

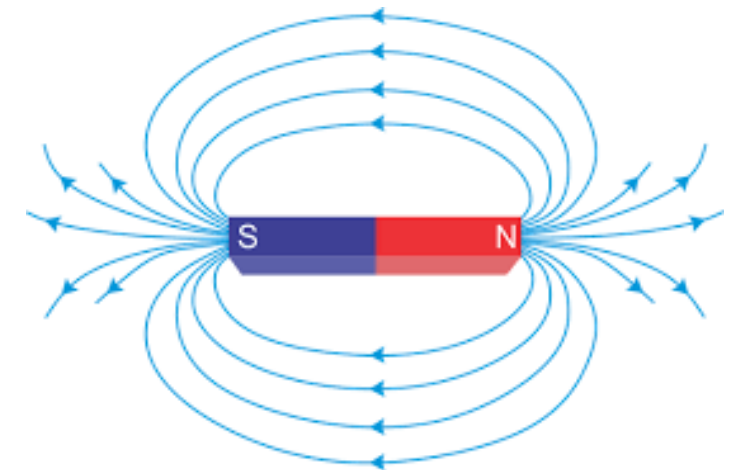
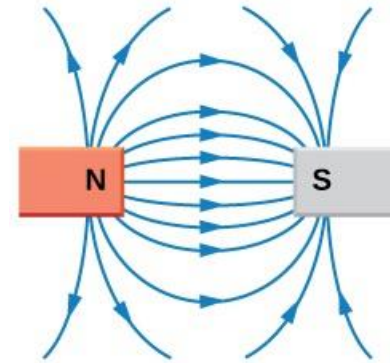
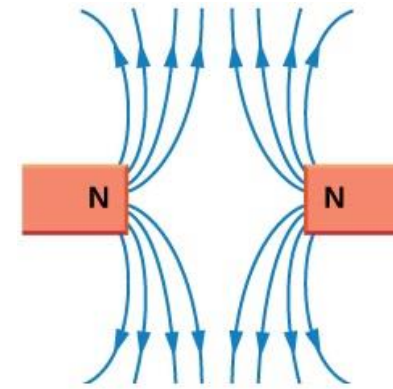
Magnetizam

što je i odakle dolazi

Eugen Rožić
ZTŠ Rudolf Perešin

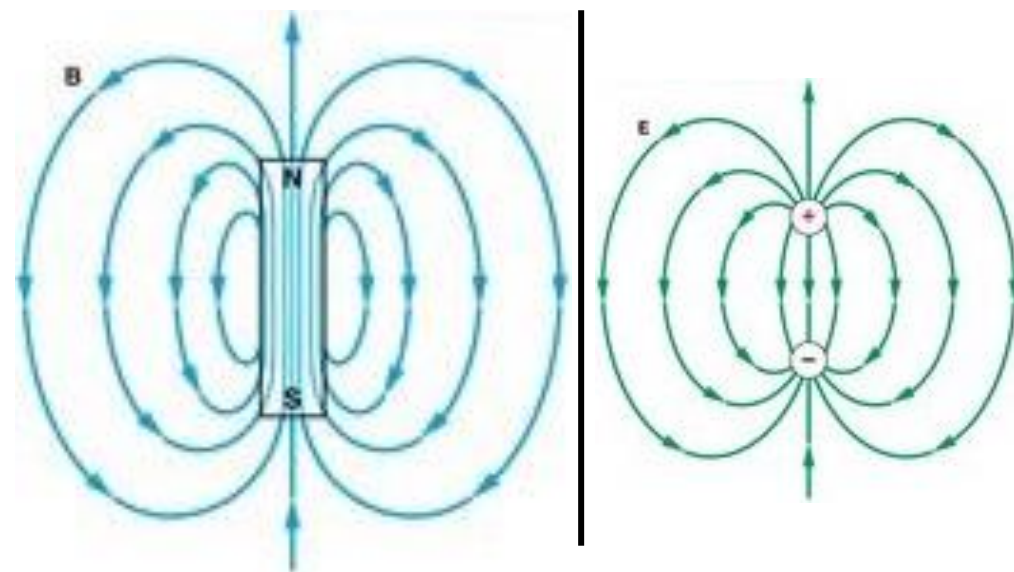
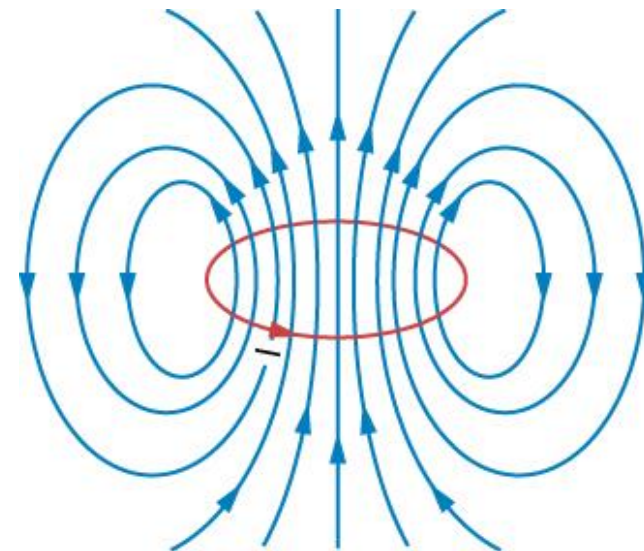
Što je magnetizam?

- Magnetizam je **SILA, ista kao i elektricitet!**
 - Umjesto „+” i „-” naboja postoje „N” i „S” polovi...
 - ... koji stvaraju magnetsko polje **B** ...
 - ... koje se prikazuje na isti način (silnice – smjer, gustoća)
 - Mjerna jedinica za magnetsko polje **B**:
 - Tesla ($T = N / A \cdot m$) – jako velika jedinica!
 - Gauss ($1 G = 10^{-4} T = 100 \mu T$) – puno praktičnije
- „N” i „S” polovi **UVIJEK** dolaze u paru → **magneti**
 - Ne postoji elementarna magnetska čestica!
 - Ne postoji komad tvari sa više „N” nego „S”
 - Ništa ne može biti magnetski „nabijeno” !!
 - Kao npr. jedna ploča kondenzatora



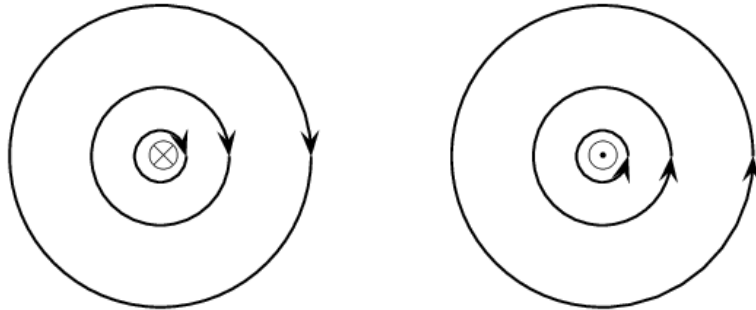
Odakle dolazi magnetizam?

