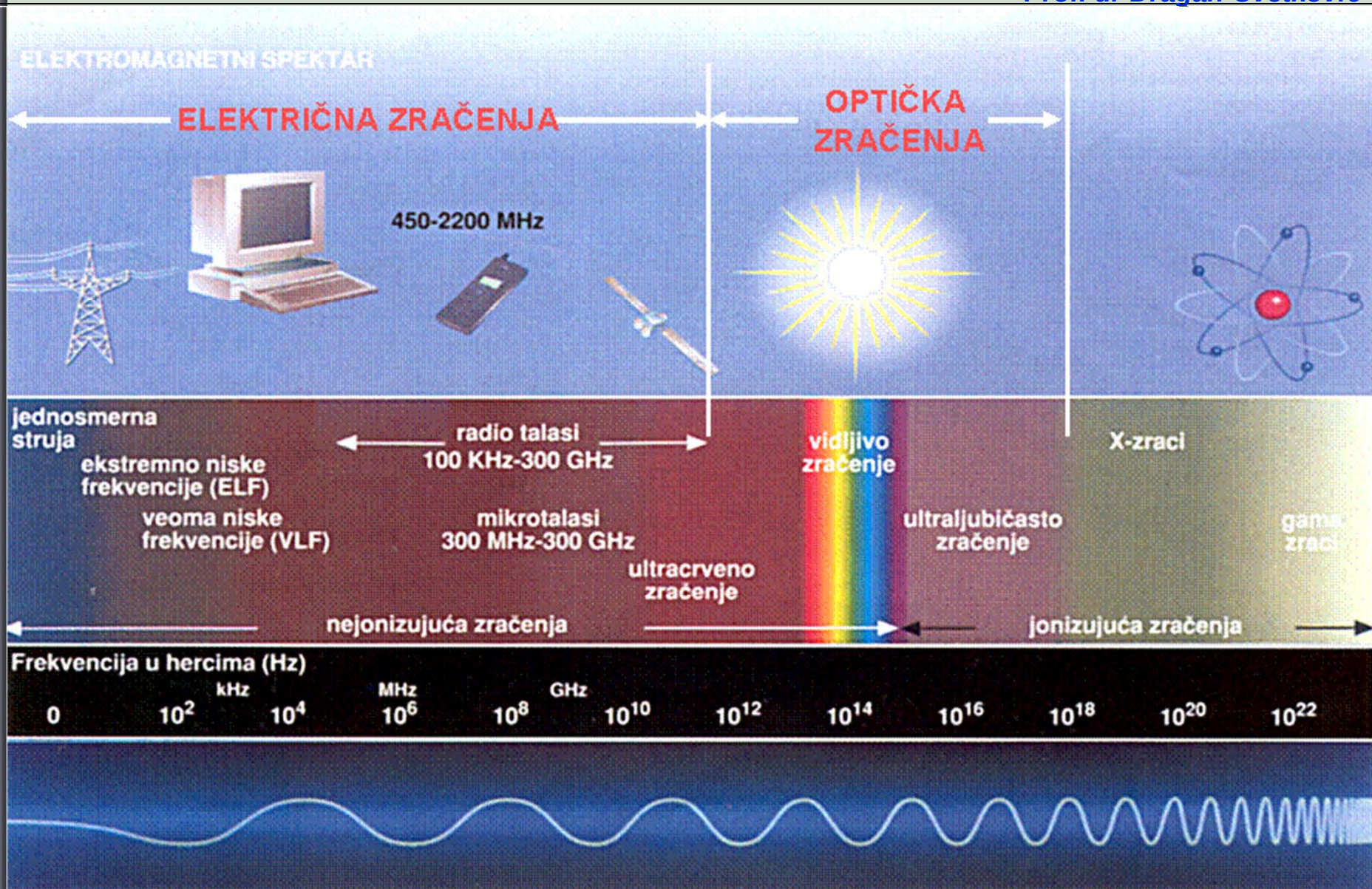
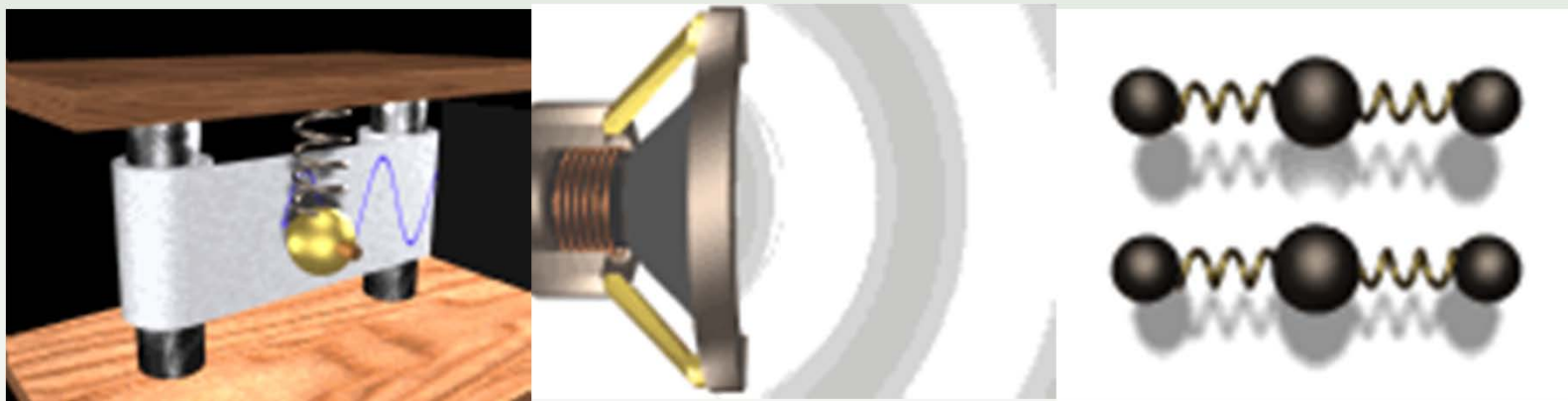


ELEKTROMAGNETNA ZRAČENJA

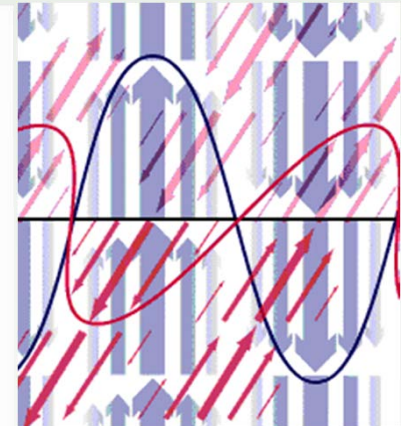
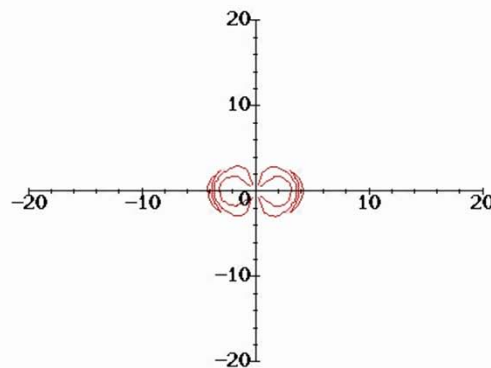
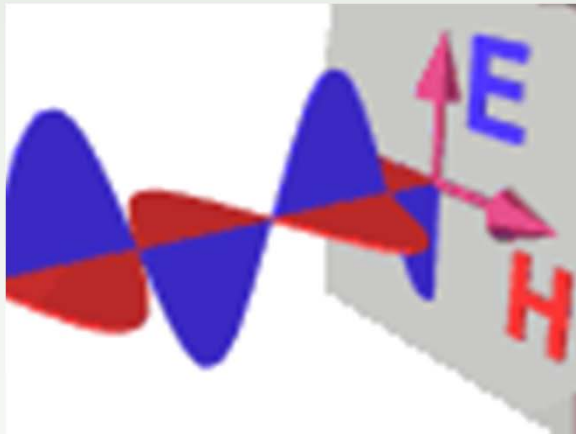




- ▶ Buka i vibracije predstavljaju talasna mehanička kretanja koja nastaju oscilovanjem tela i čestica elastične sredine oko svog ravnotežnog položaja.
- ▶ Mehanička talasna kretanja se prenose u isključivo neprekidnoj (elastičnoj) materijalnoj sredini (gasovi, tečnosti, čvrsta tela).



