



Stacionarno magnetsko polje

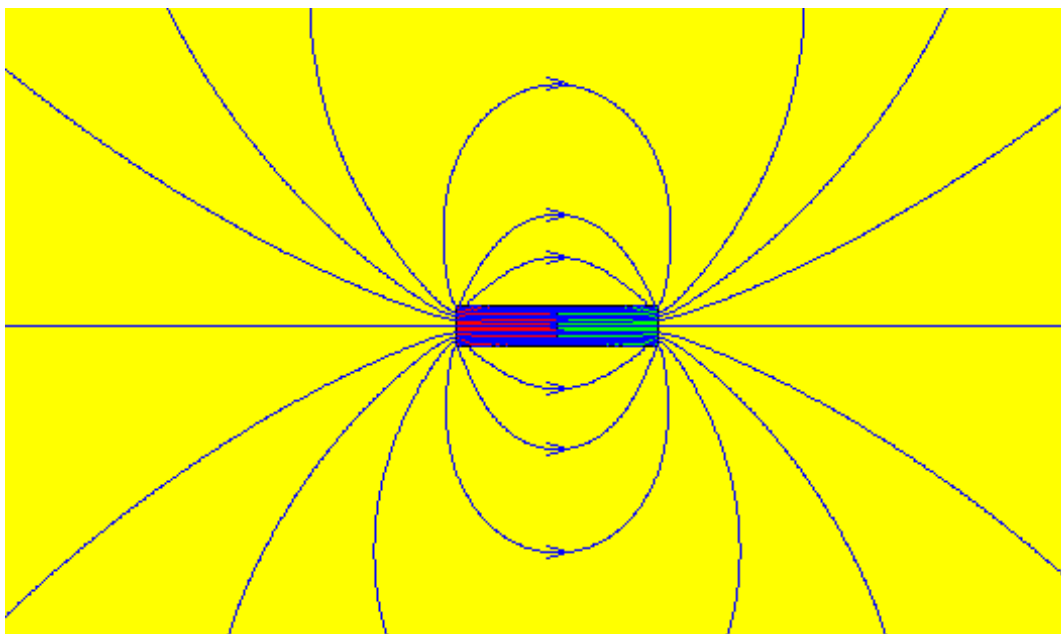
Magnetsko polje nepromenljivih struja

Magnetska sila i magnetsko polje

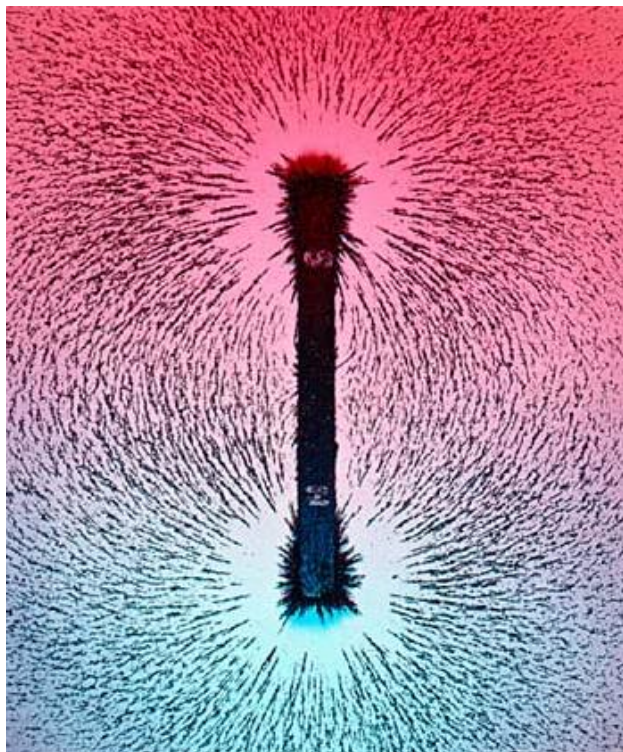
■ Magnet

- ☐ pojam magneta
- ☐ postojanje dva pola koja se ne mogu razdvojiti
- ☐ magnet je dipol
- ☐ kompas

