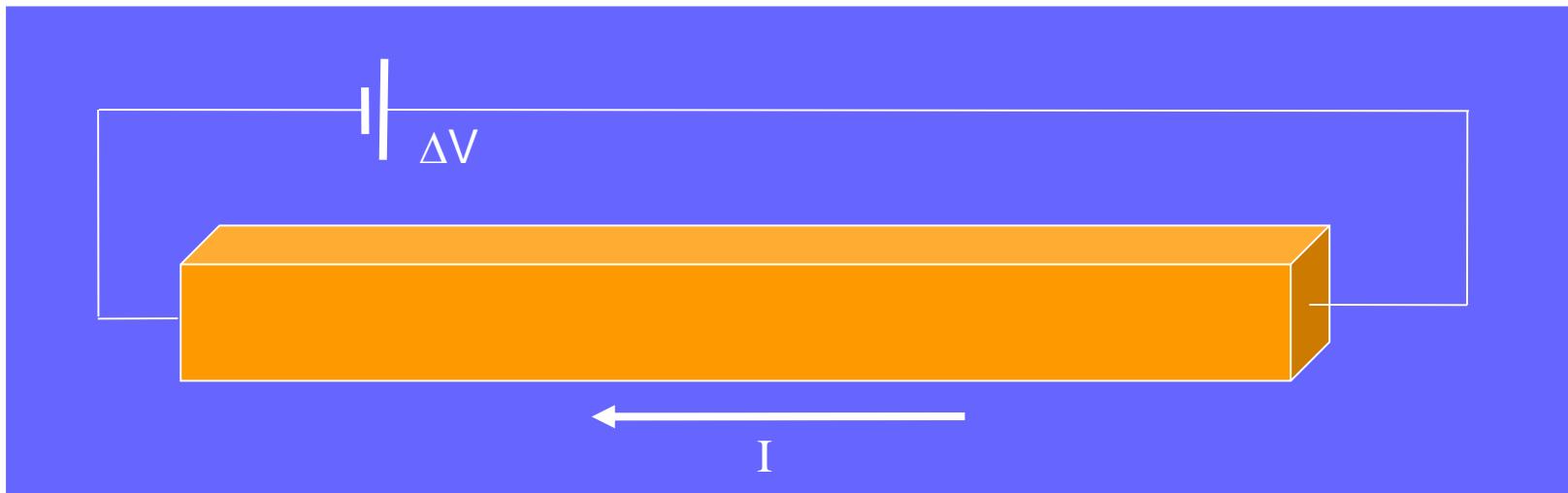


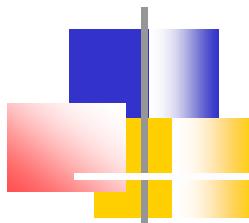
Otpor i Ohmov zakon

- Kad postoji napon (razlika potencijala) na krajevima metalnog vodiča, struja je proporcionalna naponu.

$$I \propto \Delta V$$



Elektromagnetske pojave



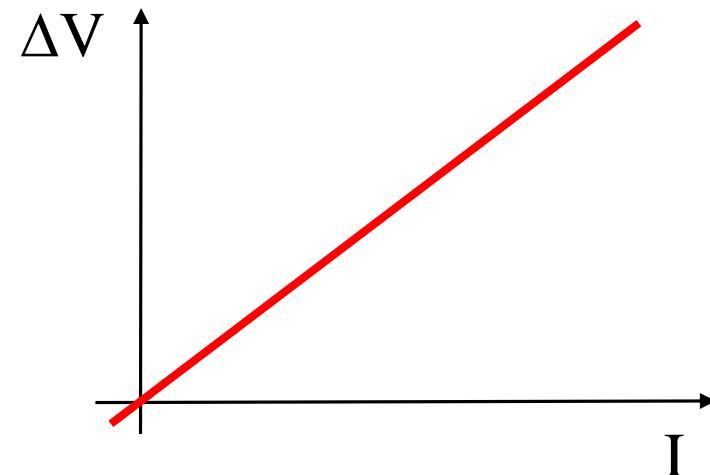
- Možemo pisati

$$\Delta V = IR$$

Konstanta proporcionalnosti naziva se otpor vodiča.