- ▶ Elektromagnetna zračenja predstavljaju elektromagnetna talasna kretanja koja mogu da nastanu i da se prenose kako u materijalnoj sredini, tako i vakuumu (bezvazдушnom prostoru) brzinom svetlosti.
- ▶ Elektromagnetno zračenje predstavlja energiju koju elektromagnetni talasi ili materijalne čestice prenose kroz prostor.



⊕ kvant

Kvant predstavlja nedeljivu, najmanju količinu energije koja se javlja u elementarnim procesima.

⊕ foton

Foton je kvant elektromagnetnog zračenja. Nosilac je elektromagnetne sile (Lorenove sile) koja deluje među naelektrisanim česticama unutar elektromagnetnog polja. Foton nema masu u mirovanju i naelektrisanje, a istovremeno je svoja antičestica.

⊕ antičestica

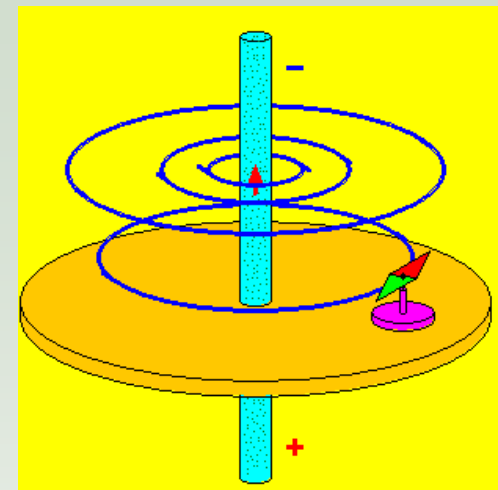
Svaka čestica ima svoju antičesticu. Antičestica ima istu masu kao i čestica, ali ima obrnuto naelektrisanje. Čestica i antičestica mogu da unište jedna drugu ako se nalaze u odgovarajućem kvantnom stanju.

► Osnovni pojmovi:



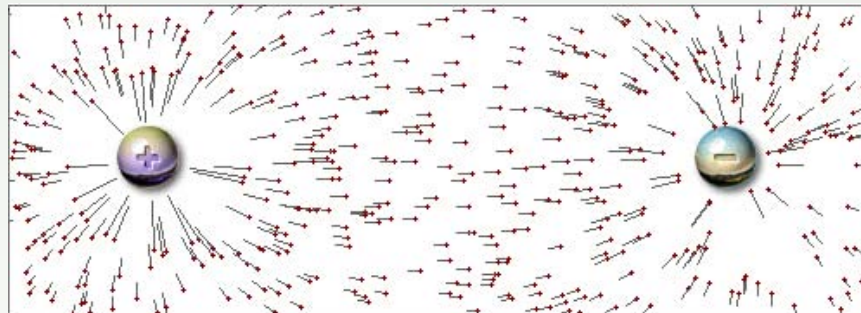
magnetno polje

Magnetno polje je nosilac magnetne interakcije (odnosno magnetne sile koja deluje na naelektrisanu česticu u magnetnom polju). Ovo polje proizvode naelektrisane čestice u kretanju. Polje se opisuje magnetnom indukcijom – B i jačinom magnetnog polja H .



električno polje

Električno polje je nosilac električne (Kulonove) sile koja deluje na naelektrisanu česticu u električnom polju. Ovo polje proizvode naelektrisane čestice u kretanju. Polje se opisuje jačinom električnog polja E .

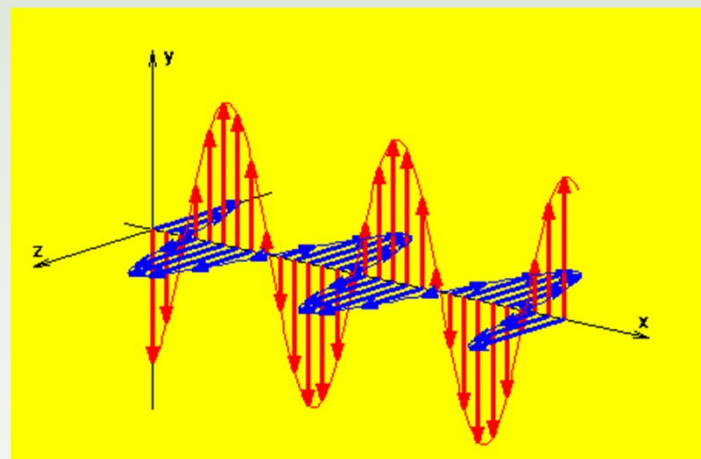


► Osnovni pojmovi:

⊕ elektromagnetni talas

Elektromagnetni talas (elektromagnetno zračenje) je kombinacija oscilujućeg električnog i magnetnog polja koja zajedno putuju kroz prostor u obliku međusobno upravnih talasa. Naizmenično. magnetno polje izaziva vrtložno vremenski promenljivo električno polje, a vrtložno električno polje izaziva promenljivo magnetno polje.

Polja se karakterišu vektorima jačine električnog polja i jačine magnetnog polja koji su međusobno upravni, a ravan koju formiraju ova dva vektora je upravna na pravac prostiranja - transverzalni talasi.



► Osnovni pojmovi:

⊕ jon

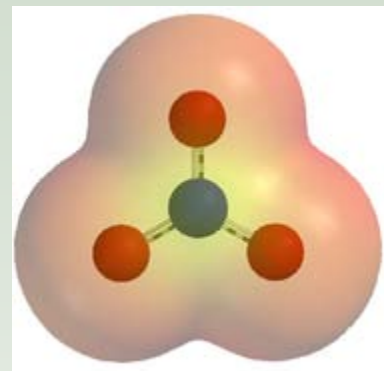
Jon je atom ili molekul koji je izgubio ili dobio jedan ili više elektrona postajući na taj način pozitivno ili negativno naelektrisan.

Pozitivno naelektrisani jon koji ima više elektrona u njegovim orbitama od protona u jezgri naziva se anjon.

Katjon je negativno naelektrisani jon sa manje elektrona od protona.

⊕ jonizacija

Jonizacija je fizički proces konvertovanja atoma ili molekula u jon dodavanjem ili uklanjanjem druge naelektrisane čestice ili jona.