■ Magnetsko polje stalnog magneta

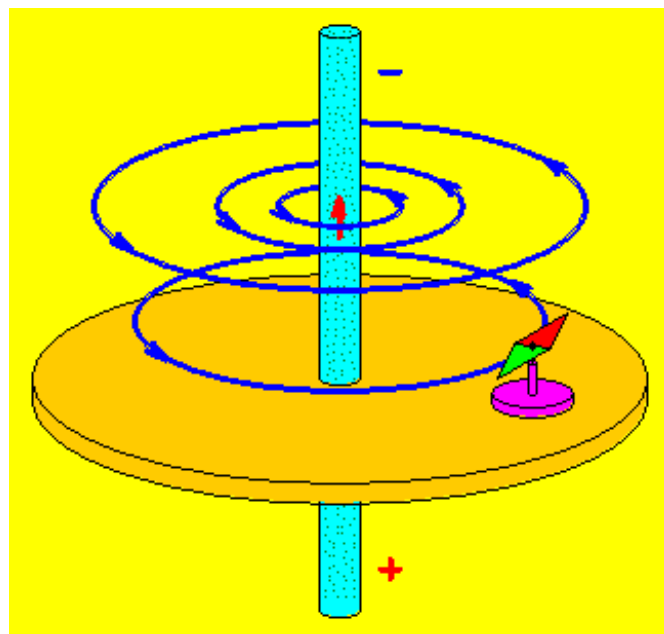


Magnetsko polje magneta



Magnetsko polje pravolinijskog provodnika

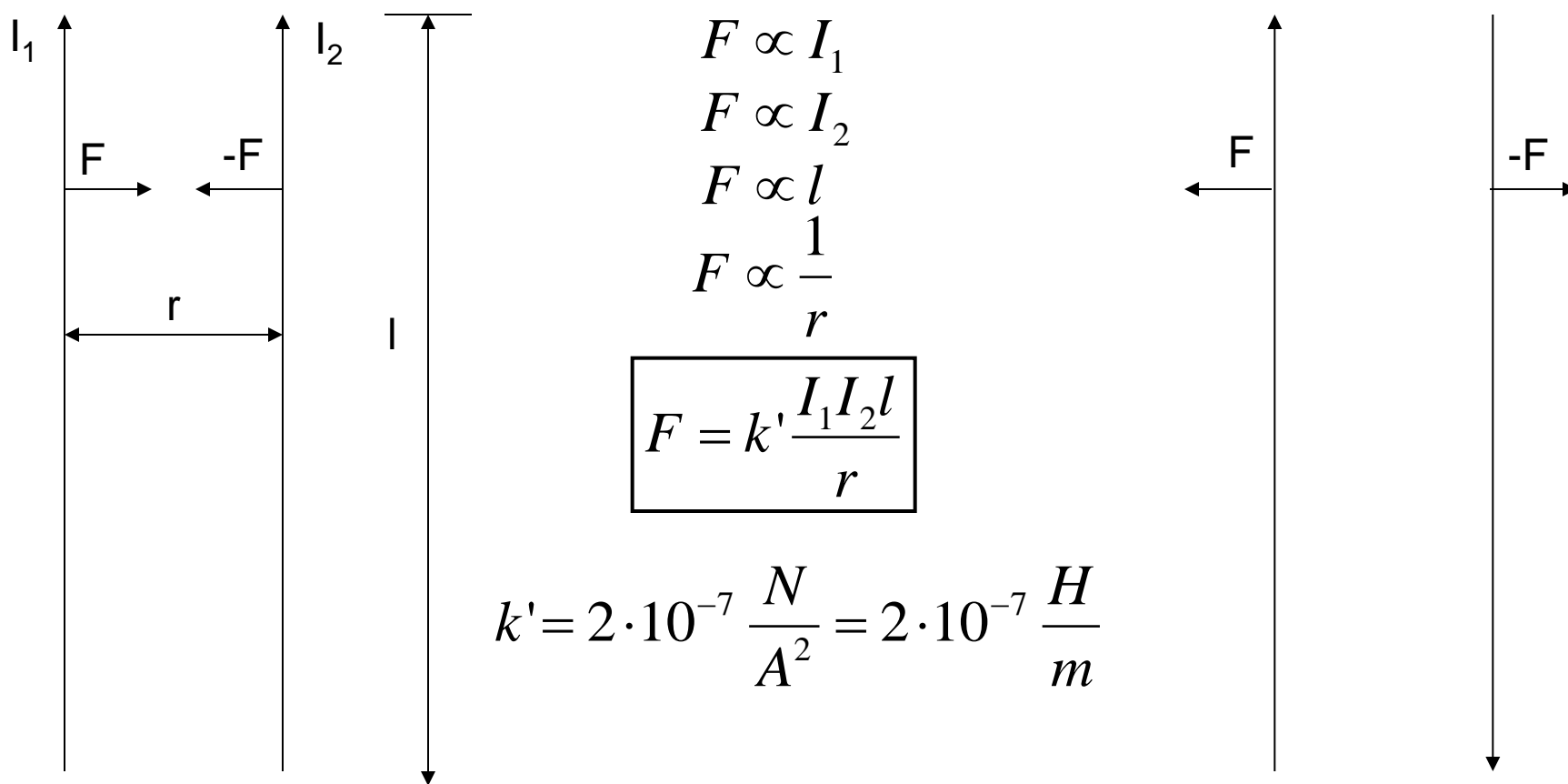
- Kompas reaguje u prisustvu provodnika !!! (Ersted)
- Električna stuja je izvor magnetskog polja !!!