- Ako nema magnetskih čestica, odakle onda magnetizam? Što tvori magnete?
- Odgovor: **STRUJA!** Odnosno, el. naboji u gibanju.
 - To je posebna i vrlo duboka veza elektriciteta i magnetizma!
- Odakle onda prirodni magneti? Gdje je tu „struja“??
 - Odgovor: **U atomima** (elektroni se „gibaju“ oko jezgre)
 - Komplicirano je to, vratit ćemo se kasnije na magnetizam u materijalima...
- Posljedice ove činjenice:
 - **Silnice magnetskog polja su uvijek ZATVORENE!**
 - Prepolavljanjem magneta dobiju se samo dva manja

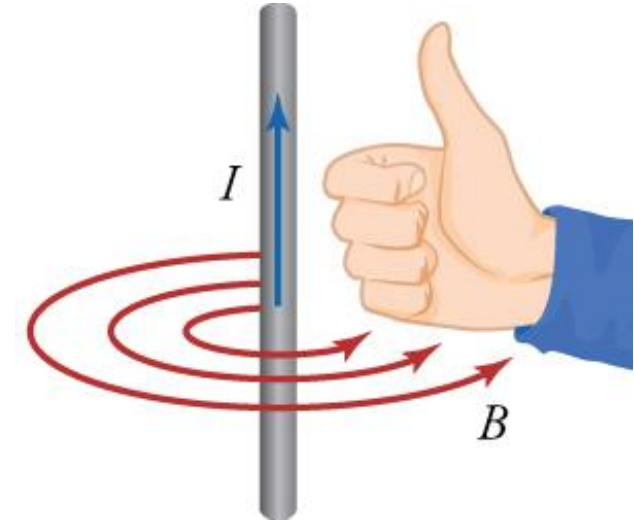


Magnetsko polje struje

- Struja stvara magnetsko polje koje **kruži** oko nje
 - **Pravilo desne ruke #1** - ako je palac u smjeru struje, prsti pokazuju smjer kruženja magnetskog polja
 - Polje je najjače uz sam vodič i opada s udaljenosti ($B = \mu \frac{I}{2\pi d}$)

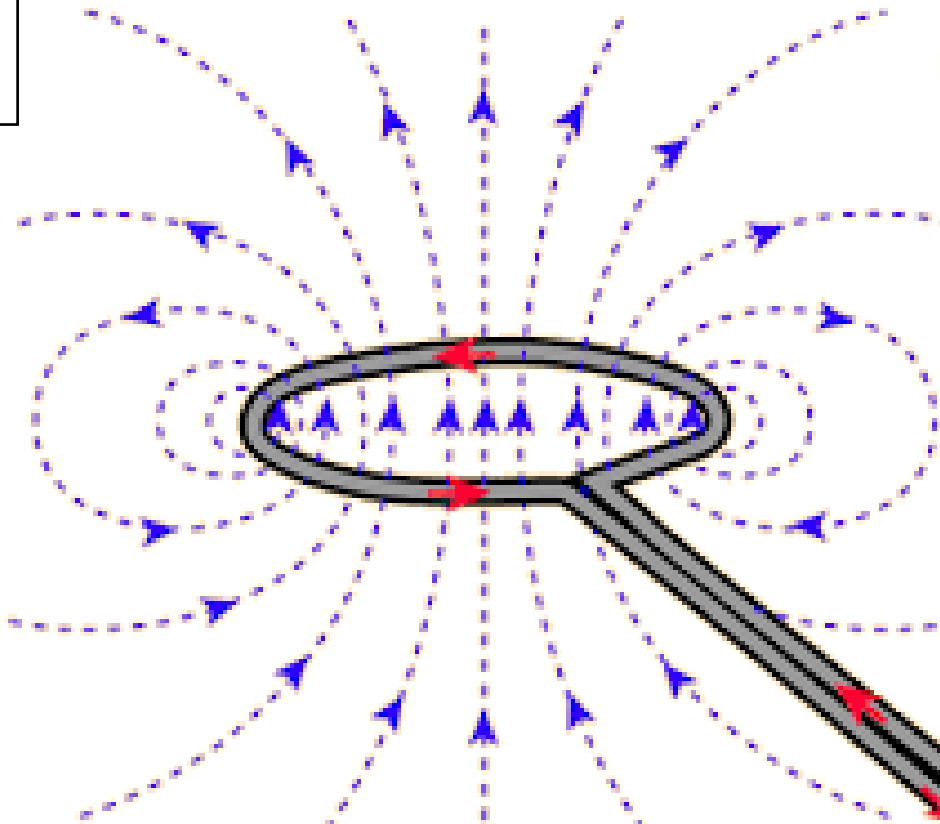


- *Notacija: $\otimes$ označava smjer „u papir“, a $\odot$ „iz papira“*
 - *Možete zamisliti kao strijelu koja ide prema vama ili od vas*
- Magnetska polja svih „oblika“ vodiča, odnosno konfiguracija struja mogu se dobiti (izračunati) gledajući ih kao puno kratkih komadića vodiča naljepljenih jedan na drugi



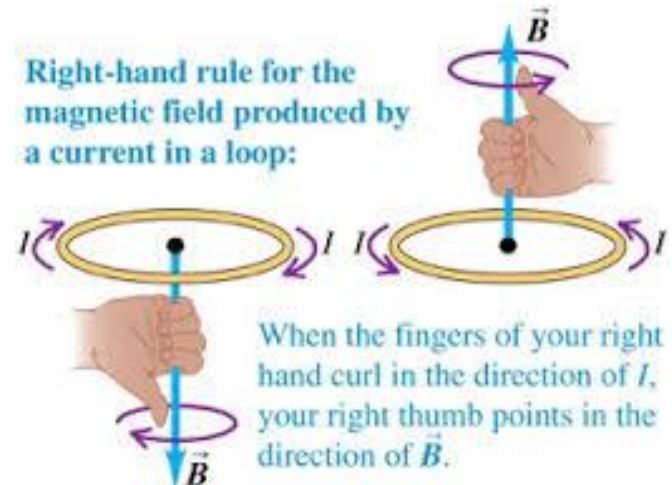
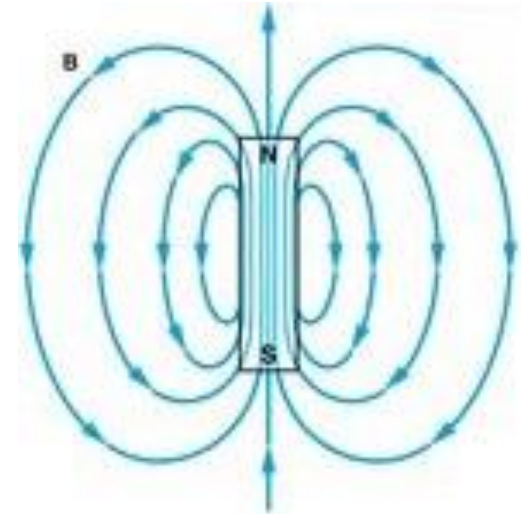
Magnetsko polje strujne petlje