► Osnovni jednačine:

⊕ energija fotona

Foton se u vakuumu kreće brzinom svetlosti i ima energiju:

$$E = h \nu [eV]$$

✓ h – Plankova konstanta

✓ ν – frekvencija fotona

$$h = 6.6 \cdot 10^{-34} \text{ J/s} = 4.1 \cdot 10^{-15} \text{ eV/s}$$

⊕ talasna dužina

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

✓ c – brzina svetlosti

$$c = 300000 \text{ km/s}$$

vakuum

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

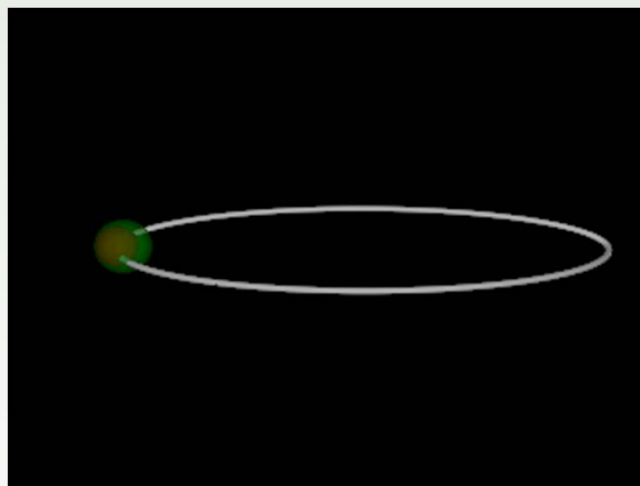
► Elektromagnetna zračenja se mogu podeliti na:

⊕ nejonizujuća zračenja

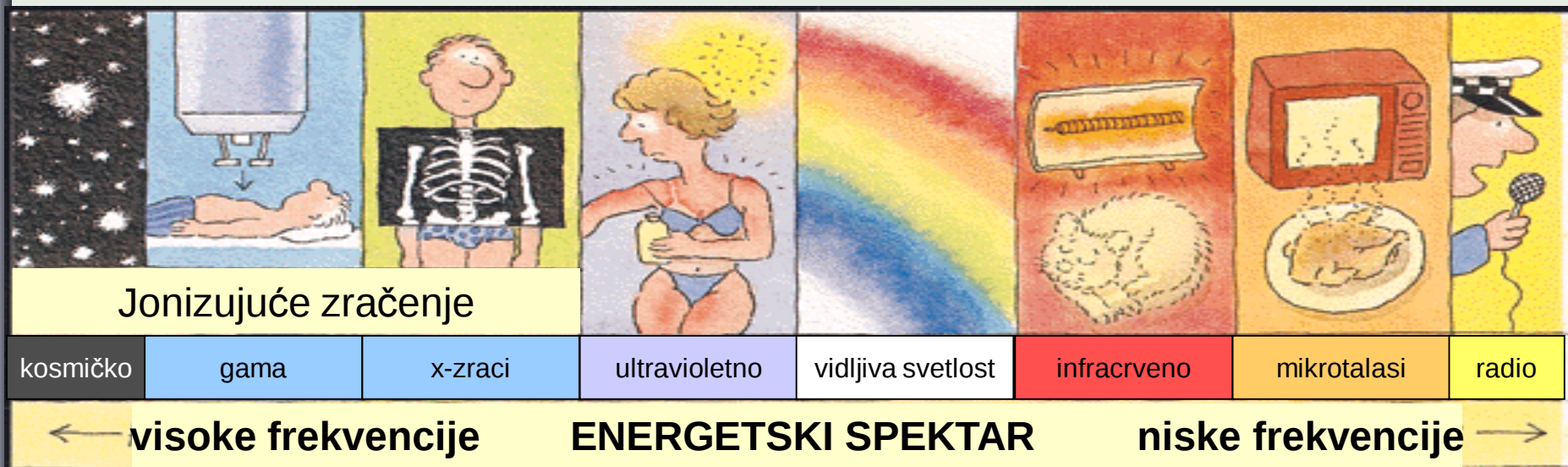
Svi oblici elektromagnetnih zračenja koja u interakciji sa materijom nemaju dovoljno energije da izvrše jonizaciju materije. Odnose se na deo spektra čija je energija fotona manja od 12eV. Obuhvataju sva elektromagnetna zračenja čija je talasna dužina veća od 100nm. U nejonizujuća zračenja spadaju zračenja nižih energija kao električna i optička zračenja.

⊕ jonizujuća zračenja

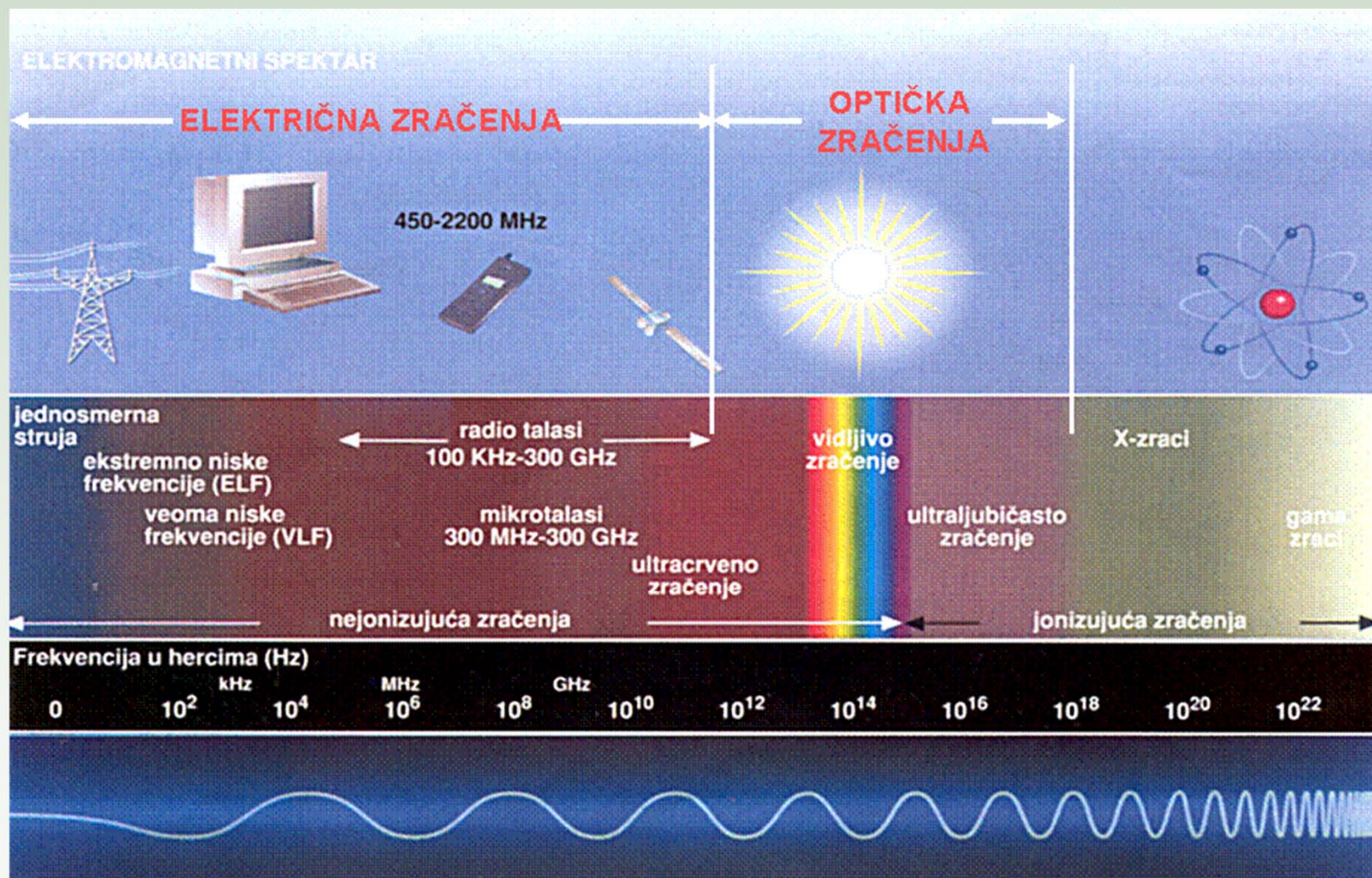
Kvantno-korpuskularna zračenja čija je energija fotona ili čestice u kretanju veća od 12eV. Njihova interakcija vrši jonizaciju materije. Elektromagnetna zračenja visokih energija, rendgensko i gama zračenje i sva čestična zračenja su jonizujuća.