- Linije sila magnetskog polja su **zatvorene** linije !!!
- Ne postoji početna i završna tačka linije sila magnetskog polja

Magnetska sila između provodnika

- Ako je provodnik sa strujom izvor magnetskog polja, onda drugi provodnik treba da deluje na njega (Amper)



Indukcija magnetskog polja

- Fizička veličina koja opisuje silu kojom deluje magnetsko polje (Amper)
- Igra ulogu sličnu jačini električnog polja
- Izvor magnetskog polja je $(I \cdot l)$
- Magnetsko polje deluje na $(I \cdot l)$
- $(I \cdot l)$ igra ulogu “magnetskog naboja”

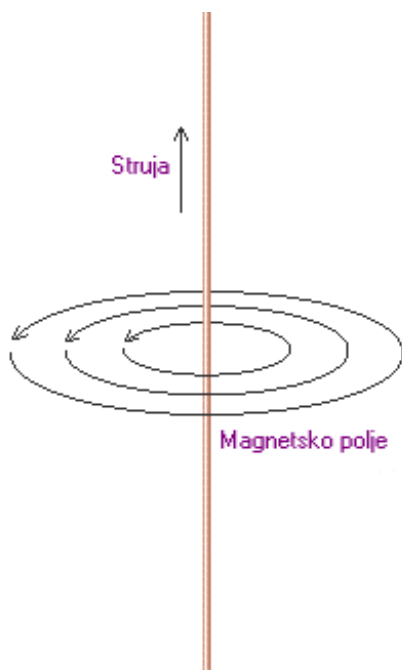
$$E = \frac{F_{el}}{Q_{probno}}$$

$$B = \frac{F_{mag}}{(I \cdot l)_{probno}}$$

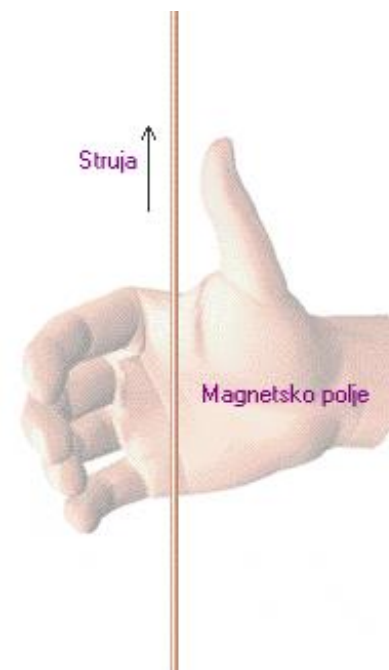
$$[B] = \frac{N}{Am} = T \quad (Tesla)$$

Indukcija magnetskog polja pravolinijskog provodnika

- Eksperimentalno odredio Amper



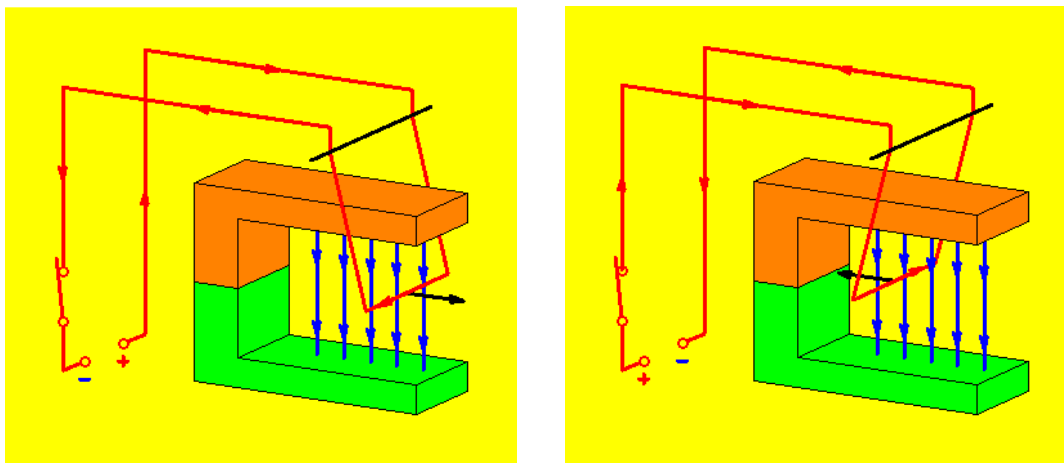
$$B = k' \frac{I}{r}$$



Elektromagnetska sila

- Na provodnik, kao na izvor magnetskog polja, mora da deluje bilo kakvo drugo magnetsko polje (Amper)
- nazvana elektromagnetska, ustvari je ono što je do sada nazivano magnetska sila