$$B = \mu \frac{I}{2R}$$



- **Pravilo desne ruke #2** – ako prsti pokazuju u smjeru kruženja struje, palac pokazuje smjer magnetskog polja

- Osnovni oblik - kao elementarni magnet!



Magnetsko polje zavojnice

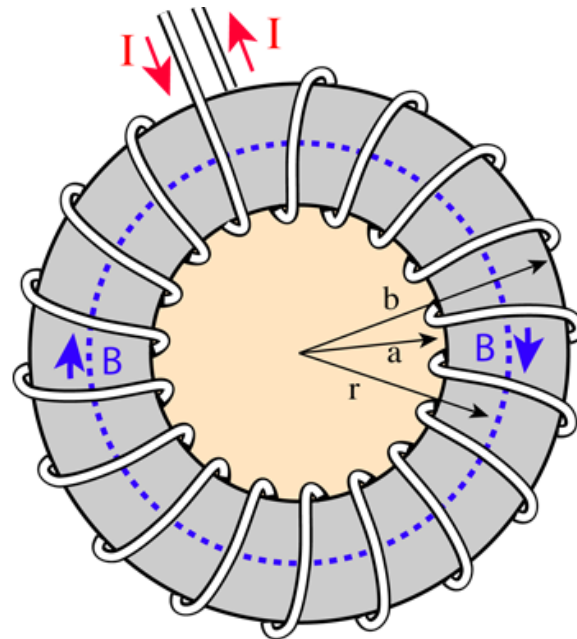
- **Zavojnica**

- Približno isto kao više petlji jedna za drugom
- **Homogeno** magnetsko polje u sredini

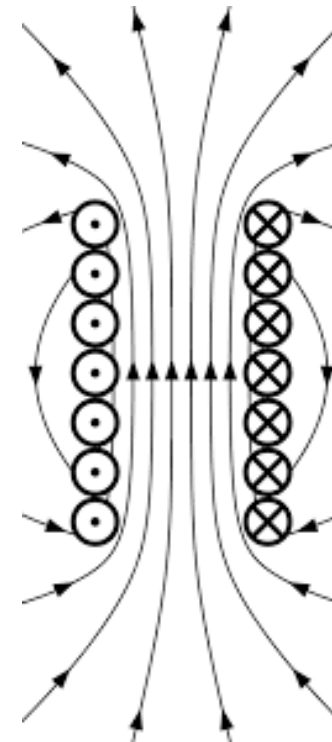
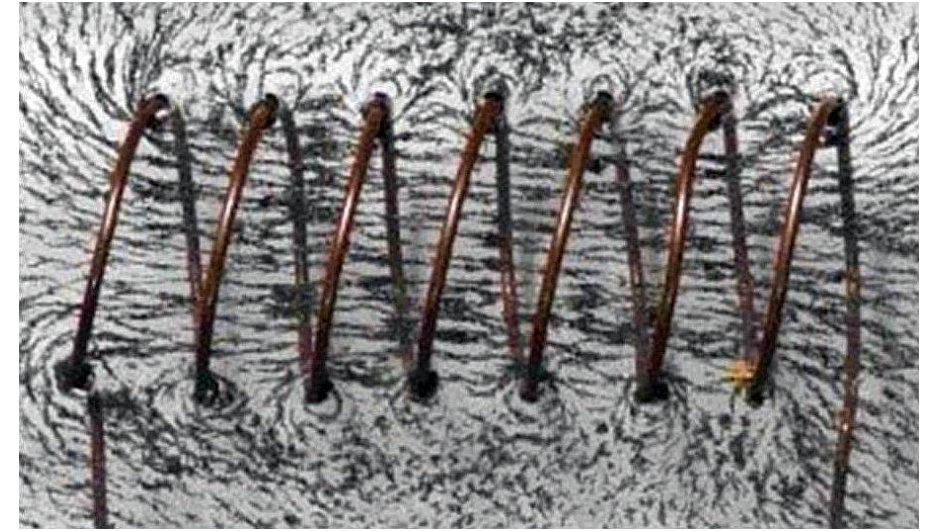
- **Torus**

- Zavojnica savijena u krug → „zarobljeno” magnetsko polje, odnosno zatvoreni magnetski tok

$$B = \mu \frac{N \cdot I}{l}$$



- Koriste se stalno i svuda u elektrotehnici i elektronici



Pitanja i ponavljanje...

- Pronađite simulacije i videa na internetu (PhET, YouTube, ...) pa ponovite i provježbajte:
 - Koji je sjeverni, a koji južni magnetski pol
 - Koji polovi se međusobno privlače, a koji odbijaju
 - Kako se određuje smjer magnetskog polja u nekoj točki prostora oko magneta, odnosno neke struje...
 - Mašite desnom rukom po zraku da usvojite kako funkcioniraju pravila desne ruke
- PhET (phet.colorado.edu, možete i samo upisati „phet simulations” u Google)
 - Physics → Electricity ... → Magnets and electromagnets (i ostale, istražite malo...)
- YouTube (vjerujem da ga znate sami pronaći...), pa upišete nešto u tražilicu, npr:
 - „Magnetic forces”, možda dodate „experiment” itd.
 - „Magnetic field of a wire” ili „coil” (engleski za zavojnicu) itd.

