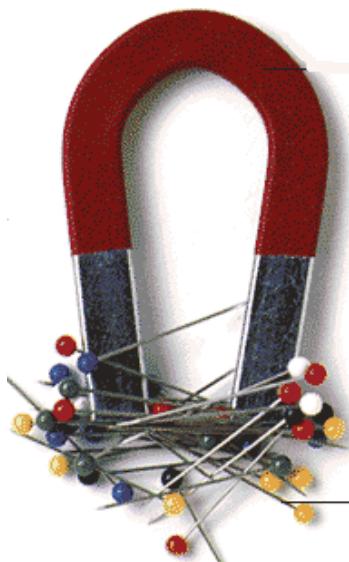


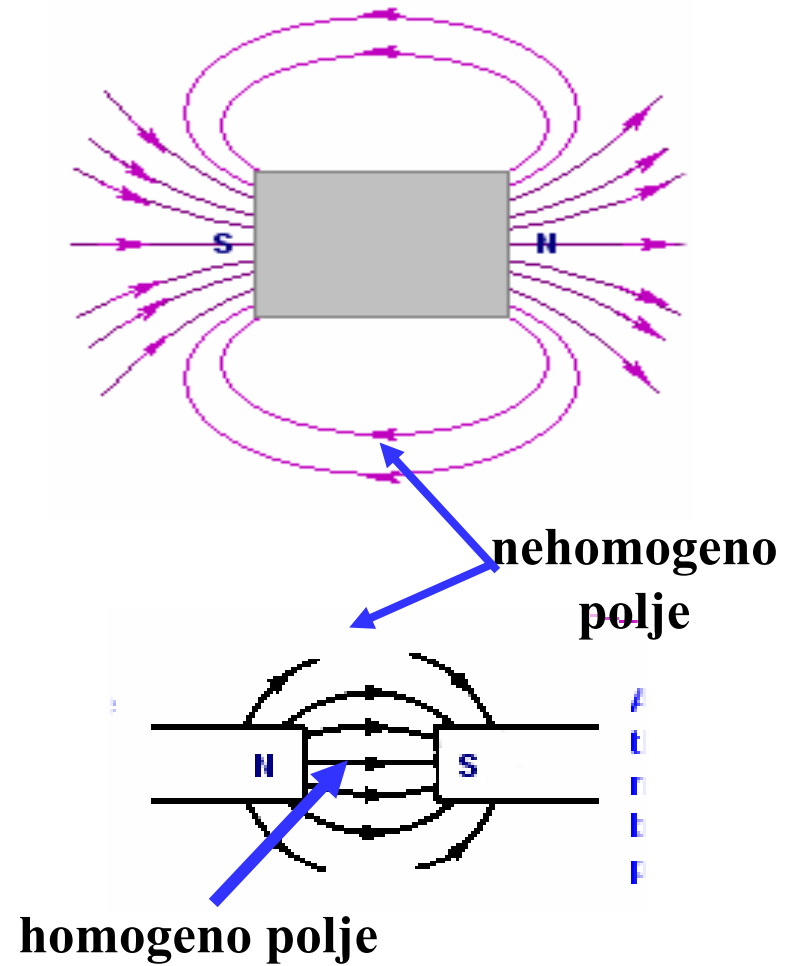


ELEKTROMAGNETIZAM

Elektromagnetizam je oblast elektrotehnike koja proučava električne i magnetne pojave u prirodi. ***Magnetizam*** je pojava kojom se opisuje privlačna ili odbojna sila između materijala. ***Magnetno polje*** okružuje provodnik sa strujom i njegov smer zavisi od smeru struje (pravilo desne zavojnice).