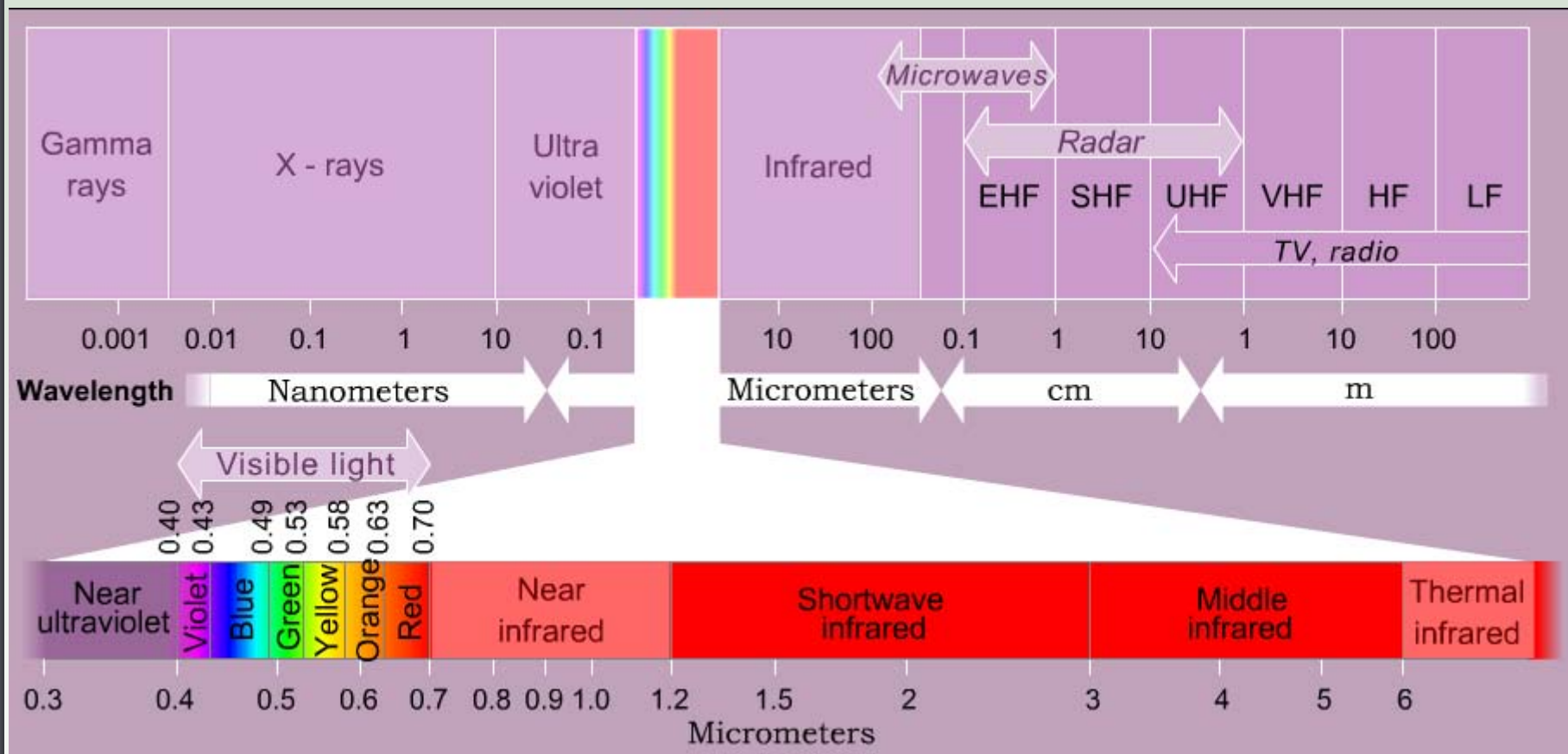
- ▶ Elektromagnetna zračenja se mogu podeliti na:
 - ⊕ jonizujuća zračenja
 - ⊕ optička zračenja
 - ⊕ električna zračenja
- ▶ Elektromagnetni talasi se javljaju u različitim oblicima i sa različitim talasnim dužinama.
Deo su elektromagnetnog spektra od veoma malih do veoma velikih talasnih dužina.



► Podela elektromagnetnog spektra u odnosu na frekvenciju

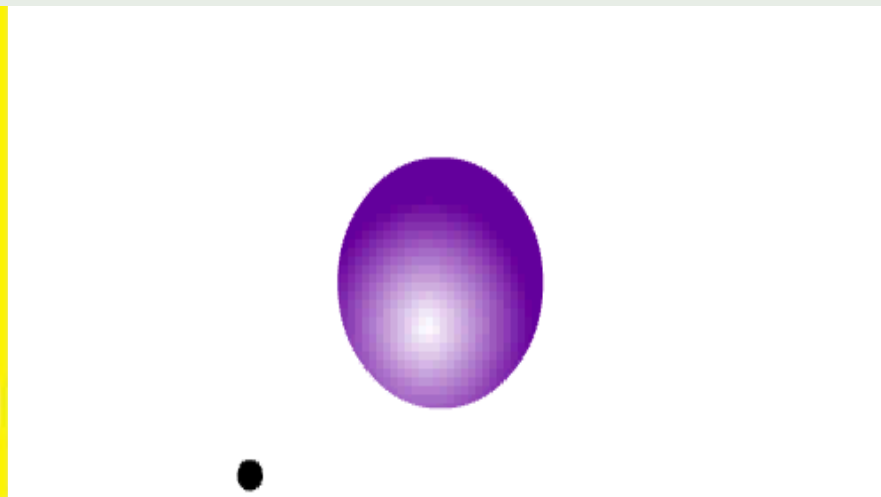
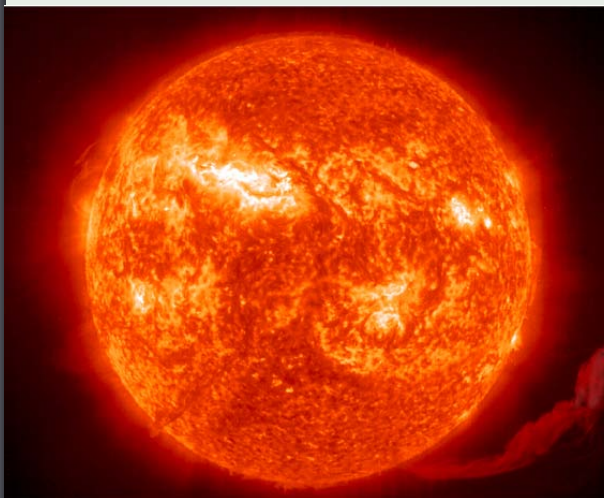


- Podela elektromagentnog spektra u odnosu na talasnu dužinu

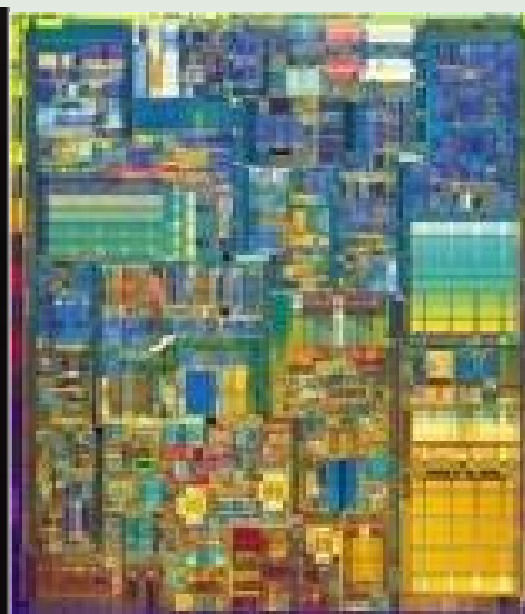
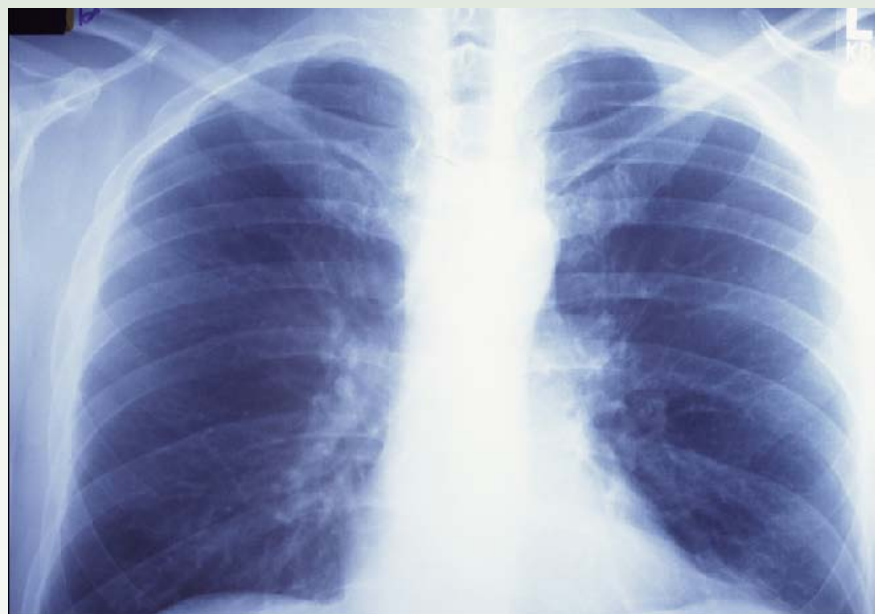