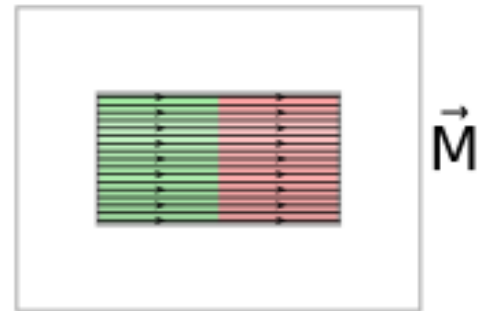
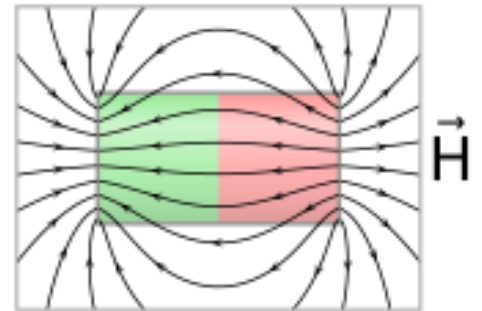
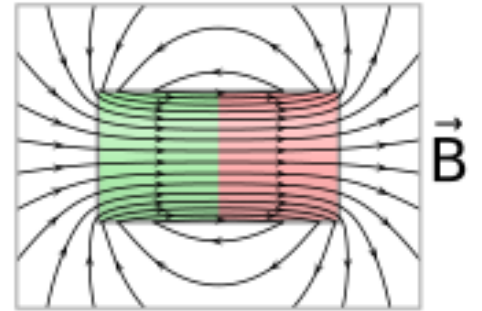
Magnetizam u materijalima

vrste i primjene

Eugen Rožić
ZTŠ Rudolf Perešin

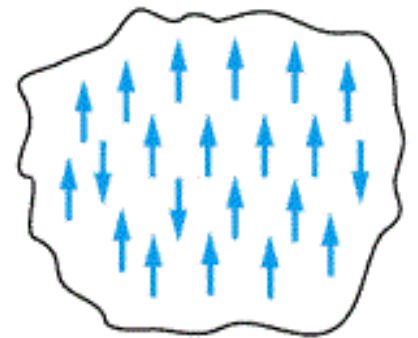
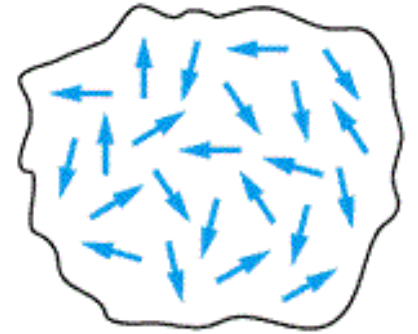
Terminologija (nazivlje)

- U literaturi postoji više oznaka i imena za vrlo slične stvari...
 - Ovisi o starosti izvora, struci itd.
- U osnovi **B** je ono glavno – ukupno **magnetsko polje**
 - Zovu ga još i *magnetska indukcija* i *gustoća magnetskog toka*
- Postoji još i **H** – **magnetizirajuće polje** ili snaga magnetskog polja
 - To je nešto kao *vanjsko magnetsko polje*, dakle bez utjecaja materijala
 - Zovu to *magnetsko polje* u starijoj i inženjerskoj literaturi
 - Mjeri se u A/m odnosno u *Oerstedima* ($1 \text{ Oe} \approx 80 \text{ A/m}$)
- Veza je: $B = \mu H = \mu_r \mu_0 H = \mu_0 (H + M)$
 - μ_0 – konstanta zvana magnetska permeabilnost vakuumu
 - μ_r – relativna magnetska permeabilnost nekog materijala (broj veći od 0)
 - **M** – **magnetizacija** (nešto kao magnetsko polje koje dolazi od samog materijala)



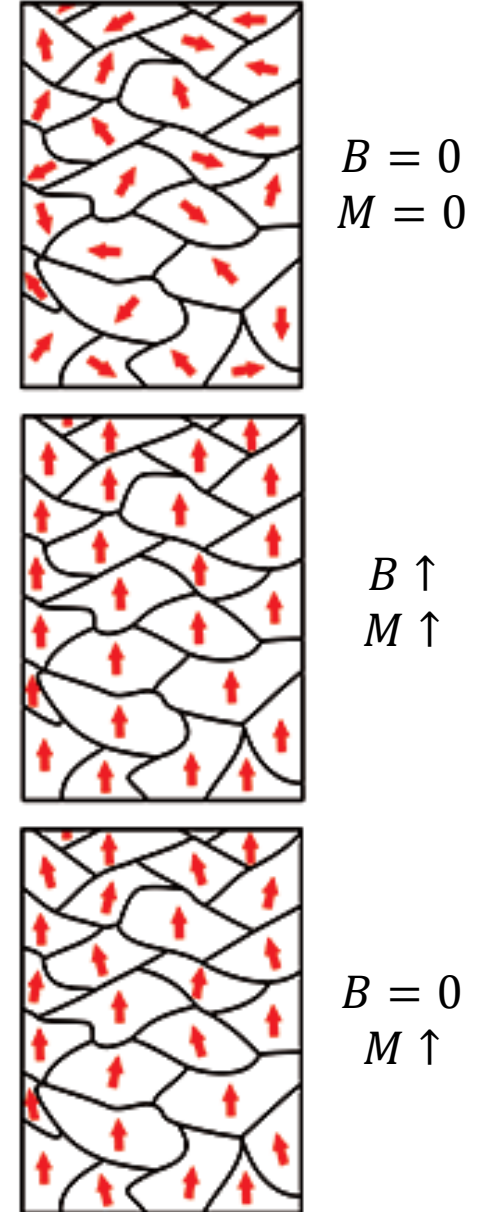
Podrijetlo magnetizma u materijalima

- Magnetizam u materijalima je zapravo više različitih kvantnih efekata koji su vrlo komplicirani, ali otprilike...
 - Elektroni oko atoma su kao male „struje”, a imaju i svojstvo koje se zove „spin” što ih čini kao malim magnetićima
- Postoje tri (glavne) vrste magnetskih materijala:
 - **Dijamagnetici** – materijali koji se magnetiziraju (**M**) SUPROTNO vanjskom polju (**H**) pa bivaju odbijeni ($0 < \mu_r < 1$)
 - Vrlo slab efekt koji **nestaje kada nema vanjskog polja**
 - Primjeri: **bakar** (0.999994), zlato, bizmut, ... **voda** (levitiranje žabe)
 - **Paramagnetici** – materijali koji se magnetiziraju U SMJERU vanjskog polja pa bivaju privučeni ($\mu_r > 1$)
 - Također vrlo slab efekt koji **nestaje kada nema vanjskog polja**
 - Primjeri: **aluminij** (1.000022), platina, volfram ...