$$F = (I \cdot l) \cdot B$$

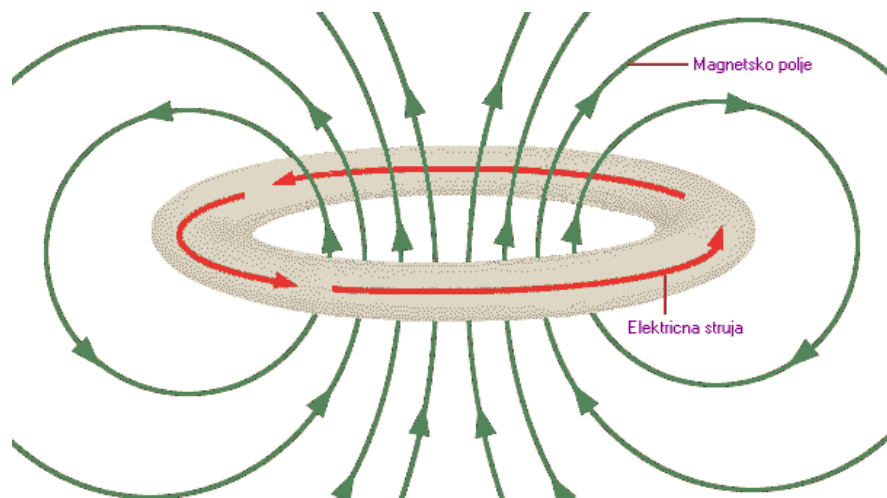


$$\vec{F} = (I \cdot \vec{l}) \times \vec{B}$$

- Elektromagnetska sila ne deluje na provodnik postavljen u pravcu magnetskog polja

Magnetsko polje strujne konture

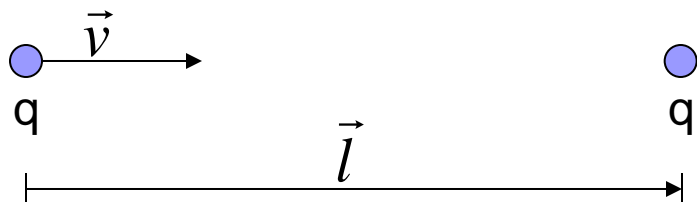
- Nijedno strujno kolo ne može da se predstavi pravolinijskim provodnikom
- Svako kolo je zatvorena strujna kontura
- Kružna strujna kontura



$$B = \pi k' \frac{I}{r} \quad (\text{na osi konture})$$

Lorencova sila

- Naelektrisana čestica koja se kreće je elementarna električna struja
- Magnetska sila koja deluje na naelektrisanu česticu se naziva Lorencova sila



$$\vec{F} = (I \cdot \vec{l}) \times \vec{B} = \left(\frac{q}{t} \cdot \vec{v} \cdot t\right) \times \vec{B} = (q \cdot \vec{v}) \times \vec{B}$$

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

- Naelektrisana čestica u kretanju je elementarni magnetski naboj
- Za magnetizam je (qv) ono što je za elektricitet q
- Magnetska sila ne ubrzava naelektrisanje i ne menja mu energiju
- Ne postoji magnetski potencijal

Konzervacija magnetskog fluksa

- Fluks magnetskog polja (kroz neku površinu)

$$\Phi_M = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

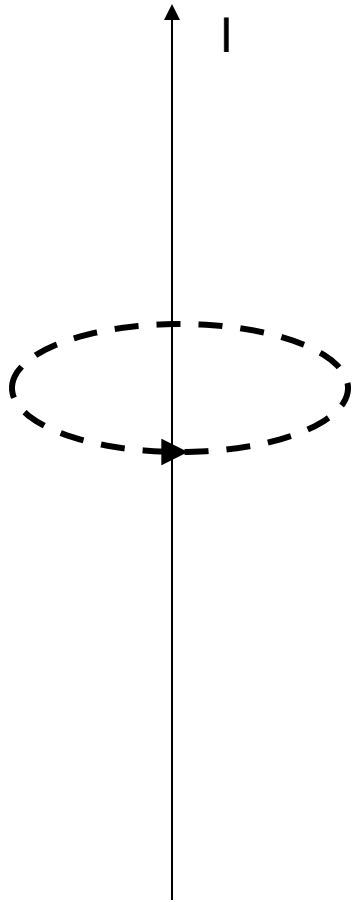
- Linije magnetskog polja su zatvorene linije, nemaju početak i kraj, svaka linija koja uđe i neku zatvorenu površinu, mora iz nje i da izađe

Ukupan fluks magnetskog polja
kroz bilo koju zatvorenu površinu
jednak je nuli

$$\Phi_M^{\text{zatvoreno}} = \oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