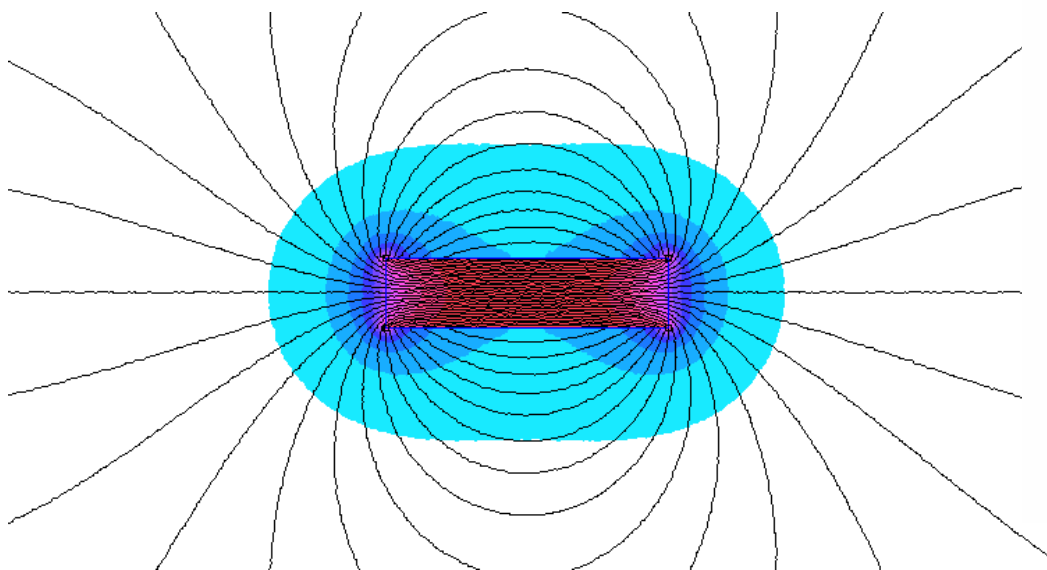
MAGNETNO POLJE

- Može biti konstantno ili promenljivo.
Konstantno polje je polje magneta.
- Promenljivo polje** je polje oko provodnika sa promenljivom strujom.
- Može biti **homogeno** ili **nehomogeno**.
- Magnetne linije sile su zatvorene i ne seku se.

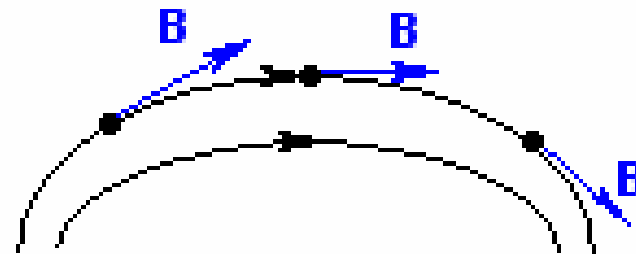


MAGNETNA INDUKCIJA

- **Vektor magnetne indukcije** $\vec{B}$ je jedna od najvažnijih veličina kojom se opisuje magnetno polje. **Magnetne linije** ili **linije magnetne indukcije** su zamišljene linije kojima se vizuelno prikazuje magnetno polje, i koje imaju osobinu da im se tangenta u svakoj tački poklapa sa vektorom indukcije.
- Jedinica magnetne indukcije je - 1 T (tesla).