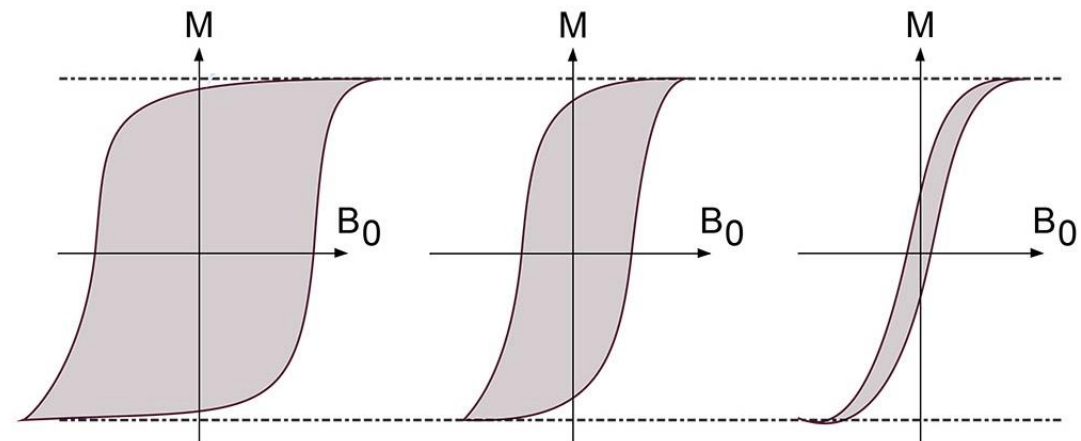
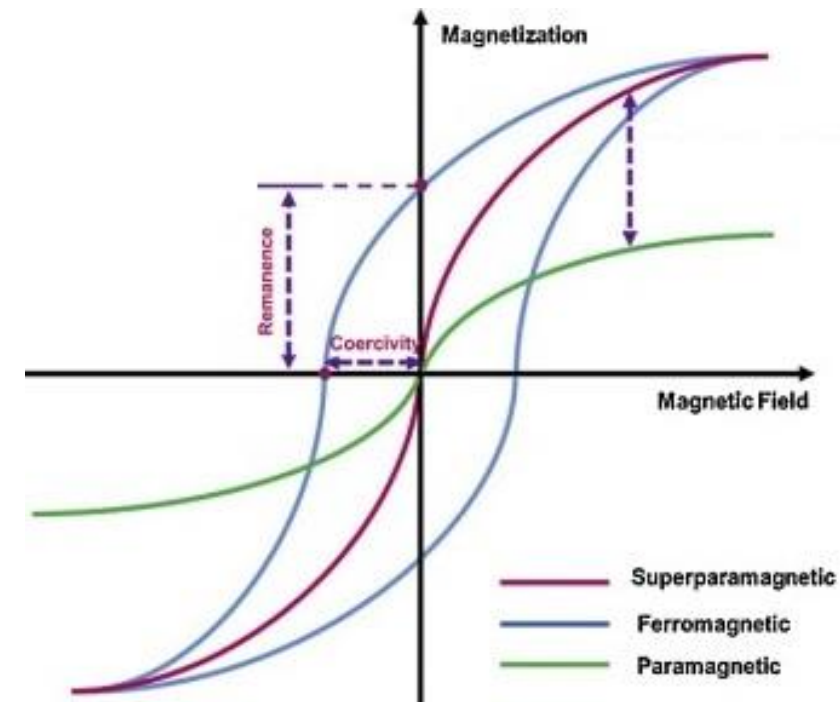
Podrijetlo magnetizma u materijalima

- **Feromagnetici** – magnetizacija u smjeru vanjskog polja, ali ...
 - Vrlo jak efekt ($\mu_r \approx 10 - 10000+$) koji **ostaje** i bez vanjskog polja
 - Primjer: željezo (*ferrum*), nikal, kobalt i njihove slitine (legure)
 - Mehanizam:
 - Elektroni u atomima (koji su kao mali magneti) međudjeluju i žele se međusobno poravnati
 - To rade spontano iz nekih točaka → nastaju domene
 - Domene se poravnaju u vanjskom polju → **velika** magnetizacija M
 - Ostanu poravnate zbog međudjelovanja
- Tvrdi feromagnetici – duže i lakše zadržavaju tu magnetizaciju
 - Prirodni magneti (ruda magnetit – Fe_3O_4) i trajni magneti
- Mekani feromagnetici – kraće i teže zadržavaju magnetizaciju
 - Normalno željezo na sobnoj temperaturi



Matematički prikaz magnetičnosti

- **B-H ili M-H ili M-B₀** karakteristika
 - Odnos magnetizacije M ili ukupnog polja B (koje uključuje M) o vanjskom magnetskom polju (H ili B₀)
 - Kod paramagnetika prolazi kroz nulu (nema H → nema M)
 - Kod feromagnetika ne prolazi kroz nulu → **histereza**
 - Površina unutar histereze odgovara energiji koja se troši za magnetiziranje i demagnetiziranje materijala
 - **Remanentni magnetizam** – M koji ostaje kad je H = 0
 - **Koercitivna sila** – H potreban da M postane 0
- Tvrdi feromagnetici → „debela” histereza
- Mekani feromagnetici → „tanka” histereza
 - Pogodno za elektromagnete i transformatore



Elektromagneti

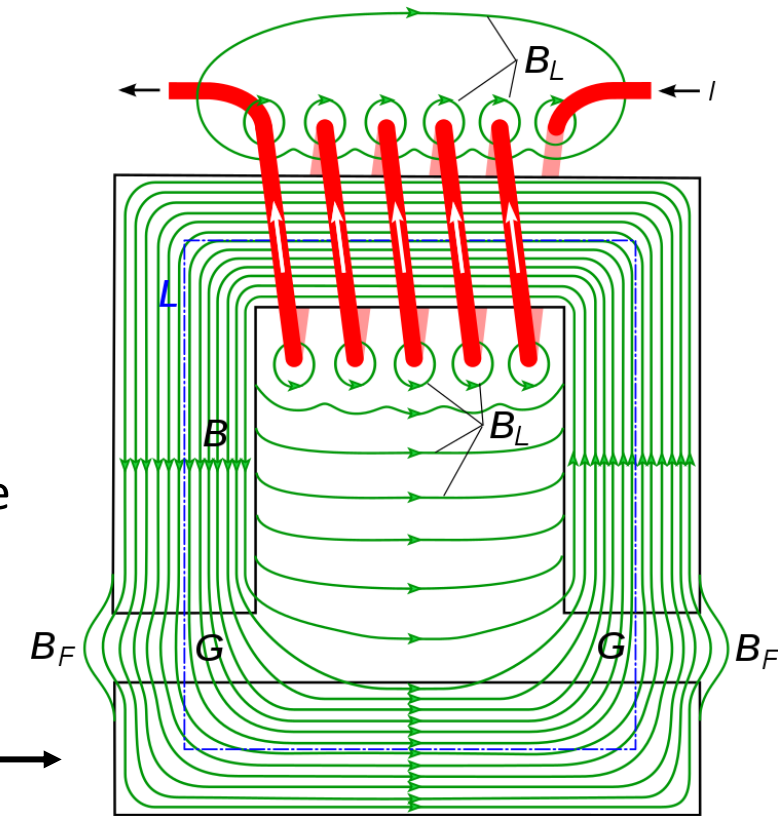
- Pojačavanje magnetskog polja pomoću feromagnetske jezgre
 - Zavojnica (solenoid) sa jezgrom od mekanog željeza
 - Strujom upravljivi magnet
 - Kada ima struje → 100, 1000 ili više puta jače magnetsko polje
 - Kada nema struje → nema magnetskog polja