▶ Jonizujuće zračenje - Gama zraci

- ✓ elektromagnetni talasi sa najkraćom talasnom dužinom - svi talasi manji od 0.0001nm
- ✓ elektromagnetni talasi sa najvećom frekvencijom
- ✓ elektromagnetni talasi veoma visoke energije
- ✓ mogu biti veoma opasni po zdravlje
- ✓ Sunce emituje gama zrake ali oni ne mogu lako da napuste Sunčev sistem

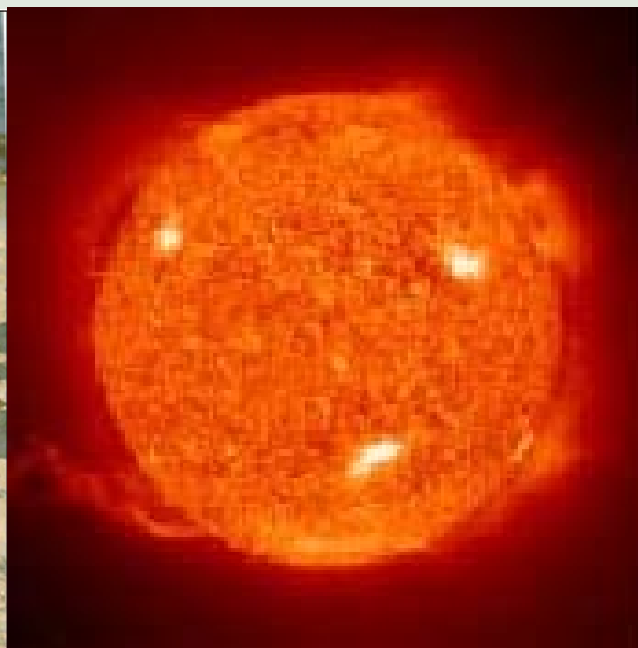


- ▶ Jonizujuće zračenje - **X zraci** (rengenski zraci)
 - ✓ elektromagnetni talasi sa talasnim dužinama od 0.001nm do 0.1nm
 - ✓ dimenzije mikroprocesora iz 2002 su uporedljive sa talasnom dužinom X zraka
 - ✓ elektromagnetni talasi veoma visoke energije
 - ✓ mogu biti opasni po zdravlje ali i korisni



► Optičko nejonizujuće zračenje - Ultravioletno zračenje

- ✓ elektromagnetni talasi sa talasnim dužinama od 10nm do 400nm
- ✓ dimenzija 1nm je veličina virusa
- ✓ osećaju se kao toplota npr. sunčevih zraka
- ✓ mogu biti opasni po zdravlje



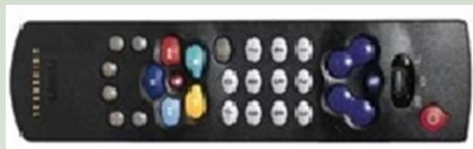
► Optičko nejonizujuće zračenje - Vidljiva svetlost

- ✓ elektromagnetni talasi sa talasnim dužinama od $0.4\mu\text{m}$ do $0.7\mu\text{m}$
- ✓ jedini deo spektra koji je vidljiv
- ✓ može se podeliti na opsege boja: od ljubičaste preko plave, zelene i žute do crvene
- ✓ svaka boja ima svoju talasnu dužinu



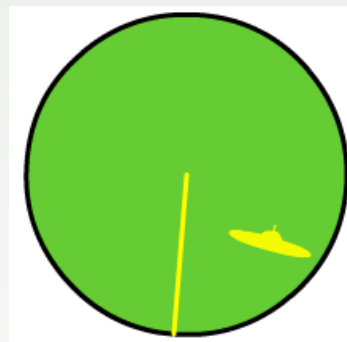
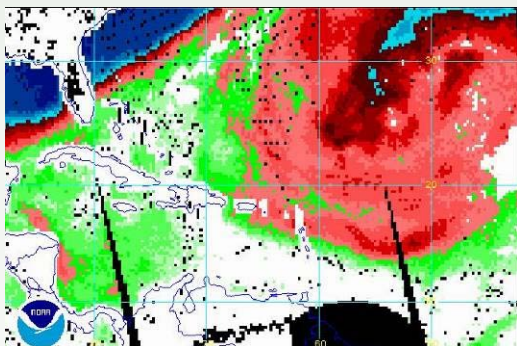
▶ Optičko nejonizujuće zračenje - **Infracrveno zračenje**

- ✓ elektromagnetni talasi sa talasnim dužinama od $0.7\mu\text{m}$ do $1000\mu\text{m}$



▶ Električno nejonizujuće zračenje - **Mikrotalasno zračenje**

- ✓ elektromagnetni talasi sa talasnim dužinama od 0.1cm do 10cm
- ✓ elektromagnetni talasi sa frekvencijama od 300MHz do 300GHz
- ✓ koriste se u radarskoj tehnici
- ✓ osobine su sličnije radio-talasima nego vidljivoj svetlosti

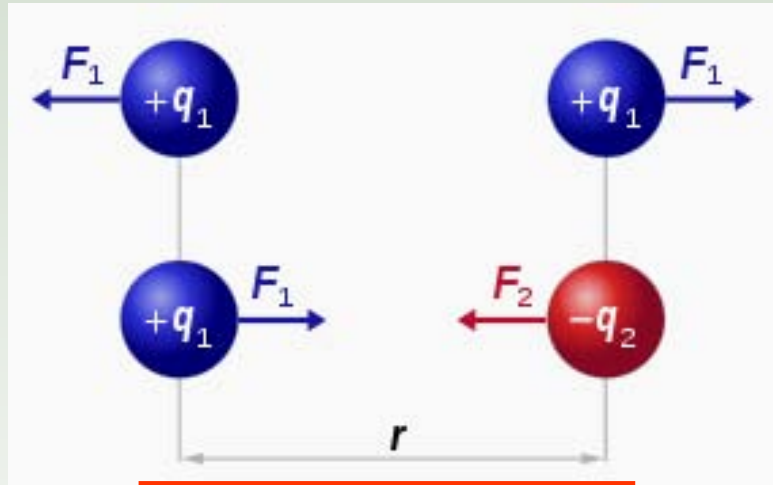


► Električno nejonizujuće zračenje - **Radio talasi**

- ✓ elektromagnetni talasi sa talasnim dužinama od 10cm do 1000m
- ✓ elektromagnetni talasi sa frekvencijama od 100kHz do 300GHz



- ▶ Elektrostatičke sile se javljaju između naelektrisanih tela i čestica.
- ▶ Primećeno je da se dva istoimena naelektrisanja odbijaju a raznoimena privlače odgovarajućim silama.
- ▶ Dva naelektrisana tela beskonačno malih dimenzija, u odsustvu drugih naelektrisanih tela, deluju jedno na drugo silom čiji je intezitet srazmeran proizvodu njihovih naelektrisanja a obrnuto srazmeran kvadratu rastojanja.
- ▶ Sila se nalazi na pravcu koji spaja posmatrana naelektrisana tela a smer je takav da se tela odbijaju ako su naelektrisanja istog znaka, a privlače ako su naelektrisanja suprotnog znaka.
- ▶ Elektrostatička sila je vektor.