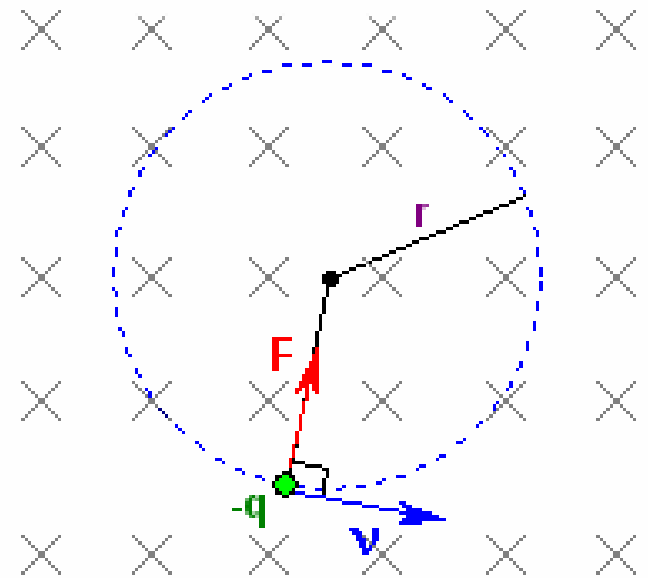
Nehomogeno magnetno polje



LORENCOVA SILA

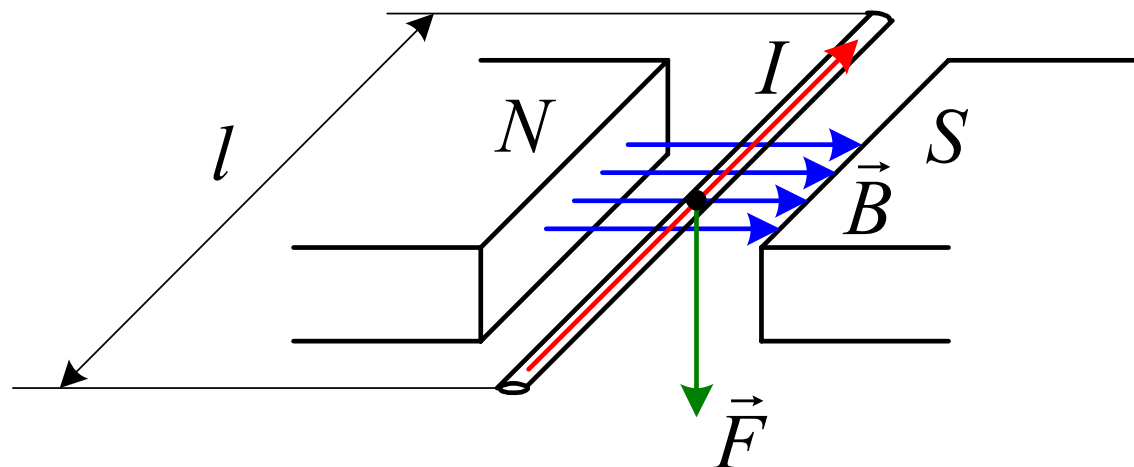
- Sila kojom magnetno polje deluje na naelektrisanu česticu je proporcionalna naelektrisanju q , brzini kretanja naelektrisanja v , i jačini magnetnog polja B
 - v , B , F su vektori
 - Mi treba da pomnožimo vektor sa vektorom i dobijemo vektor, a to je:
vektorski proizvod
- $F = qv \times B$ (Lorencova sila)
- $\|F\| = qvB \sin\theta$, gde je θ ugao između vektora v i B

$\vec{B}$ je usmereno ka papiru



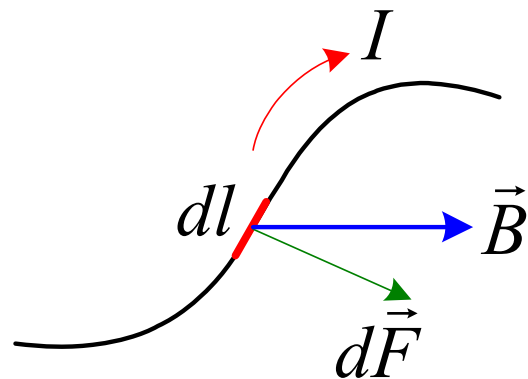
ELEKTROMAGNETNA (AMPEROVA)

SILA



$$\vec{F} = I\vec{l} \times \vec{B}$$

a)



b)

Intenzitet vektora $\vec{F}$ je $F = IlB \sin(\vec{l}, \vec{B})$

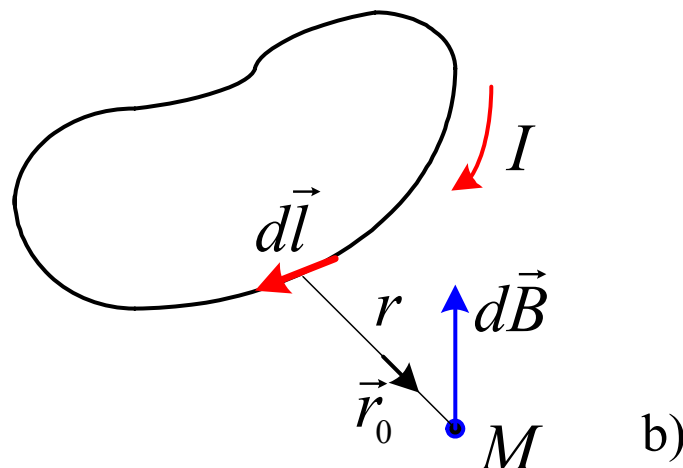
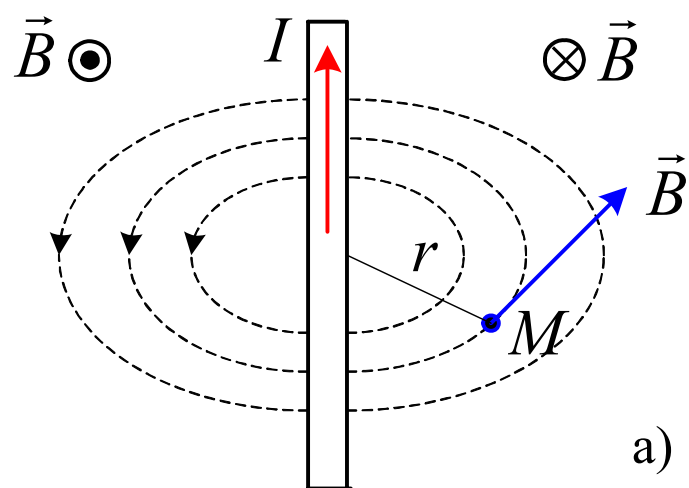
Pravac je normalan na ravan koju obrazuju vektori $\vec{l}$ i $\vec{B}$