Cirkulacija magnetskog polja - Amperov zakon

- Linije magnetskog polja mogu da budu usaglašene sa nekom zatvorenom linijom

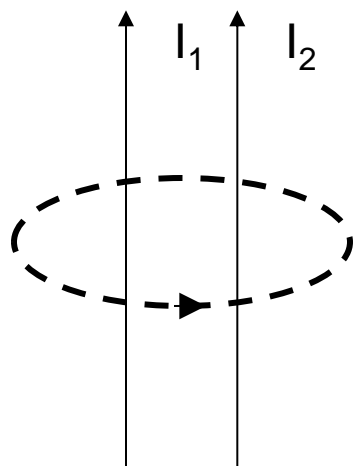


$$C_M = \oint_c \vec{B} \cdot d\vec{l} = Bl = \left(k' \cdot \frac{I}{r} \right) \cdot 2\pi r = 2\pi k' \cdot I = \mu_0 I$$

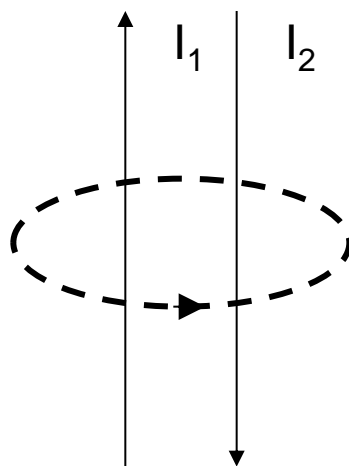
$$\boxed{\mu_0 = 2\pi k' = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{H}{m}}$$

μ_0 – magnetska propustljivost vakuumu

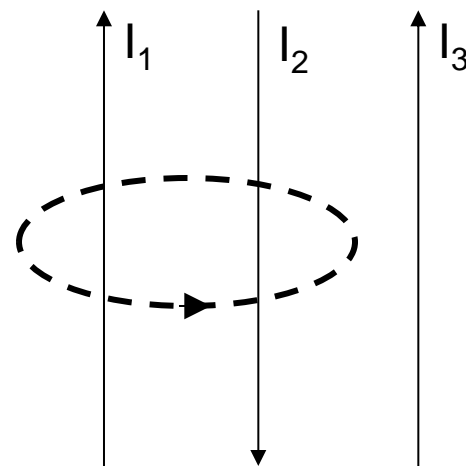
Cirkulacija magnetskog polja - Amperov zakon



$$C_M = \mu_0(I_1 + I_2)$$



$$C_M = \mu_0(I_1 - I_2)$$



$$C_M = \mu_0(I_1 - I_2)$$

$$C_M^{\text{zatvoreno}} = \oint_l \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \sum_c I$$

Magnetski materijali

- Dijamagnetici

- $B_{un} > 0,9999 B_{sp}$

- Paramagnetici

- $B_{un} < 1,0001 B_{sp}$

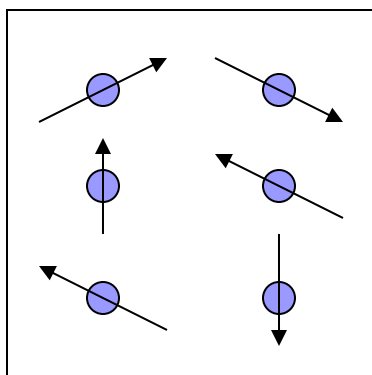
- Feromagnetici

- $B_{un} > 10000 B_{sp}$

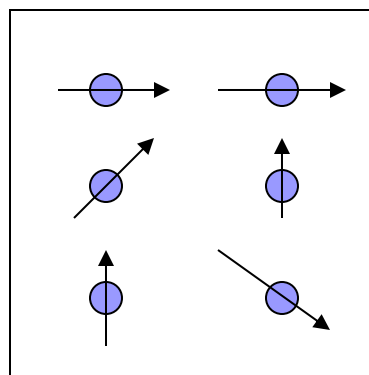
Feromagnetici

- odakle feromagnetizam?
- elektron u atomu je mala strujna kontura
- svaki elektron stvara magnetsko polje
- kod gotovo svih atoma, magnetska polja raznih elektrona se međusobno poništavaju (elektroni se kreću u suprotnim smerovima)
- samo kod nekih atoma (gvožđe, nikal, kobalt, ...), više elektrona se okreće na jednu stranu nego na drugu
- atomi tih elemenata su mali magneti