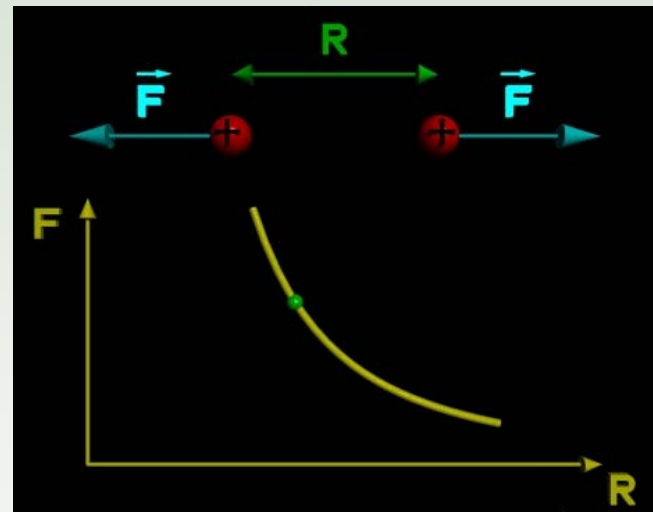
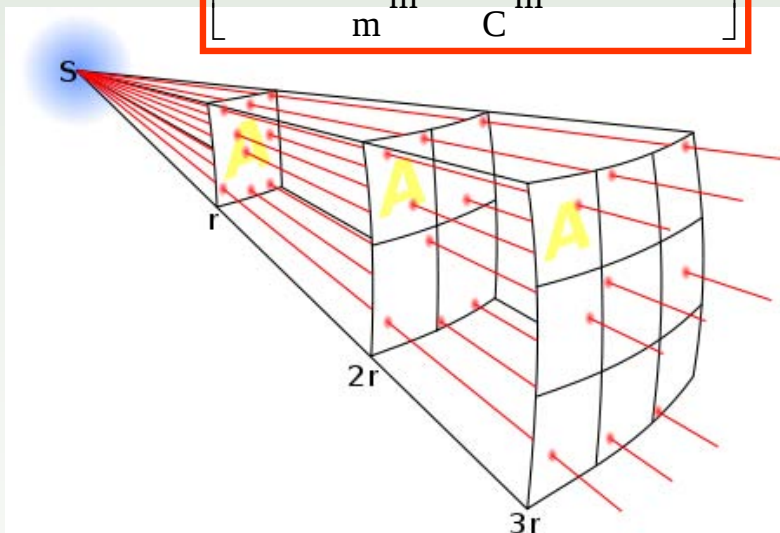


$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

- ▶ Električna (elektrostatička ili Kulonova sila) menja se u funkciji rastojanja po poznatom inverznom kvadratnom zakonu koji važi u mnogim oblastima fizike.
- ▶ Konstanta (ϵ_0) naziva se dielektrična konstanta i ima vrednost u vakuumu:

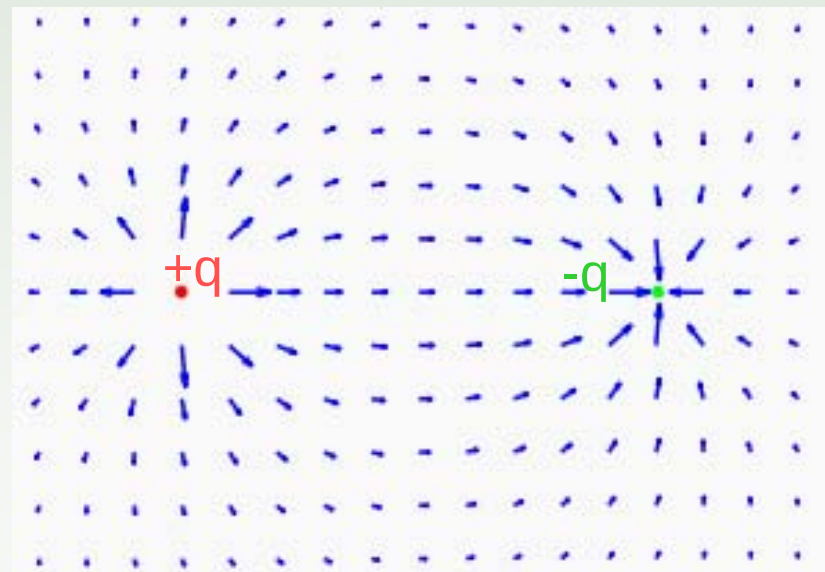
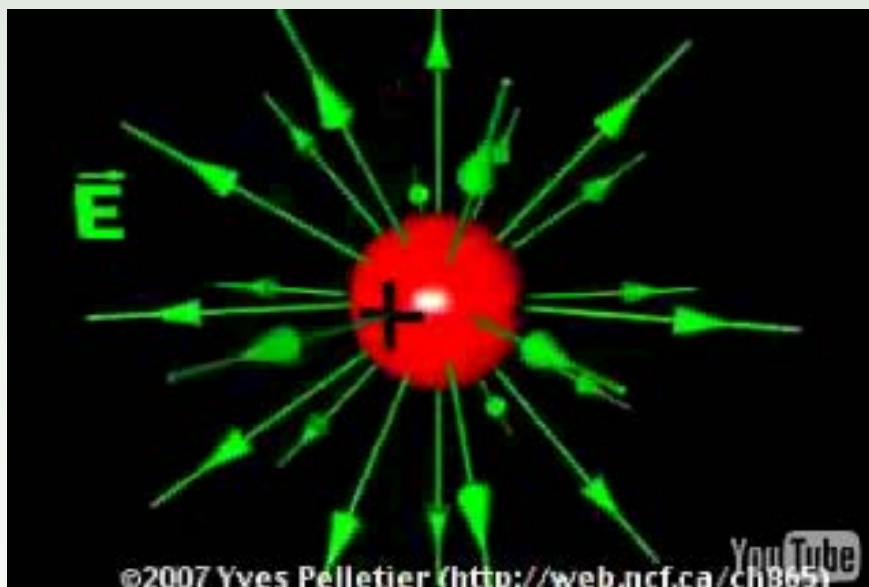
$$\epsilon_0 = (8.85419 \pm 0.00002) \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}.$$

$$\left[\frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2} = \frac{\text{C}^2}{\frac{\text{J}}{\text{m}} \text{m}^2} = \frac{\text{C}}{\frac{\text{J}}{\text{C}} \text{m}} = \frac{\text{C}}{\text{Vm}} = \frac{\text{F}}{\text{m}} \right]$$



$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} [\text{N}]$$

- ▶ Svako naelektrisanje oko sebe stvara posebno stanje sredine koje se zove električno ili elektrostatičko polje a manifestuje se postojanjem elektrostatičke sile koja deluje na drugo uneto naelektrisanje u to polje.
- ▶ Sila koja deluje na uneta različita probna naelektrisanje je direktno proporcionalna tim naelektrisanjima i jačini električnog polja.