Smer se određuje po pravilu desne zavojnice, prevodeći $\vec{l}$ u $\vec{B}$ najkraćim putem

$$F = IlB \quad \text{- sl. a)}$$

$$\vec{F} = \int_l d\vec{F} = I \int_l d\vec{l} \times \vec{B} \quad \text{- za krivolinijski provodnik, sl. b)}$$

BIO-SAVAROV ZAKON



Intenzitet magnetne indukcije u nekoj tački polja oko dugog pravolinijskog provodnika srazmeran je jačini struje, a obrnuto srazmeran rastojanju od provodnika. **Pravac** vektora magnetne indukcije se poklapa sa tangentom na magnetnu liniju u toj tački, a **smer** se određuje po pravilu desne zavojnice u odnosu na smer struje u provodniku, sl. a).

$$B = k \frac{I}{r}$$

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

$$\vec{B} = \int_C d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_C \frac{I d\vec{l} \times \vec{r}_0}{r^2} \quad - \text{ Laplasov zakon, sl. b)}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}} \quad - \text{ magnetna permeabilnost vakuum}$$

SOLENOID (KALEM, ZAVOJNICA)

- Kod solenoida je, pored magnetne indukcije, važna još i **jačina magnetnog polja** koja se obeležava slovom H . Obrazac za jačinu polja kod solenoida dat je u sledećem obliku:

$$H = \frac{NI}{l} \text{ - gde je } N \text{ broj namotaja solenoida}$$

$$B = \mu \cdot H = \mu_0 \mu_r H = \mu_0 \mu_r \frac{NI}{l} = \mu_0 \mu_r n I,$$

$$n = N/l \text{ - broj namotaja po jedinici dužine kalema}$$

$$\mu = \mu_0 \mu_r \text{ - apsolutna magnetna permeabilnost sredine}$$

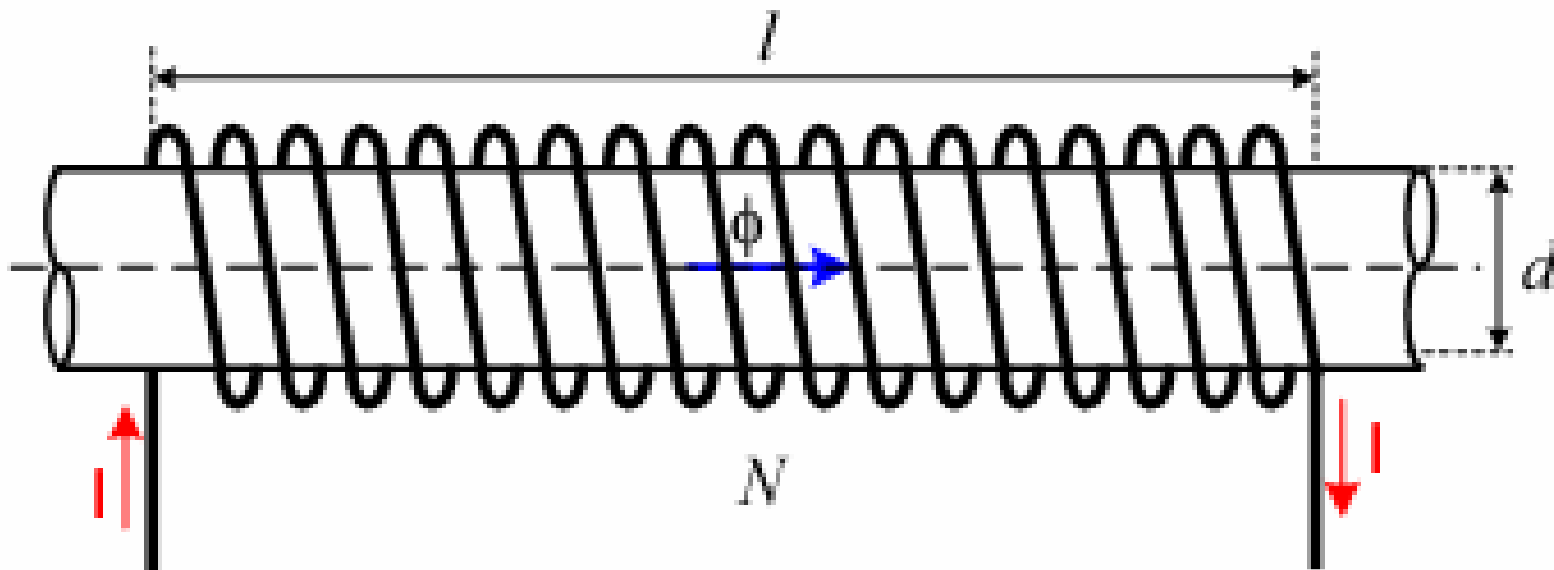
- Jedinica za jačinu magnetnog polja u SI - sistemu je **A/m**.
- Smer vektora magnetne indukcije kod solenoida se određuje pravilom desne ruke. Naime, *solenoid se obuhvati desnom rukom tako da savijeni prsti pokazuju smer struje, a smer magnetne indukcije je prema vrhu palca!*