- Nosivost:
$$F = \frac{10^7 \cdot B^2 \cdot S}{4\pi}$$

- Primjene:

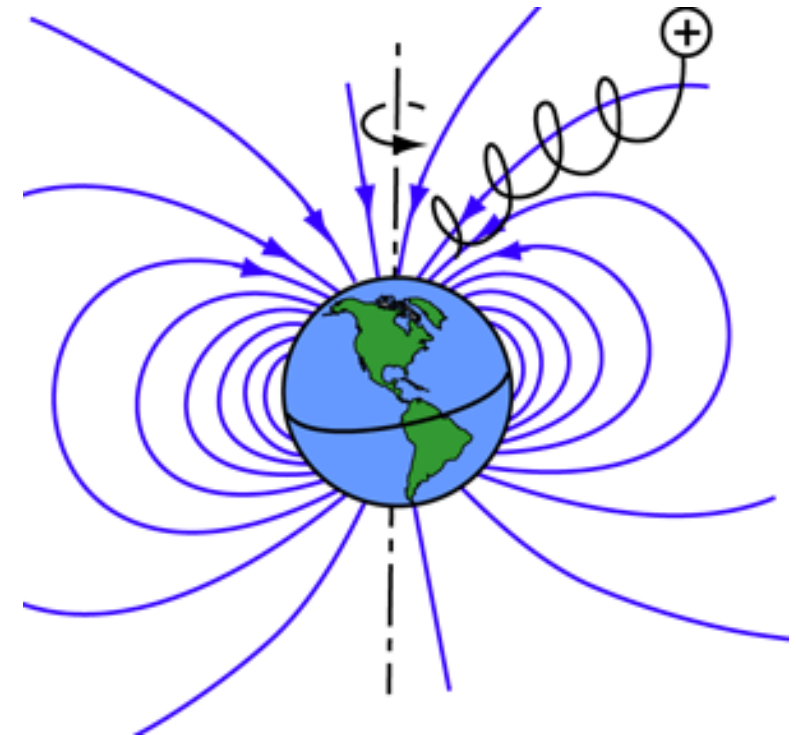
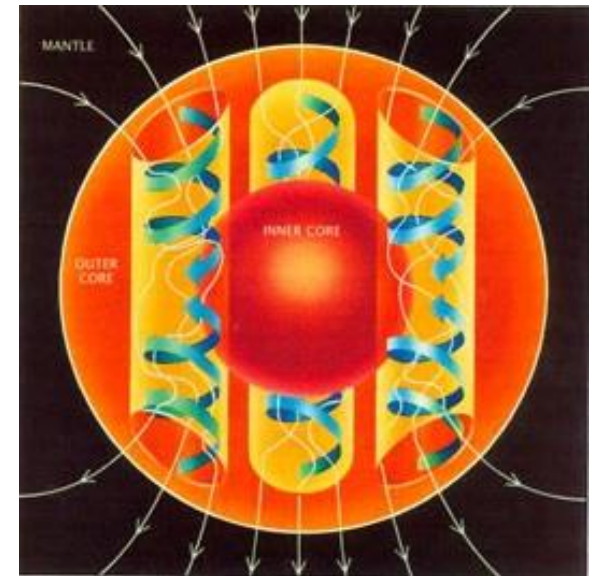
- Dizanje teških metalnih (feromagnetskih) predmeta
- Prijenos magnetskog toka (transformatori)
- Razne primjene u elektronici i elektrotehnici (releji, zvona, ...)

kotva →



Magnetsko polje zemlje

- Zemlja stvara svoje magnetsko polje (0.25 – 0.65 G)
 - Većinom (80%) kao polje običnog magneta (dipolno polje)
 - Magnetska i geografska os se NE poklapaju (otklon $\approx 11^\circ$)
 - Južni magnetski pol je kod sjevernog geografskog, i obrnuto
 - Nastaje zbog kružnog kretanja rastopljenog nikla i željeza u vanjskoj jezgri – **dinamo efekt**
- Kompasi – mali magneti (magnetski igle)
 - „N” pol igle pokazivati će prema sjeveru jer je tamo zemljin „S” pol
 - Odatle naziv za magnetske polove!
- Odbija nabijene čestice (solarni vjetar)
 - **Polarna svijetlost** – kretanje nabijenih čestica u polju



Pitanja i ponavljanje...

- Za ove stvari će biti malo teže pronaći videa jednostavnih i jasnih eksperimenata, jer je nemoguće „vidjeti” unutar materijala na atomskoj razini, Ali...
- Mogu se pronaći zanimljivi eksperimenti efekta magnetskog polja na različite materijale:
 - Upišete npr. „Paramagnetism diamagnetism experiment”, ...
- Mogu se na internetu pronaći zanimljivi i zabavni videi korištenja elektromagneta u razne svrhe:
 - Upišete npr. „Electromagnet in action”, ...
- Također, mogu se pronaći vrlo zanimljive vizualizacije i objašnjenja magnetskog polja zemlje, korištenja kompasa itd.
 - Upišete npr. „Earth’s magnetic field”, ...
 - Na PhET nađite simulaciju „Magnet and Compass” i poigrajte se s njom...