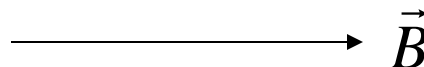
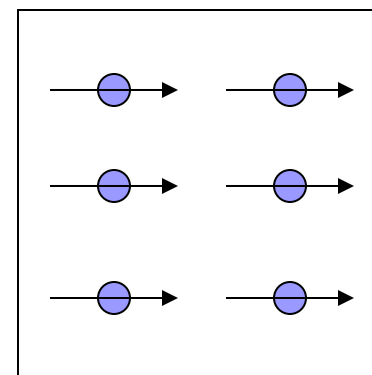
van mag. polja



u mag. polju



magnet



Feromagnetizam

$$\vec{B}_{uk} = \vec{B}_{sp} + \vec{B}_{un} = \vec{B}(magnet) + \vec{B}(struja)$$

$$\oint_c \vec{B}_{uk} \cdot d\vec{l} = \oint_c \vec{B}_{sp} \cdot d\vec{l} + \oint_c \vec{B}_{un} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \sum I + \oint_c \vec{B}_{un} \cdot d\vec{l}$$

$$\oint_c (\vec{B}_{uk} - \vec{B}_{un}) \cdot d\vec{l} = \mu_0 \sum_c I \Rightarrow \oint_c \frac{(\vec{B}_{uk} - \vec{B}_{un})}{\mu_0} \cdot d\vec{l} = \sum_c I \Rightarrow \oint_c \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum_c I$$

$$\vec{B}_{uk} = \vec{B}_{sp} + \vec{B}_{un} = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \vec{M} \quad \vec{B}_{sp} = \mu_0 \vec{H} \quad \vec{B}_{un} = \mu_0 \vec{M}$$

$$\vec{B}_{un} = \mu_0 \vec{M} = \chi \vec{H} \quad \chi - \text{magnetska susceptibilnost}$$

$$\vec{B}_{uk} = (\mu_0 + \chi) \vec{H} = \mu_0 \mu_r \vec{H} \quad \mu_r - \text{relativna magnetska propustljivost}$$

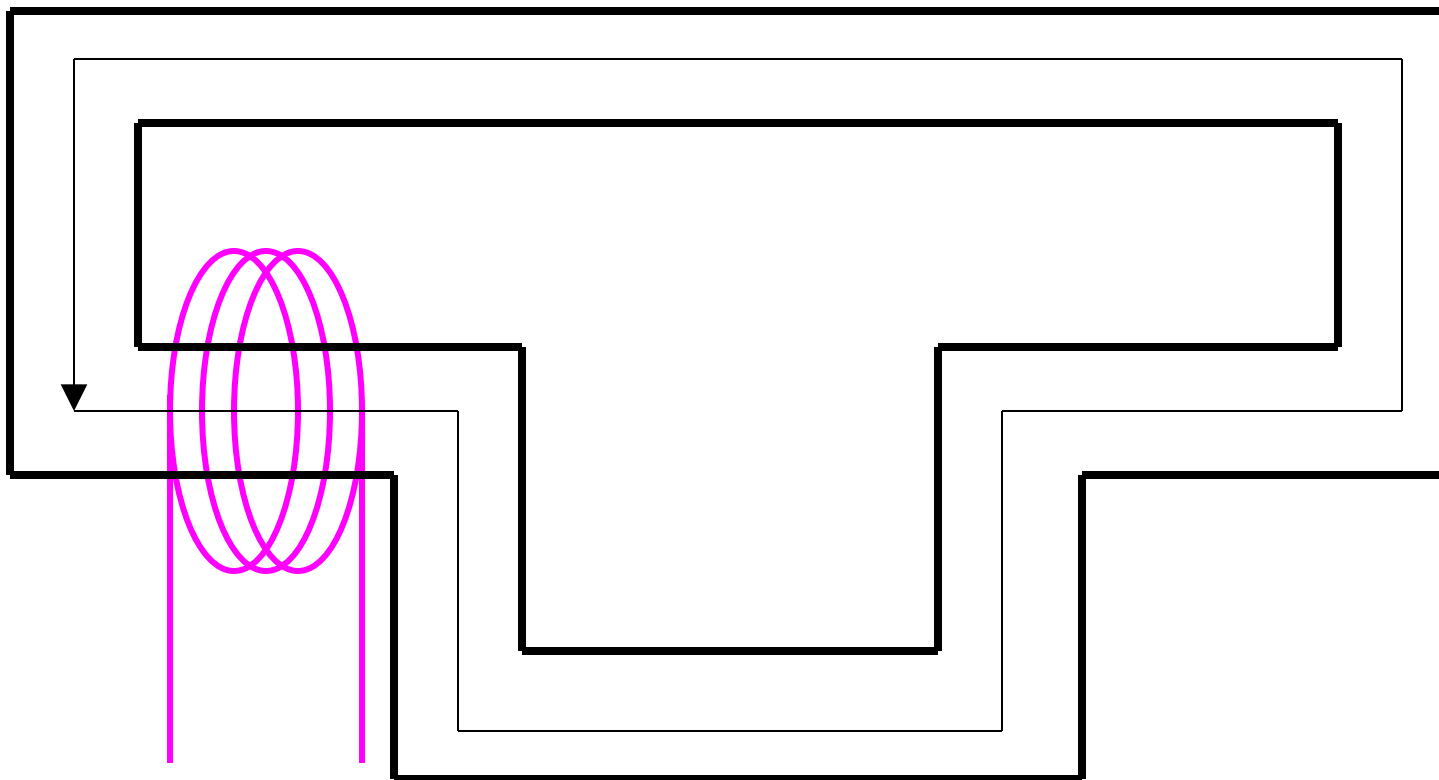
$$\vec{B}_{uk} = \mu_r \vec{B}_{sp} \quad \mu_r > 0,9999 \quad \text{dijamagnetici}$$