- ▶ Jačina električnog polja se definiše kao količnik električne sile kojom polje deluje na probno naelektrisanje i same količine naelektrisanja.

$$E = \frac{F_E}{q_0} [\text{V/m}]$$

$$\left[\frac{\text{N}}{\text{C}} = \frac{\text{J}}{\text{mC}} = \frac{\text{V}}{\text{m}} \right]$$

- ▶ Jačina električnog polja je vektorska veličina sa istim pravcem i smerom kao i Kulonova sila.
- ▶ Za tačkasto naelektrisanje jačina električnog polja (za vakuum) oko njega se direktno određuje iz Kulonovog zakona:

$$E = \frac{F_E}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}$$

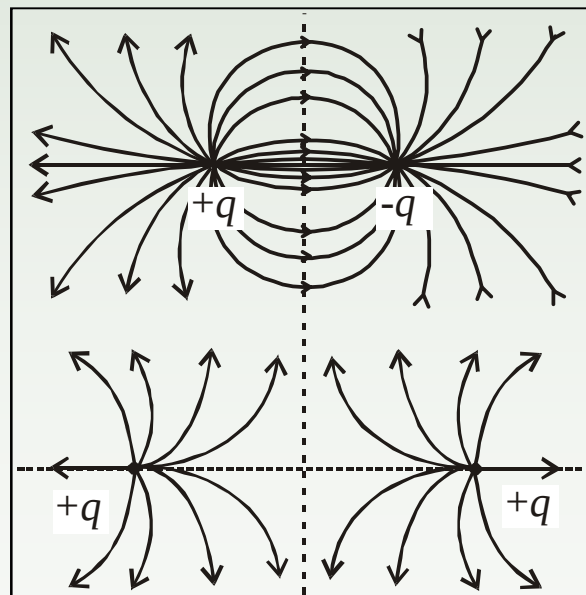
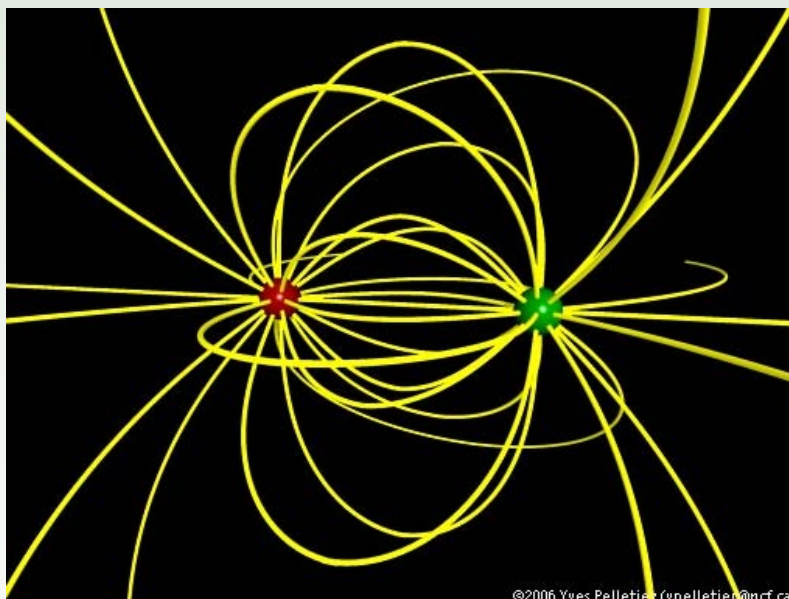
$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

- ▶ Za bilo koju sredinu:

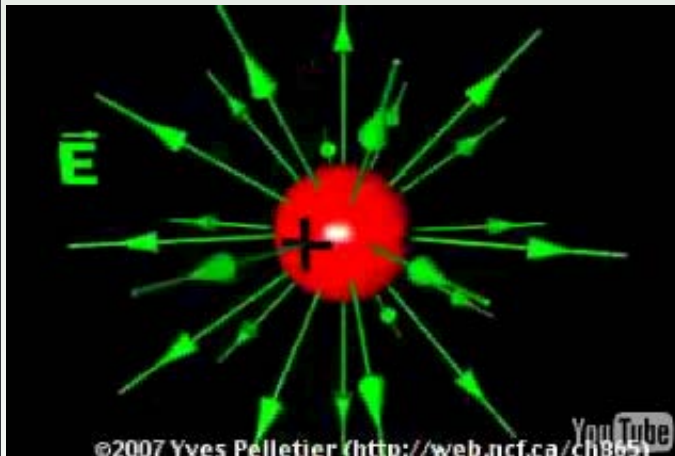
$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \frac{q}{r^2}$$

Konstanta (ϵ_r) naziva se relativna dielektrična konstanta sredine

- ▶ Radi slikovitijeg prikazivanja električnog polja uveden je pojam linija električnih polja.
- ▶ Linija električnog polja pokazuje smer vektora jačine polja. U svakoj tački linije, tangenta linije se poklapa sa pravcem vektora jačine polja.
- ▶ Električno polje je izvorno polje, linije polja imaju početak (na pozitivnom naelektrisanju) i kraj (na negativnom).



- ▶ Fluks vektora električnog polja ili električni fluks predstavlja broj linija električnog polja koji prolazi kroz posmatranu zatvorenu površinu.
- ▶ Neka se u centru zamišljene sfere poluprečnika r nalazi tačkasto naelektrisanje q .
- ▶ U svim tačkama ove sferne površine električno polje ima istu jačinu i radijalan pravac.
- ▶ Broj linija polja (fluks) koje prolaze kroz površinu S :



$$\Phi = E S = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{4\pi r^2}{r^2} = \frac{q}{\epsilon_0}$$

Gausova teorema za tačkasto naelektrisanje

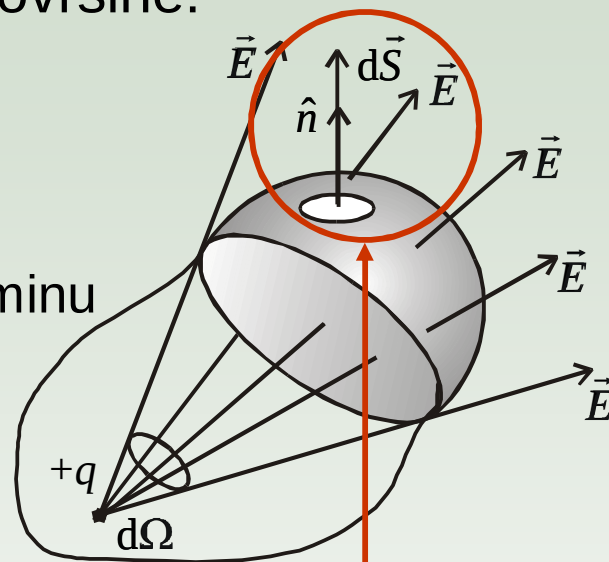
Fluks kroz proizvoljnu zatvorenu površinu proporcionalan je količniku naelektrisanja obuhvaćenog tom površinom.

Fluks ne zavisi od oblika zatvorene površine niti od rasporeda naelektrisanja u njoj

- U opštem slučaju ukupni fluks se može izračunati preko površinskog integrala skalarnog proizvoda vektora jačine električnog polja i vektora elementarne površine:

$$\Phi_E = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} [\text{Vm}]$$

gde je **S** - površina koja ograničava zapreminu u kojoj se nalazi naelektrisanja

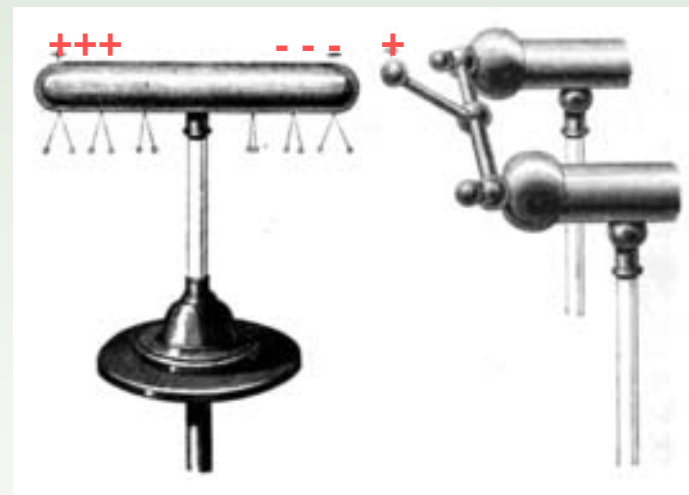


- Tačka u gornjem izrazu označava skalarni proizvod vektora:

$$\vec{E} \cdot d\vec{S} = EdS \cos \theta$$

gde je: θ - ugao između vektora jačine električnog polja i vektora elementarne površine (vektor upravan na tu površinu).