Otpor se definira kao omjer

$$R = \frac{\Delta V}{I}$$



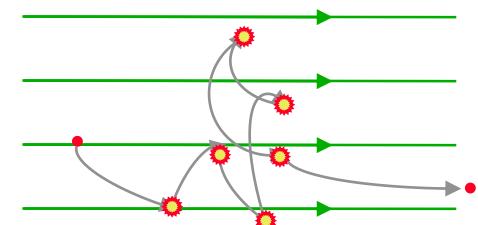
- U SI jedinicama, otpor se izražava kao volt po amperu.
- Jedinica otpora nosi ime: **ohm (Ω)**.
- Otpor u vodiču se stvara radi sudara elektrona i fiksnih naboja unutar materijala.
- U mnogim materijalima, uključujući većinu metala, otpor je konstantan u širokom rasponu primjenjenih napona.

Otpornost

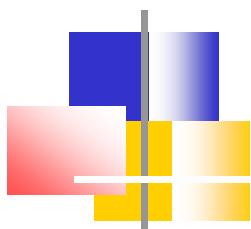
- Elektroni koji se gibaju u vodiču pod djelovanjem vanjskog potencijala se sudaraju s atomima u vodiču.
- Gube energiju i opetovano se ponovo ubrzaju pod djelovanjem električnog polja koje stvara vanjski potencijal.
- Proces sudaranja ekvivalentan je unutrašnjem trenju.
- Ovo je porijeklo **otpornosti** materijala.
- Ohmski otpor vodiča proporcionalna je njegovoj duljini, l , i obrnuto proporcionalna površini presjeka, A , vodiča.

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

Konstanta proporcionalnosti ρ naziva se otpornost materijala.



Elektromagnetske pojave



Primjer:

Ako razlika potencijala na krajevima vodiča od 10V stvara struju od 0.2A, zaključujemo da je otpor vodiča $10V/0.2A=50\Omega$.

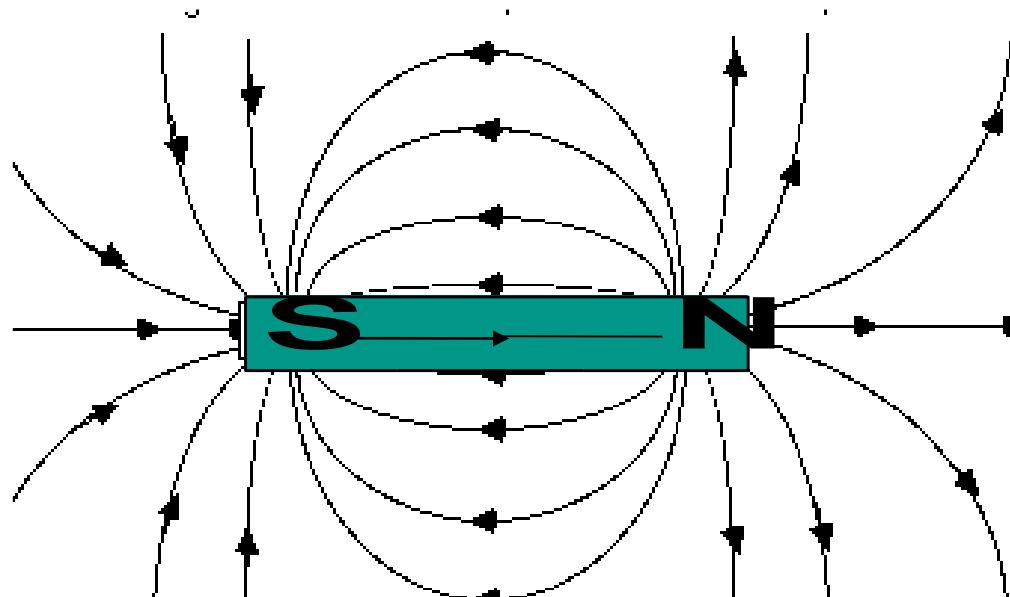
Primjer:

Odredite otpor po jedinici duljine metalne žice kojoj je otpornost $1.6\times10^{-8}\Omega\text{m}$, a presjek $3.2\times10^{-7}\text{m}^2$.