$$\mu_r < 1,0001 \quad \text{paramagnetici}$$

$$\mu_r > 10000 \quad \text{feromagnetici}$$

Feromagnetici

- magnetski provodnici



na svakih μ_r linija unutar feromagnetika treba nacrtati jednu liniju izvan feromagnetika

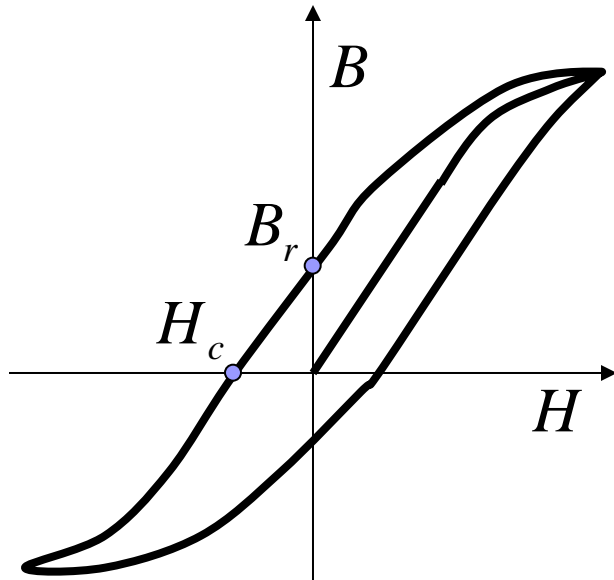
Feromagnetici

- Amperov zakon u magnetskim materijalima
- Generalisani Amperov zakon

$$C_M^{\text{zatvoreno}} = \oint_l \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum_c I$$

Feromagnetici

- jačina magnetskog polja H opisuje uticaj struja električnih provodnika
- magnetizacija M opisuje uticaj materijala -magneta
- indukcija magnetskog polja opisuje ukupne magnetske efekte
- namagnećivanje



B_r – remanentna magnetizacija

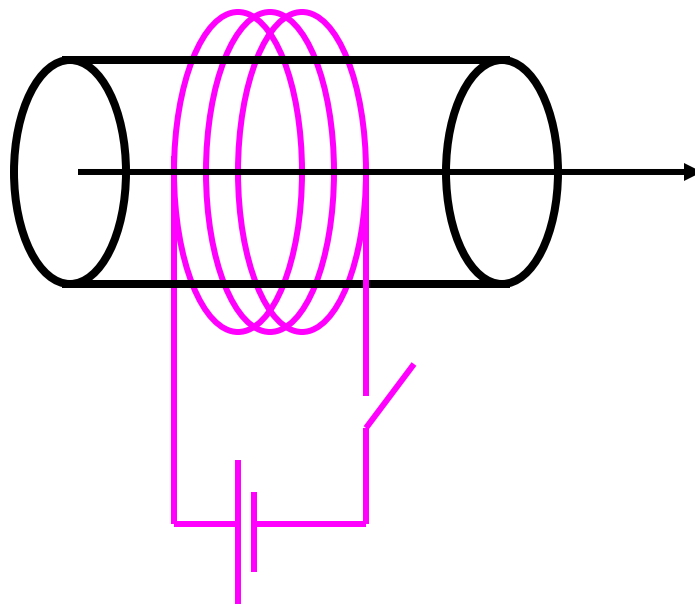
H_c – koercitivno polje

veliko B_r – tvrdi magnetski materijali (za magnete)

malo B_r – meki magnetski materijali (za elektromagnete)