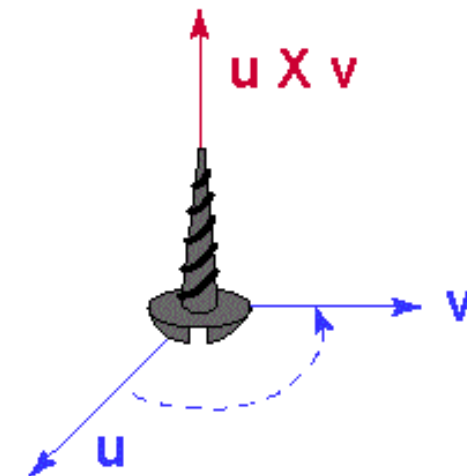
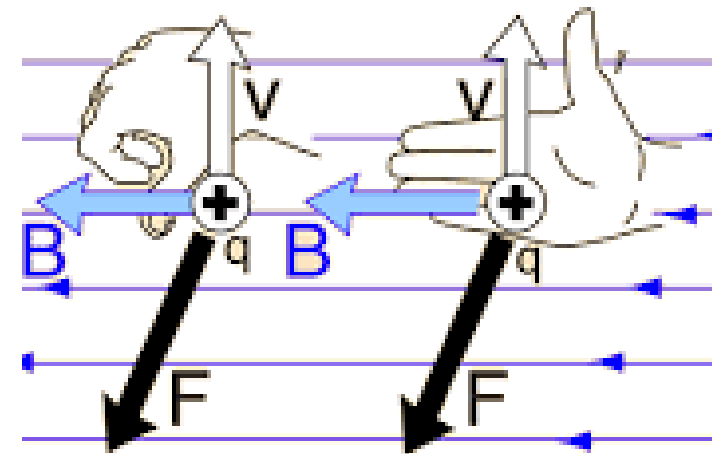
Magnetska sila na naboje

vrste i primjene

Eugen Rožić
ZTŠ Rudolf Perešin

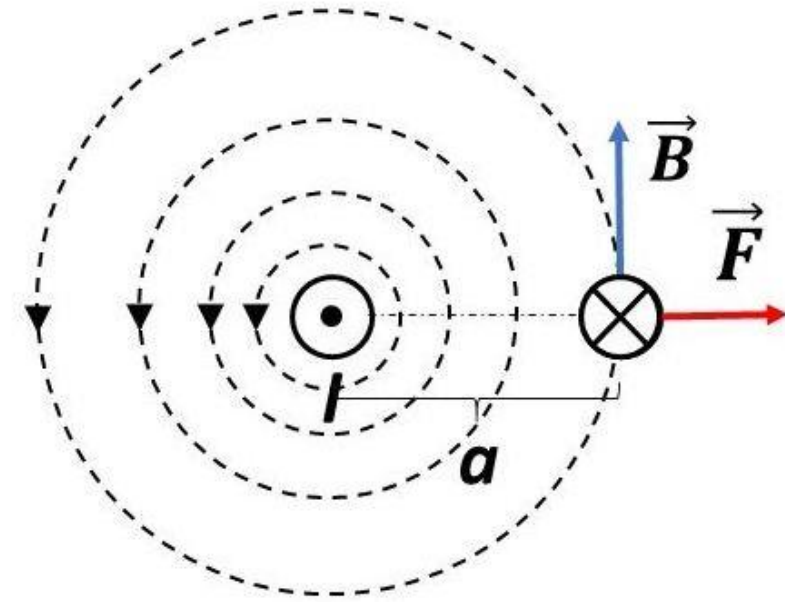
Magnetska sila na električni naboj

- Postoji i sila IZMEĐU električnih naboja i magnetskih polova!
 - Ponovno posebna i duboka veza elektriciteta i magnetizma:
 - Gibanje naboja stvara magnetsko polje, a magnetsko polje utječe na **naboje u gibanju**
- Zove se Lorentzova sila: $\vec{F}_L = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$, $|F_L| = qvB \cdot \sin(\alpha)$
- **Pravilo desne ruke #3** – ako prste ispružene šake usmjerimo u smjeru kretanja (+) naboja tako da ih možemo savinuti prema smjeru magnetskog polja onda palac pokazuje smjer sile
 - *Alternativno:* ako palac ispružene šake usmjerimo u smjeru kretanja (+) naboja, a prste usmjerimo u smjeru magnetskog polja onda će smjer sile biti „iz dlana”
 - *Alternativno:* ako zamislimo da u ruci imamo odvijač kojim **zavrćemo** vijak tako da idemo od smjera kretanja naboja prema smjeru magnetskog polja onda smjer sile odgovara smjeru vijka

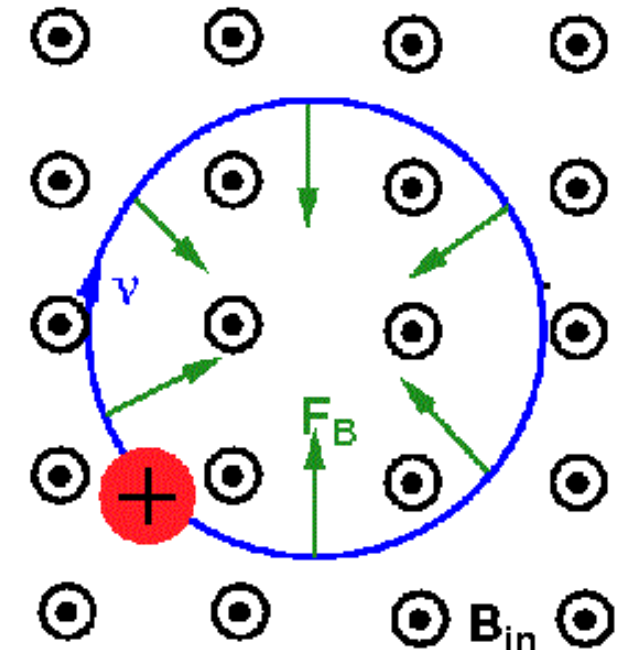
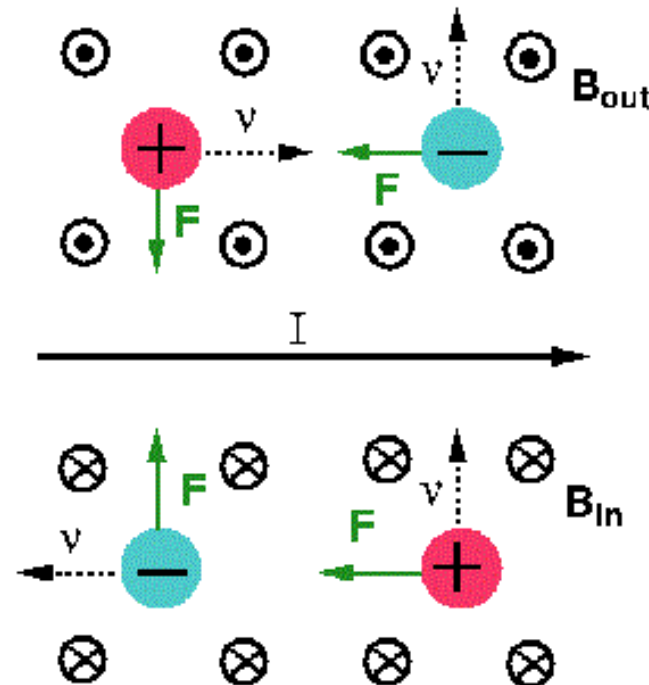


Lorentzova sila - primjeri

- Naboj u polju ravnog vodiča



- Naboj u homogenom magnetskom polju



Magnetska sila na struju

- Struja je samo (jako) puno naboja u gibanju...