SOLENOID (KALEM, ZAVOJNICA)

- Izgled solenoida sa jezgrom je dat na slici dole.
- **Induktivnost kalema** (kod samoindukcije) jednaka je:

$$L = \frac{\mu_r \mu_0 N^2 S}{l} - \text{gde je } S \text{ poprečni presek kalema,}$$

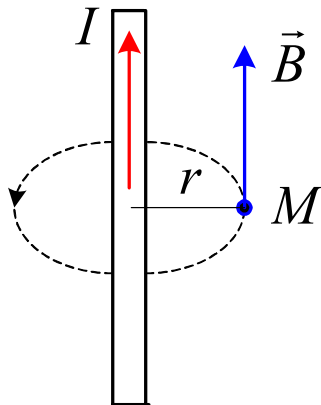
a μ_r – relativna magnetna permeabilnost sredine



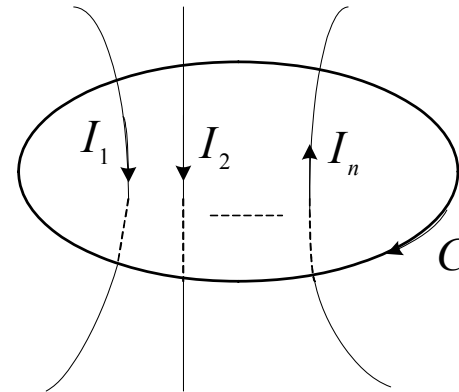
AMPEROV ZAKON

$\oint_C \vec{B} d\vec{l}$ - cirkulacija vektora magnetne indukcije duž zatvorene konture

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

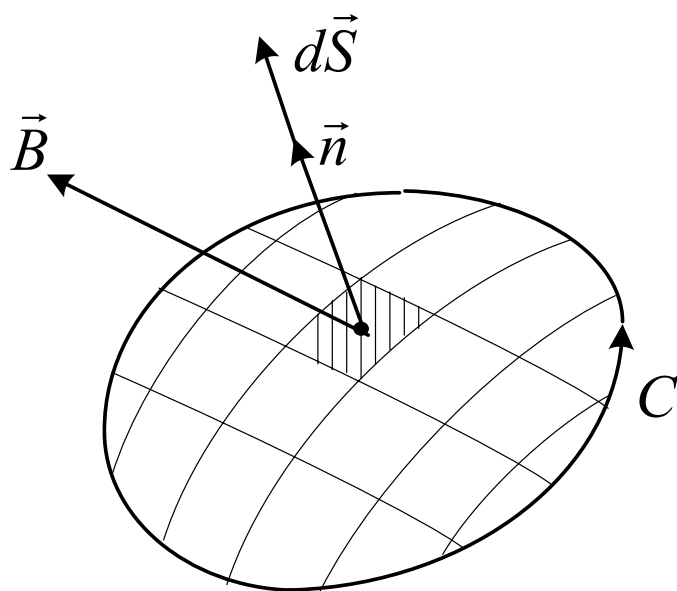


$$\oint_C \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 \sum_{k=1}^n I$$



Cirkulacija vektora magnetne indukcije duž proizvoljne zatvorene konture C u vakuumu jednaka je proizvodu magnetne permeabilnosti vakuuma i algebarskog zbira struja obuhvaćenih tom konturom.