$$\frac{R}{l} = \frac{\rho}{A} = \frac{1.6\times10^{-8}\Omega\text{m}}{3.2\times10^{-7}\text{m}^2} = 0.05\Omega/\text{m}$$

Magnetsko polje

- Magnetski efekti prirodnih magneta poznati su još od antičke Grčke (prije 2500 godina).
- Riječ magnetizam potječe od grčke riječi magnet za vrstu kamena koji sadrži željezni oksid i koji je nađen u grčkoj pokrajini Magnesiji.
- Svojstva magneta: može djelovati silom na isti takav kamen i može prenijeti to svojstvo (magnetizirati) komadu željeza kad ga takne.
- Magnet
 - ... dva pola: sjeverni (N) i južni (S)
 - Isti polovi se odbijaju.
 - Različiti polovi se privlače.

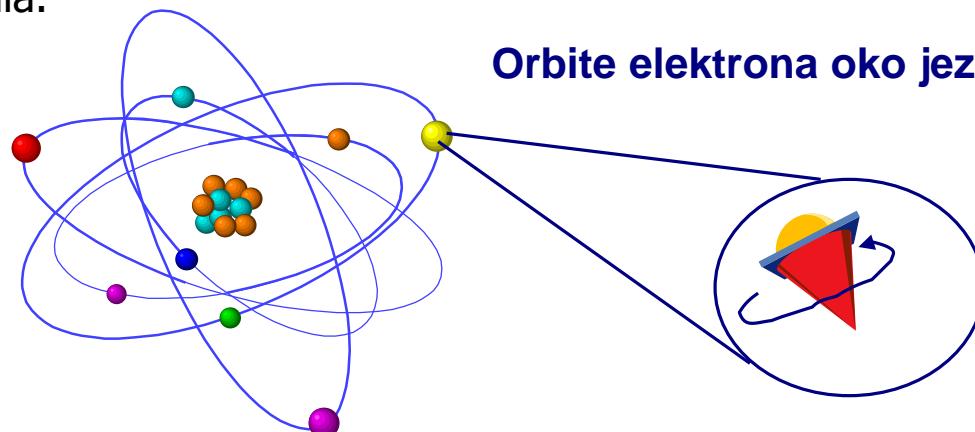


Elektromagnetske pojave

Nema magnetskog monopola!



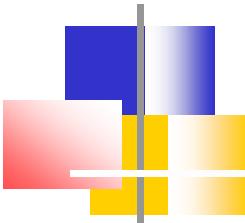
- Što je izvor magnetskog polja, ako **ne** magnetski naboј?
- Odgovor: **električni naboј u gibanju!**
 - struja u žici zavojnice stvara slično polje polju magneta.
- Stoga je razumijevanje izvora magnetskog polja u razumijevanju struje unutar materijala.



Orbite elektrona oko jezgre

Vlastiti “spin” elektrona
(značajniji efekt)

Elektromagnetske pojave



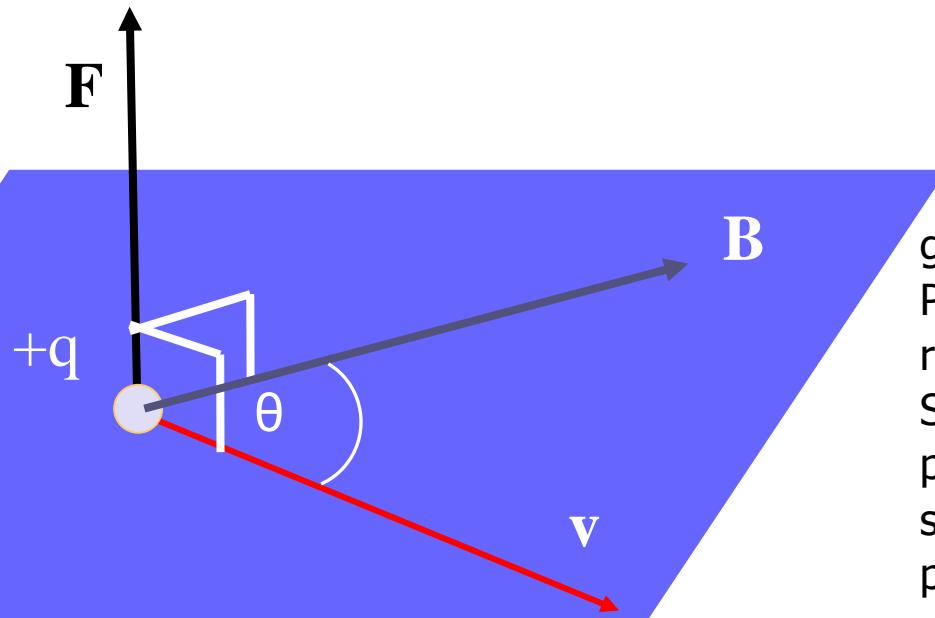
Električno polje:

- Distribucija naboja stvara električno polje $\mathbf{E}(\mathbf{r})$ u okolnom prostoru.
- Polje djeluje silom $\mathbf{F}=q \mathbf{E}(\mathbf{r})$ na naboj q u \mathbf{r}

Magnetsko polje:

- Naboj u gibanju ili struja stvaraju magnetsko polje $\mathbf{B}(\mathbf{r})$ u okolnom prostoru.
- Polje djeluje silom \mathbf{F} na naboj u gibanju q u \mathbf{r} . Iznos ove sile dan je izrazom

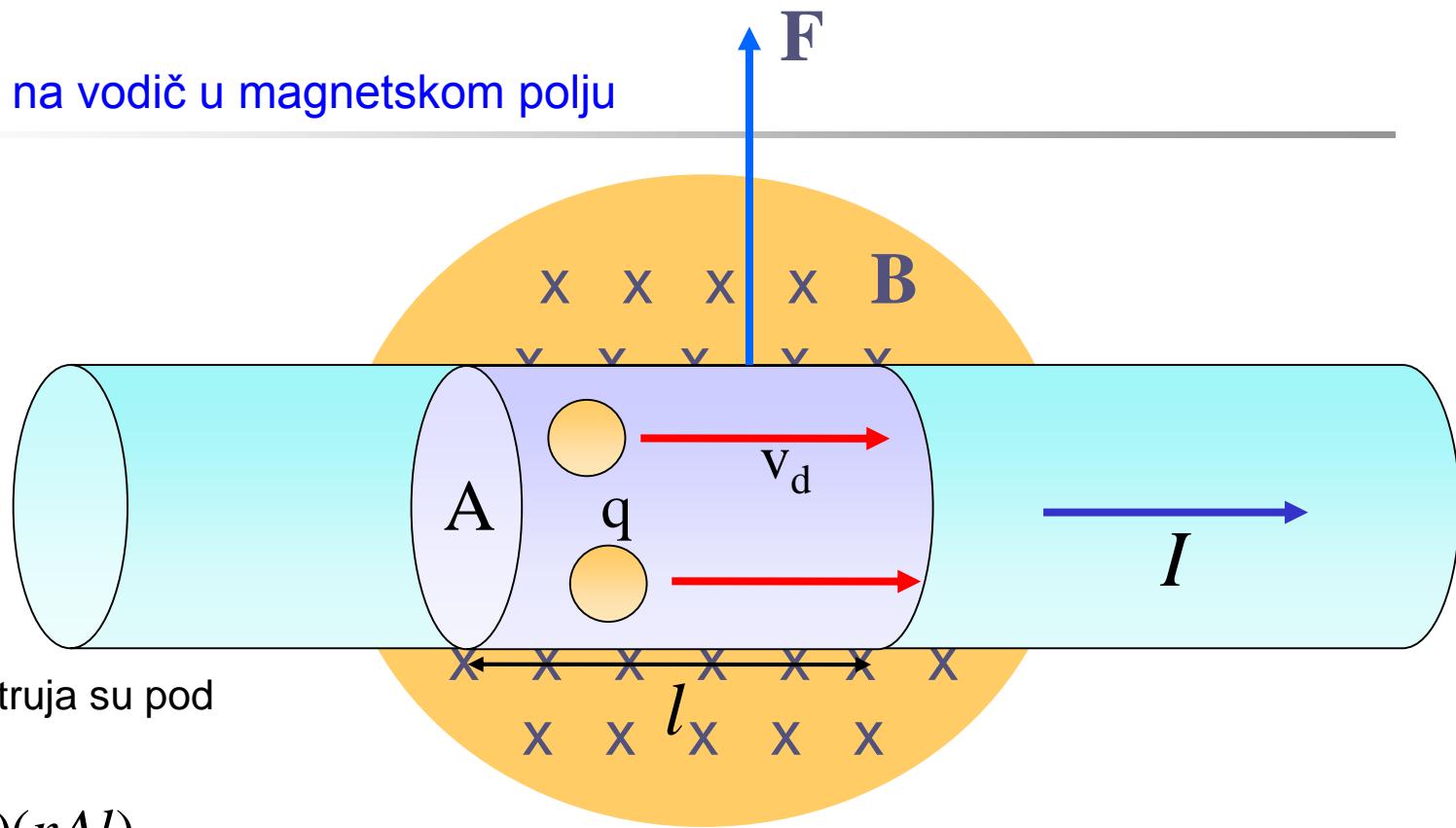
$$F = qvB \sin \theta$$



gdje je v iznos brzine naboja q .
Pravac sile okomit je na ravninu koju razapinju \mathbf{v} i \mathbf{B} .