- Jakost električne struje: $I = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{Nq}{\Delta t}$

- Ukupna sila na vodič:
$$\mathbf{F}_{uk} = N \cdot (q\vec{v} \times \vec{B}) = \mathbf{I}\vec{l} \times \vec{B}$$

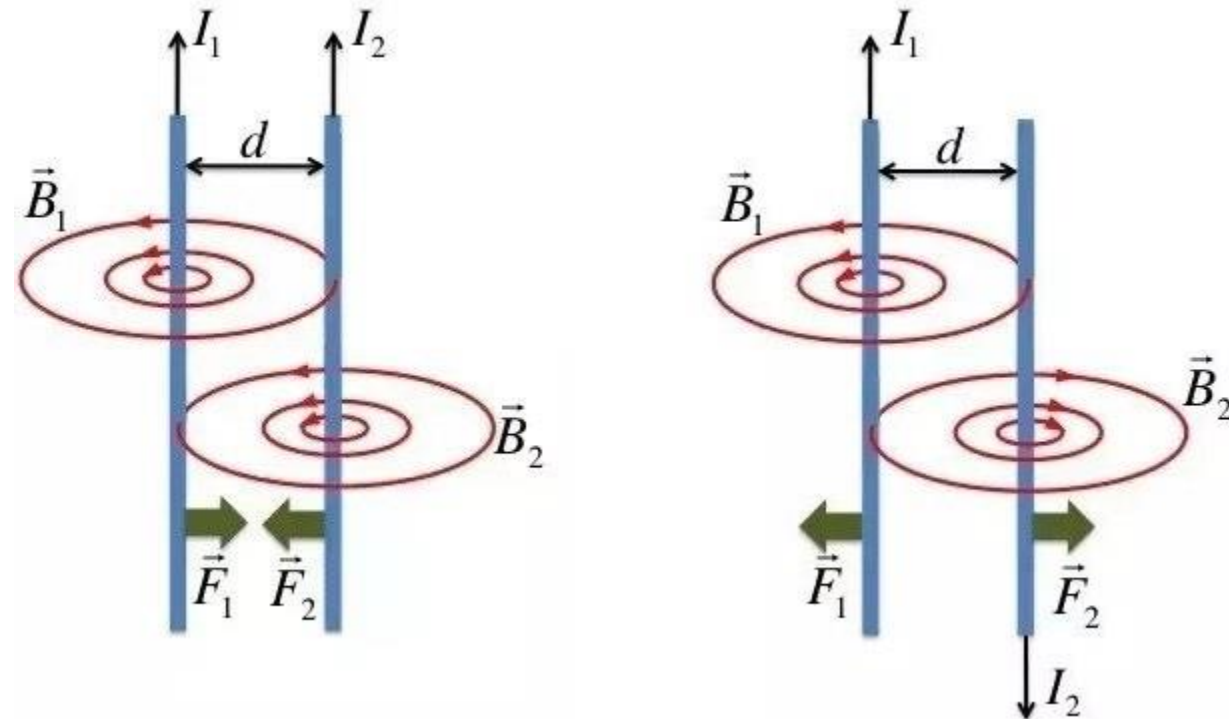
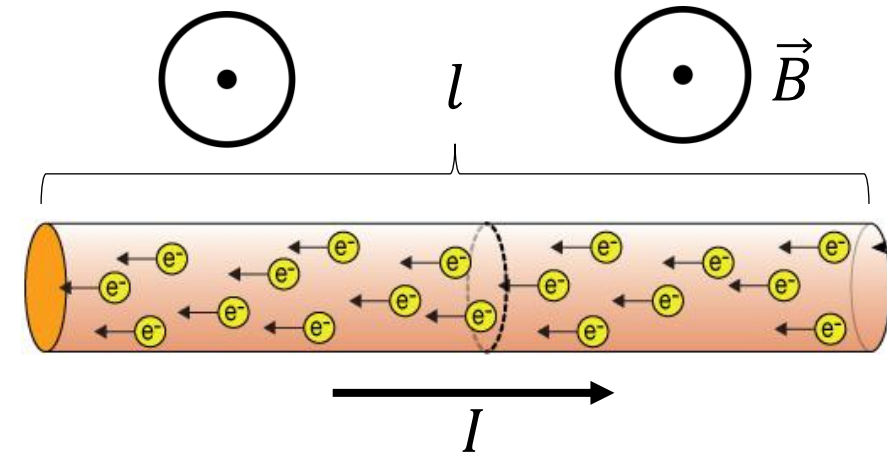
- Jer $v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{l}{\Delta t}$

- Primjeri:

- Sila između dva (paralelna) vodiča

- Isti smjer struje → privlače se
 - Suprotni smjer → odbijaju se
 - Vrlo slaba sila (μN)

- Strujna petlja u homogenom magnetskom polju...



Magnetska sila na struju

- Sila na strujnu petlju u (homogenom) magnetskom polju
 - Nastaje (okretni) moment sile, centar mase miruje
 - Osnova rada tipičnih elektromotora



Pitanja i ponavljanje...

- Na internetu postoji puno simulacija i videa koji pokazuju silu između dva vodiča:
 - Npr. na YouTubeu upišete „Force between two wires experiment”
- Također možete potražiti objašnjenje DC elektromotora, što je u biti samo sila (odnosno moment sile) na strujnu petlju pri čemu se smjer struje treba mijenjati svakih pola kruga...
 - To ćete uglavnom dobiti ako tražite „Force on a current loop experiment” i slično
- Zanimljivo je potražiti i videa sa raznim magnetskim „trikovima” koji često uključuju homopolarne motore...
 - Homopolarni motori rade na principu Lorentzove sile; to su prvi elektromotori i jako su jednostavni za izradu...
 - Također mogu biti jako moćni, potražite npr. „Electromagnetic rail gun”