MAGNETNI FLUKS



$$d\vec{S} = dS \cdot \vec{n} \quad \text{PDZ u odnosu na smer } C$$

Elementarni magnetni fluks:

$$d\phi = \vec{B}d\vec{S} = BdS \cos(\vec{B}, d\vec{S})$$

Magnetni fluks kroz površinu S :

$$\phi = \int_S \vec{B}d\vec{S} = BdS \cos(\vec{B}, d\vec{S})$$

Kada je površina ravna i polje homogeno:

$$\phi = \vec{B}\vec{S} = BS \cos(\vec{B}, \vec{S}) = BS$$

$$\phi_u = B_u S_u = \text{veber} = \text{T} \cdot \text{m}^2 = \text{Wb}$$

Zakon o konzervaciji magnetnog fluksa:

$$\oint_S \vec{B}d\vec{S} = 0$$

Fluks vektora magnetne indukcije kroz ma koju zatvorenu površinu jednak je nuli, tj. polje $\vec{B}$ vektora je bezizvorno.

MAGNETNO POLJE U MATERIJALNOJ SREDINI

Namagnećenost materije se objašnjava postojanjem *magnetnih momenata* u atomima i molekulima materije. Elektroni u atomima se kreću po orbiti i oko sopstvene ose (spin). Kretanje po orbiti je ekvivalentno elementarnoj strujnoj konturi, kojoj odgovara magnetni moment $|\vec{m}| = IS$.

Deo materije se može zameniti velikim brojem elementarnih strujnih kontura koje se nalaze u vakuumu, tzv. *Amperovim mikro strujama*. Namagnećenost materije se karakteriše *vektorom magnetizacije*:

$$\vec{M} = \frac{\sum \vec{m}}{\Delta V} \quad \begin{array}{l} \text{- vektorski zbir magnetnih momenata svih Amperovih struja} \\ \text{- element zapremine} \end{array}$$

Kada se materija unese u strano magnetno polje, usled elektromagnetnih sila elementarne strujne konture nastoje da se postave tako da im se normale poklope sa smerom spoljašnjeg magnetnog polja.

Vektor jačine magnetnog polja: Uopšten Amperov zakon:

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M} \quad H_u = \frac{A}{m}$$

$$\oint_C \vec{H} d\vec{l} = \sum I$$

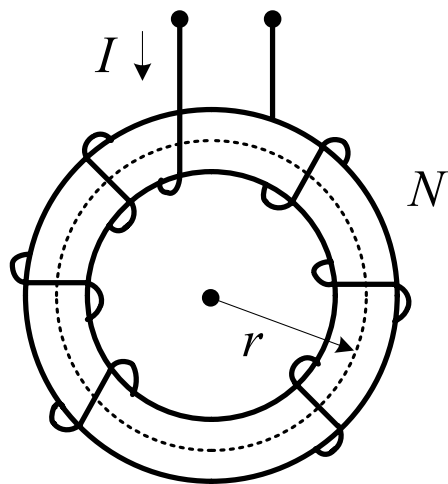
$$\begin{aligned} \vec{B} &= \mu \vec{H} \\ \mu &= \mu_0 \mu_r \end{aligned}$$

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \quad - \text{ relativna permeabilnost materijala}$$

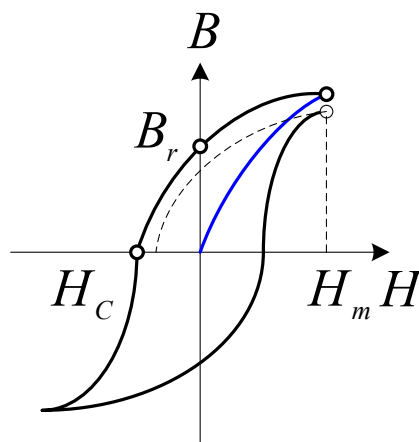
Prema vrednosti relativne permeabilnosti materijali se dele na:

1. dijamagnetici $\mu_r < 1 \quad B = \mu H$
2. paramagnetici $\mu_r > 1 \quad B = \mu H$
3. feromagnetici $\mu_r \gg 1$

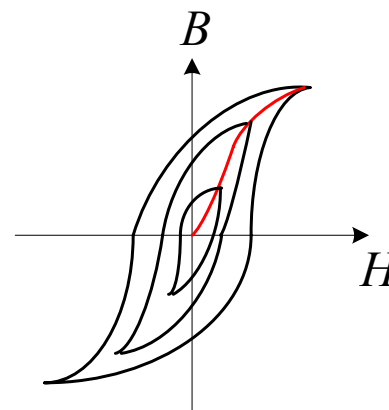
Feromagnetici imaju jako izražene magnetne osobine, zavisnost između magnetne indukcije i jačine polja nije linearna (gvožđe, nikal, kobalt...).