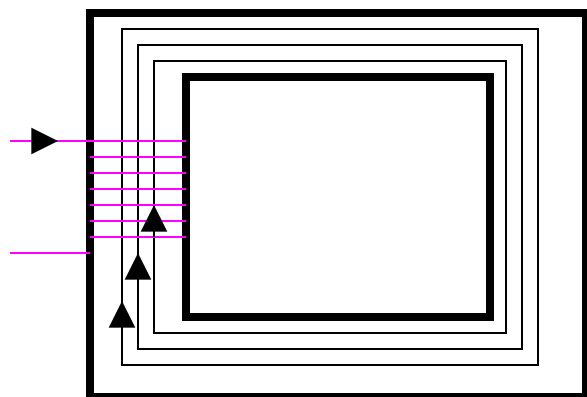
Elektromagneti

- magneti koji se uključuju i isključuju prema potrebi
- električna struja kao izvor magnetskog polja
- meki feromagnetik kao pojačavač polja

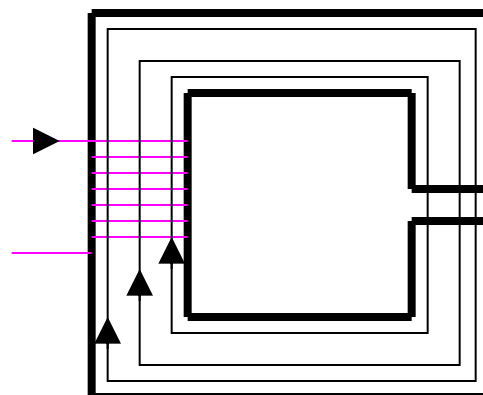


Magnetska kola

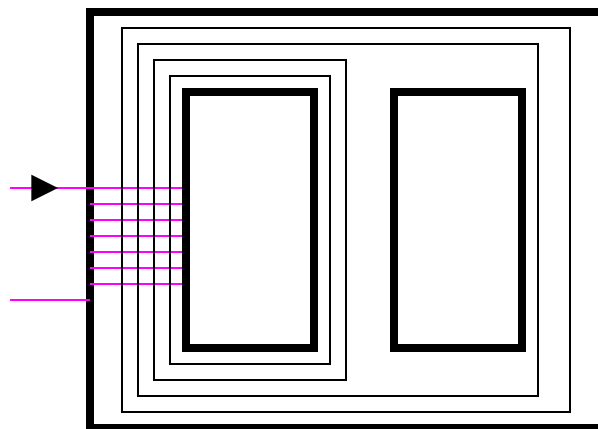
- Zatvorene feromagnetske strukture koje služe proizvodnji i prenosu magnetskog fluksa



prosto magnetsko kolo



magnetsko kolo sa procepom

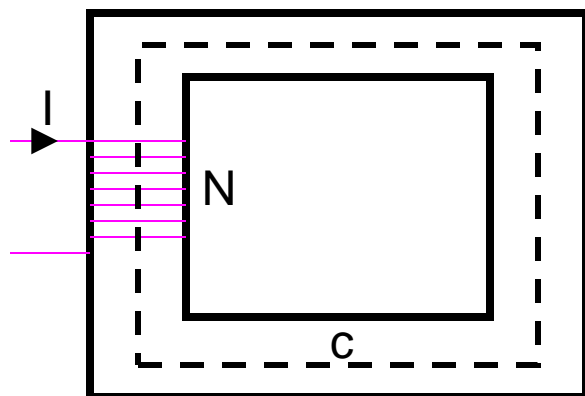


razgranato magnetsko kolo

Magnetska kola

■ Proračun magnetskih kola

- zadatak: izračunati fluksove magnetskih polja kroz grane kola
- oruđe: generalisani Amperov zakon
- Kirhofovi zakoni



$$\Phi = \int \vec{B} \cdot d\vec{S} \approx BS = \mu_0 \mu_r HS$$

$$\oint_c \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum_c I$$

$$\oint_l \vec{H} \cdot d\vec{l} \approx H \cdot l_{sr} = NI \Rightarrow H = \frac{NI}{l_{sr}}$$

$$\Phi = \mu_0 \mu_r HS = \mu_0 \mu_r \frac{NI}{l_{sr}} S = \frac{E_M}{R_M}$$

$$\Phi = \frac{E_M}{R_M} \quad E_M = NI \quad R_M = \rho_M \frac{l_{sr}}{S} \quad \rho_M = \frac{1}{\mu_0 \mu_r}$$

Kap Hopkinsonov zakon (Omov zakon za magnetsko kolo)

Poređenje elektrostatičkog i stacionarnog magnetskog polja

Osobina	Elektrostatičko polje	Stacionarno magnetsko polje
Oblik linija	otvorene	zatvorene
Fluks kroz zatvorenu površinu	Proporcionalan količini izvora polja u unutrašnjosti	0
Cirkulacija po zatvorenoj liniji	0	Proporcionalna količini izvora u unutrašnjosti
Potencijal	Ima	Nema
Uticaj supstance	Slabi	Pojačava
Tip polja	Izvorno	Vrtložno