Smjer sile određuje se po pravilu desne ruke (prsti idu od smjera \mathbf{v} prema smjeru od \mathbf{B} , palac pokazuje smjer sile).

Elektromagnetske pojave

Sila na vodič u magnetskom polju



Magnetsko polje i struja su pod
pravim kutem:

$$F = (qv_d B)(nAl)$$

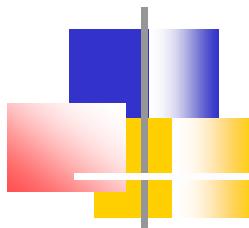
$$I = nqv_d A$$

Općenito magnetsko polje i struja zatvaraju kut θ :

$$F = Bl \sin \theta$$

$$F = Bl \sin \theta$$

Elektromagnetske pojave



Magnetsko polje dugog vodiča

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

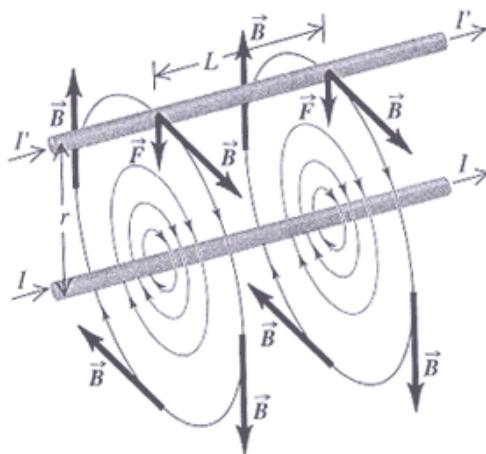
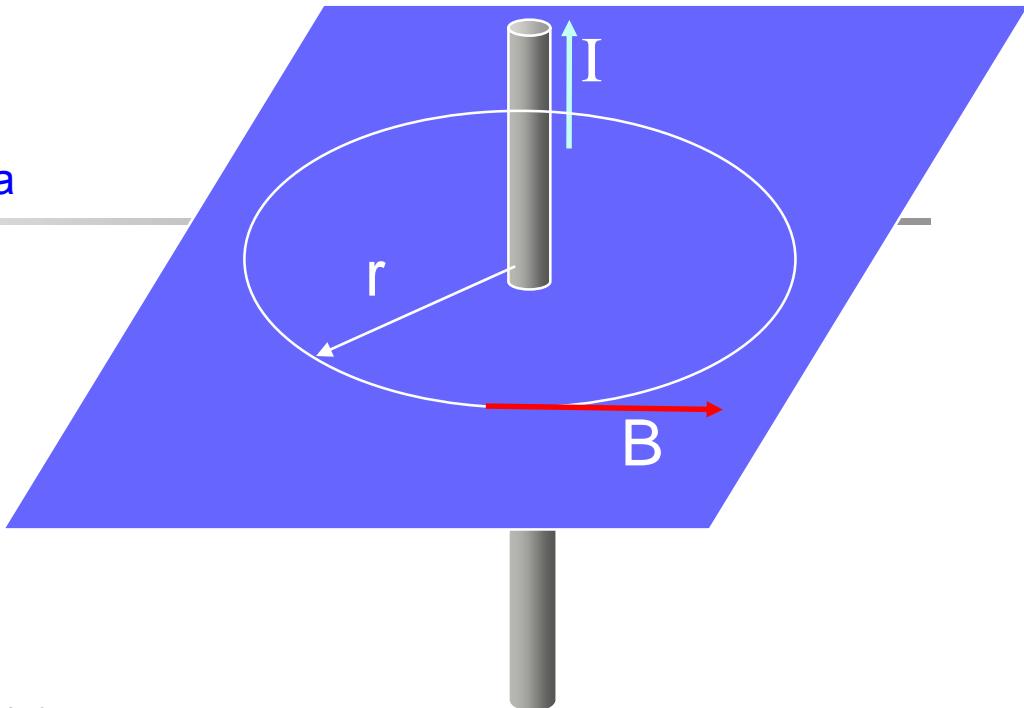
$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm/A}$$