$$H = \frac{NI}{2\pi r}$$



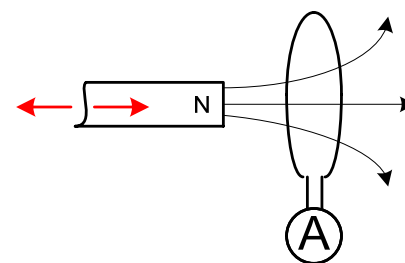
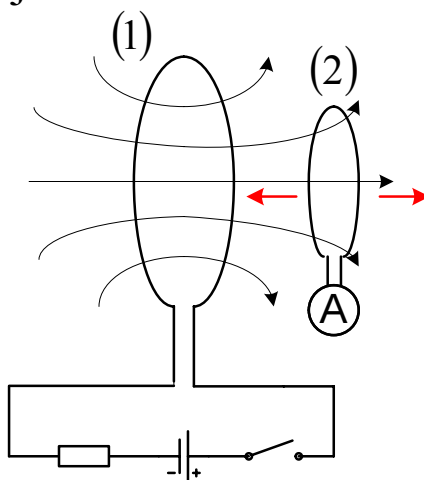
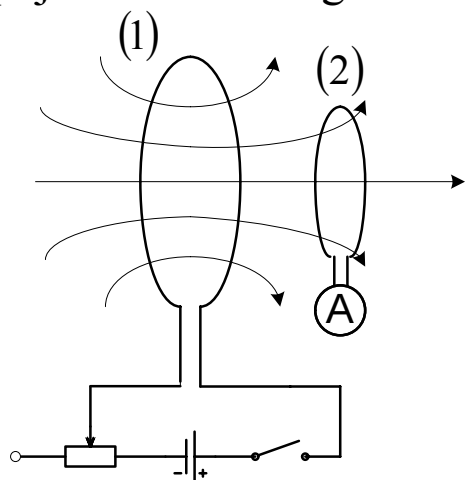
Kriva magnećenja ili
ciklus histerezisa



- prvobitna kriva magnećenja
- osnovna kriva magnećenja

FARADEJEV ZAKON

Jedna od najvažnijih osobina vremenski promenljivih polja je **elektromagnetna indukcija**. Do pojave elektromagnetne indukcije dolazi u sledećim slučajevima:



$$e = - \frac{d\phi}{dt}$$

Indukovana elektromotorna sila u zatvorenoj konturi srazmerna je izvodu fluksa po vremenu, tj. brzini promene fluksa kroz tu konturu.

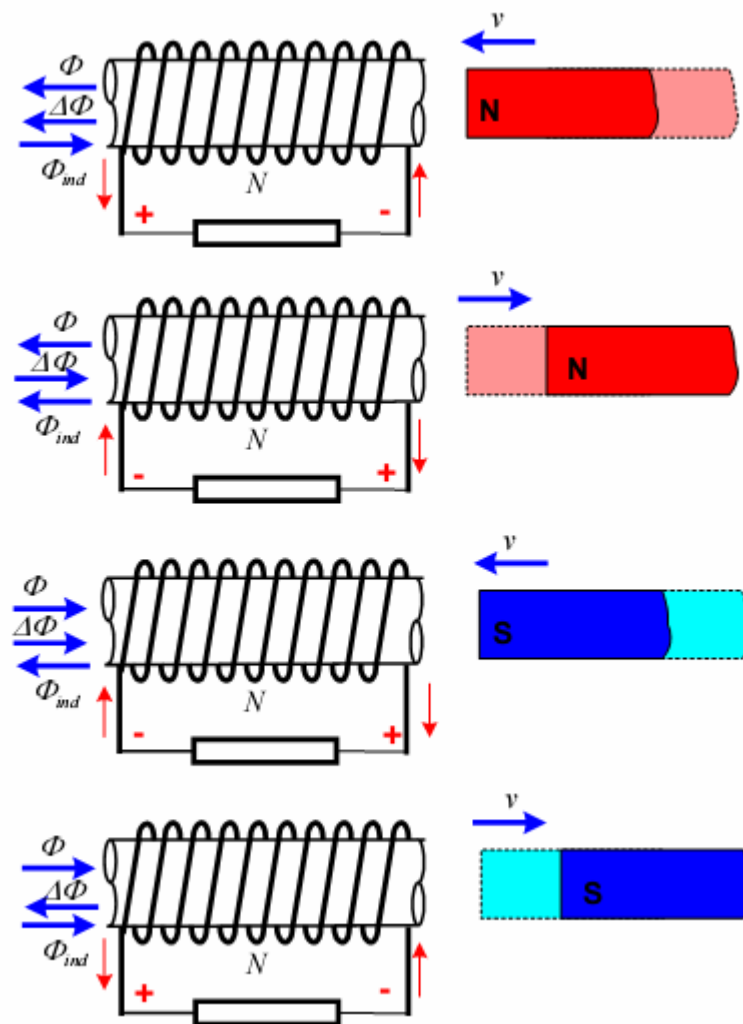
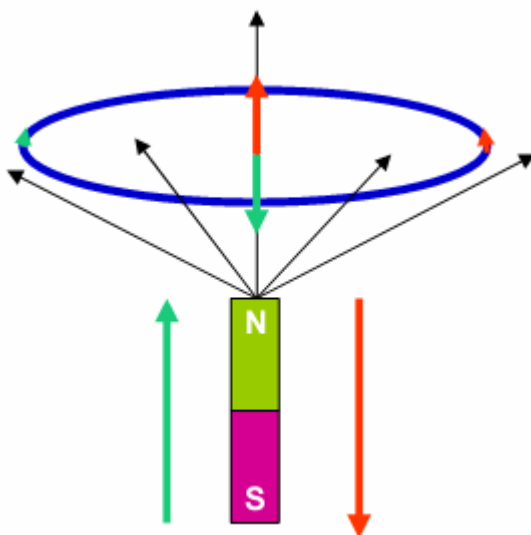
Smer indukovanе ems određuje se po pravilu desne zavojnice u odnosu na smer obilaženja po konturi ili prema **Lencovom zakonu**: *indukovana ems ima takav smer u kolu da svojim dejstvom teži da spreči uzrok svog nastajanja - sledi prikaz!*

Ako je provodnik prav i kreće se konstantnom brzinom kroz homogeno polje:

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

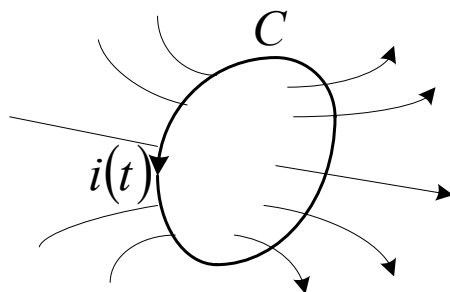
LENCOVO PRAVILO

- Kontura reaguje na promenu magnetnog polja stvaranjem sopstvenog magnetnog polja (indukovane struje)
- Ako se spoljašnji fluks uvećava, indukovani fluks teži da to povećanje anulira (odmaže spoljašnjem polju)
- Ako se spoljašnji fluks umanjuje, indukovani fluks teži da to umanjeње anulira (pomaže spoljašnjem polju)



SAMOINDUKCIJA I MEĐUSOBNA INDUKCIJA

Samoindukcija



$$e_s = -\frac{d\phi}{dt}$$

$$\phi = Li \quad L = \frac{\phi}{i}$$

$$e_s = -L \frac{di}{dt}$$

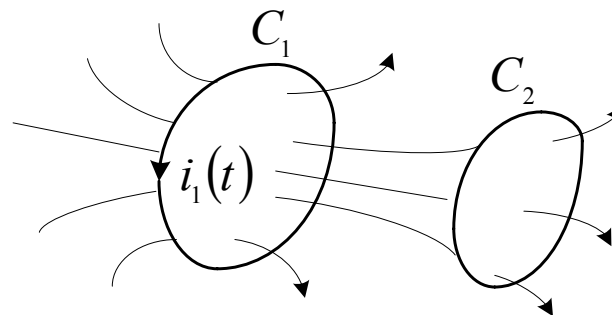
Induktivnost:

$$L_u = \text{henri} = \text{H}$$



L - koef. samoindukcije

Međusobna indukcija



$$\phi_{12} = L_{12}i_1 \quad e_{m12} = -\frac{d\phi_{12}}{dt} = -L_{12} \frac{di_1}{dt}$$

$$\phi_{21} = L_{21}i_2 \quad e_{m21} = -\frac{d\phi_{21}}{dt} = -L_{21} \frac{di_2}{dt}$$

$$L_{12} = L_{21} = \frac{\phi_{12}}{i_1} = \frac{\phi_{21}}{i_2}$$

L_{12}, L_{21} - koef. međusobne indukcije