Permeabilnost vakuum

Mjerna jedinica za magnetsko polje je Tesla (T).

Magnetska sila između dva duga vodiča

$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_0 II'}{2\pi r}$$



Elektromagnetski valovi

- Mislilo se da elektricitet i magnetizam nisu povezani
- 1865. James Clerk Maxwell iznio je matematičku teoriju koja je pokazala usku povezanost između elektriciteta i magnetizma:
- Linije električnog polja počinju u pozitivnom naboju, a završavaju u negativnom naboju- postoji električni monopol.
- Linije magnetskog polja uvijek tvore zatvorene petlje – nema magnetskog monopola.
- Promjenjivo magnetsko polje inducira električno polje (Faradayev zakon).
- Magnetsko polje stvaraju naboji u gibanju i struje (Ampèreov zakon). Također, promjenjivo električno polje stvara magnetsko.
- Maxwell je zaključio da se vidljiva svjetlost i svi drugi elektromagnetski valovi sastoje od oscilirajućih električnih i magnetskih polja koja induciraju jedni druge
- Maxwell je izračunao da je brzina svjetlosti 3×10^8 m/s
- Stacionarni naboji stvaraju jedino električno polje
- Naboji u jednolikom gibanju (konstantna brzina) stvaraju električni i magnetsko polje
- Naboji koji se gibaju ubrzano stvaraju električno i magnetsko polje i elektromagnetske valove
- Ova polja su *u fazi*
 - U svakoj točki, oba polja postižu maksimum u istom trenutku

Elektromagnetske pojave

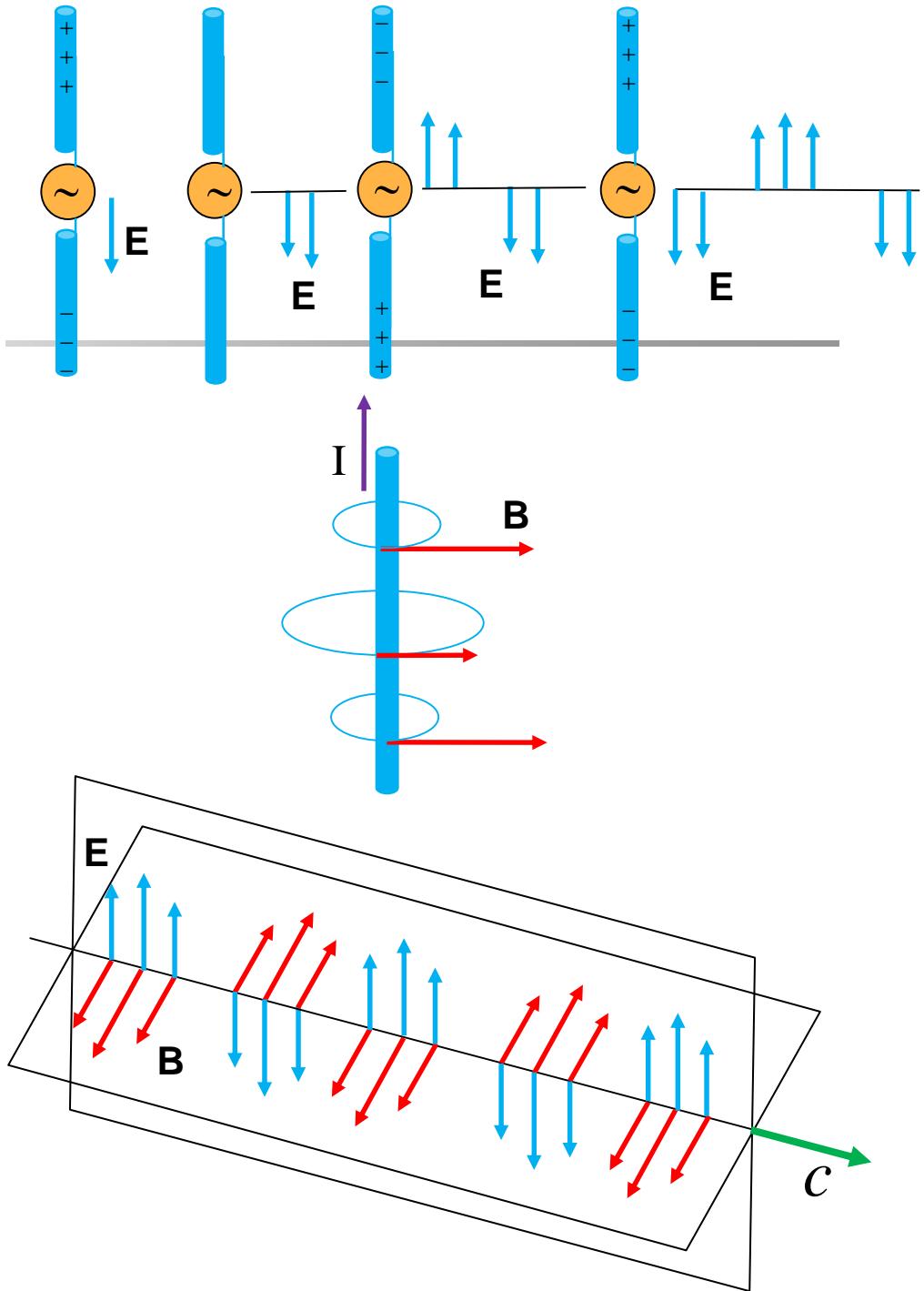
EM valovi nastaju u anteni koja je priključena na izvor izmjenične struje. Izvor stvara oscilirajuće + i - naboje koji stvaraju električno polje (zbog njihovog razmaka) i magnetsko polje (zbog struje u žici).

- **E** i **B** su okomiti
- Oba polja su okomita na smjer gibanja
 - Elektromagnetski valovi su transverzalni valovi
 - Elektromagnetski valovi putuju brzinom svjetlosti

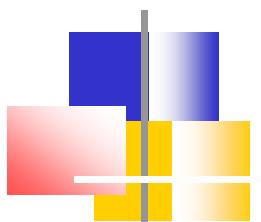
$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$$

Srednja energija po jedinici površine =

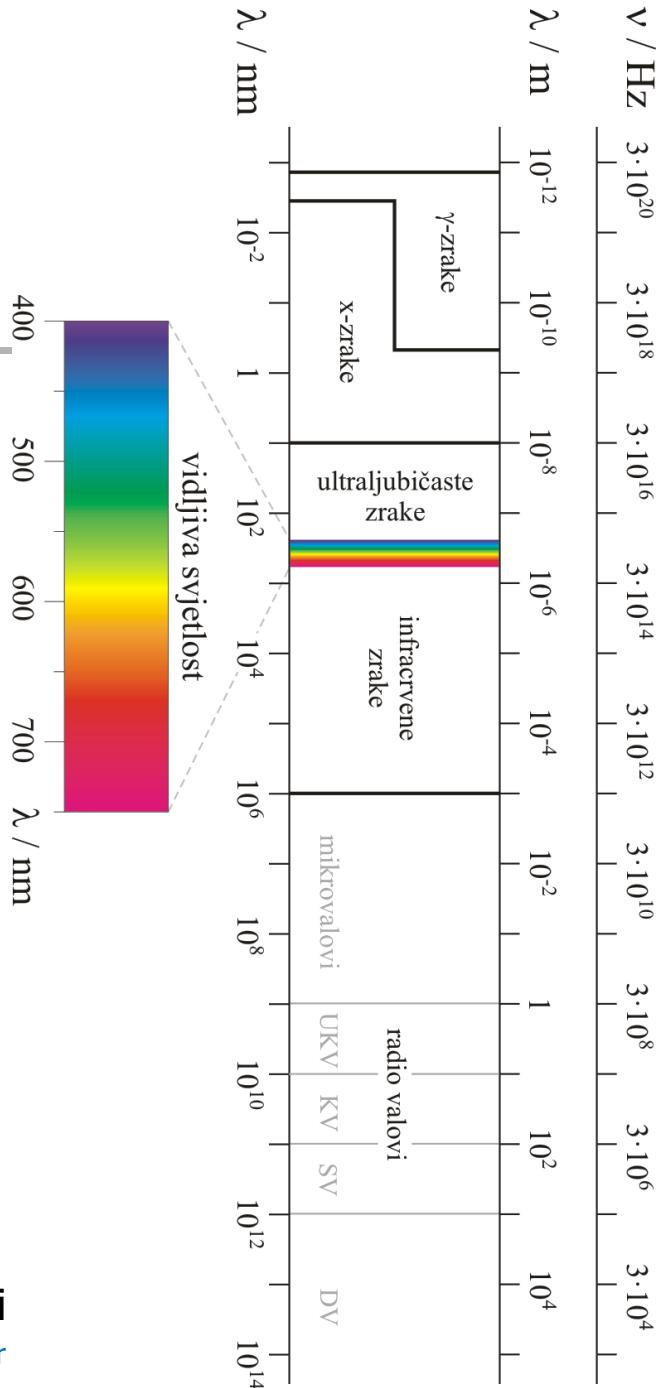
$$\frac{E_{\max} B_{\max}}{2\mu_0} = \frac{E_{\max}^2}{2\mu_0 c} = \frac{c B_{\max}^2}{2\mu_0}, \quad c = \frac{E}{B}$$



Elektromagnetske pojave



- Vrste elektromagnetskih valova razlikujemo po njihovoj frekvenciji i valnoj duljini
 - $c = f\lambda$
- Valne duljine vidljive svjetlosti 400 nm - 700 nm
- Radio valovi
 - Koriste se u radio i televizijskim komunikacijskim sustavima
- Mikro valovi
 - Koriste se u radarskim sustavima
 - Mikrovalne pećnice su jedna od primjena
- Infracrveni valovi
 - Stvaraju ih vrući objekti i molekule
 - Absorbira ih lako većina materijala
- Ultraljubičasti valovi
 - Sunce je važan izvor uv svjetla
 - Većinu uv svjetla od Sunca absorbira ozon u stratosferi



Elektromagnetske pojave

- X-zrake
 - Najuobičajniji izvor su im visokoenergijski elektroni koji udaraju u metalnu metu
 - Koriste se u medicini za dijagnostiku
- Gamma zrake
 - Emitiraju ih radioaktivne jezgre
 - Jako su prodone i uzrokuju veliku štetu kad ih absorbira živo tkivo
- Promatranje nekog objekta u različitim dijelovima spektra daje različite informacije
 - Kada astronomi promatraju nebesko tijelo koristeći detektore osjetljive na različita područja spektra uočavaju njegove različite osobine

Brzina svjetlosti u sredstvu

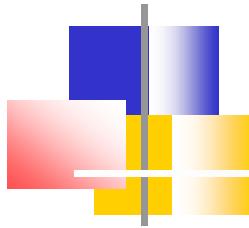
$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \mu}}$$

Električna permitivnost $\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$

relativna permitivnost ϵ_r

Magnetska permeabilnost $\mu = \mu_r \mu_0$

relativna permeabilnost μ_r



Dodatni materijali

<https://phet.colorado.edu/en/simulation/ohms-law>