- ▶ Svako telo ima jednak broj pozitivnih i negativnih naelektrisanja tako da je električno neutralano.
- ▶ Ako se nenaelektrisano telo unese pored naelektrisanog, u njegovo električno polje, elektrostatička sila dovešće do odvajanja naelektrisanja na telu.
- ▶ Npr. negativno naelektrisanje se odvaja ka naelektrisanom telu, a na suprotnom delu se izdvajaju pozitivna naelektrisanja.
- ▶ Ova pojava se naziva **elektrostatička indukcija**.
- ▶ Razdvajanje naelektrisanja dovodi do njihovog kretanja što dovodi do pojave električne struje.
- ▶ Električno polje vrši indukciju električne struje.



- ▶ Električna indukcija je vektorska veličina, proporcionalna jačini električnog polja i dielektričnoj konstanti:

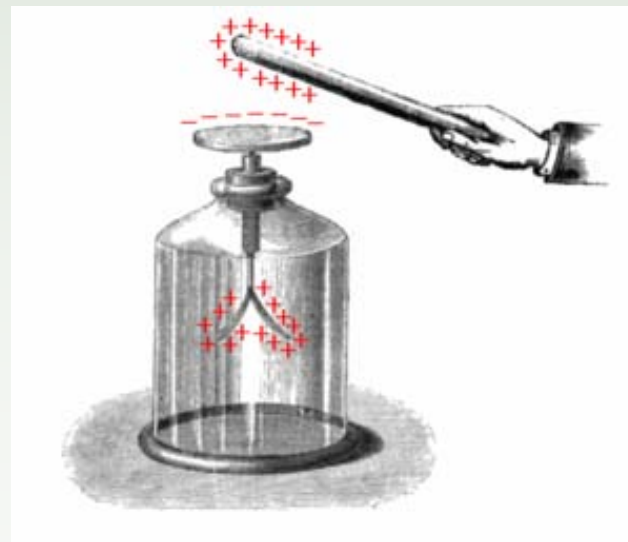
$$\vec{D} = \varepsilon_0 \varepsilon_r \vec{E} [\text{C/m}^2]$$

- ▶ Za tačkasto naelektrisanje:

$$D = \frac{q}{4\pi r^2}$$

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r} \frac{q}{r^2}$$

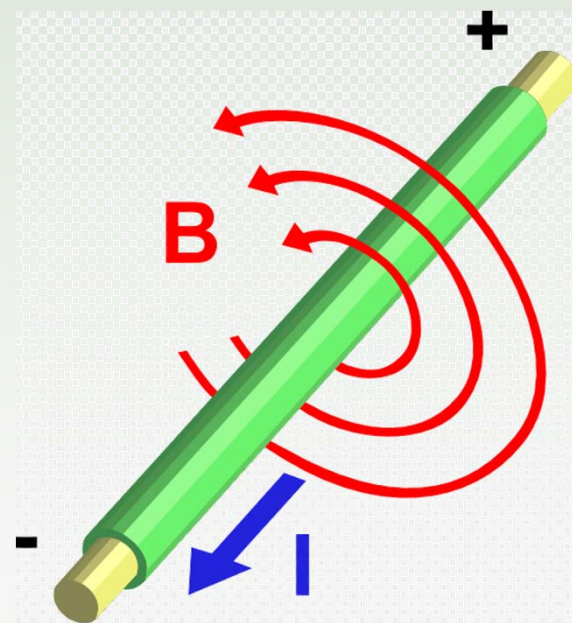
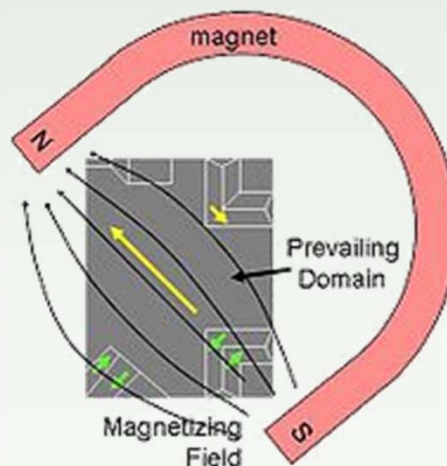
- ▶ Vektor električne indukcije ima prirodu površinske gustine naelektrisanja, a intenzitet mu je jednak količini naelektrisanja koja se pomeri kroz jediničnu površinu.



PITANJA

1. Elektromagnetni spektar.
2. Elektrostatička sila.
3. Jačina električnog polja.
4. Fluks vektora električnog polja.
5. Električna indukcija.

- ▶ Magnetno polje je vektorsko polje koje može delovati magnetnom silom na električno naelektrisanje i na magnetne dipole (kao što su permanentni magneti).
- ▶ Magnetno polje može biti kreirano na više načina:
 - ⊗ električna struja (pokretna naelektrisanja)
 - ⊗ magnetni dipoli
 - ⊗ promenljivo električno polje

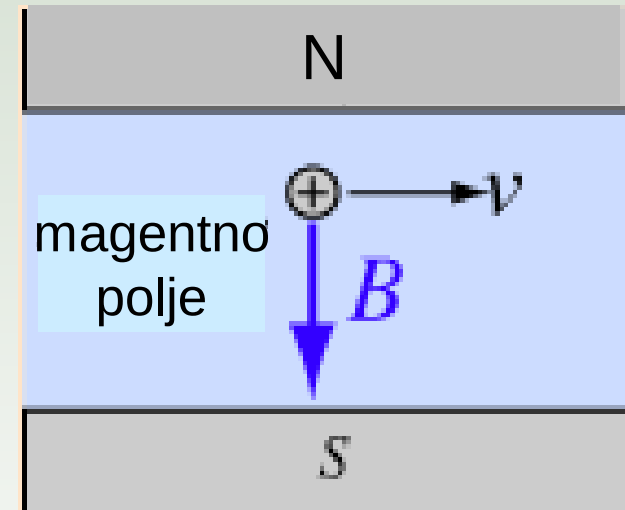


- ▶ Na naelektrisanje koje se unese u magnetno polje deluje magnetna sila.
- ▶ **Kulon** je analogno uzajamnom dejstvu naelektrisanja postavio zakon o uzajamnom dejstvu magnetnih polova stalnog magneta, čija je matematička formulacija:

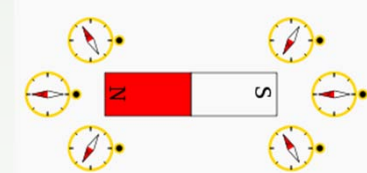
$$F_m = k' \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

gde su: m_1 i m_2 magnetne mase polova magneta, a k' - konstanta proporcionalnosti, r - rastojanje između magnetnih polova.

- ▶ Do potvrde valjanosti gornje jednačine može se doći nakon definisanja ostalih veličina magnetnog polja.



⊕ pravac sile ka ravni



- ▶ Magnetno polje je oblik fizičkog stanja koje se u okolnom prostoru (npr. oko magneta), manifestuje magnetom silom, kojom polje deluje na drugo nenamagnetisano telo uneto u to polje.
- ▶ U okolini tačkastog naelektrisanja koje se kreće stvara se magnetno polje čija je jačina:

$$H = \frac{1}{4\pi\mu_0} \frac{m}{r^2} [\text{A/m}]$$

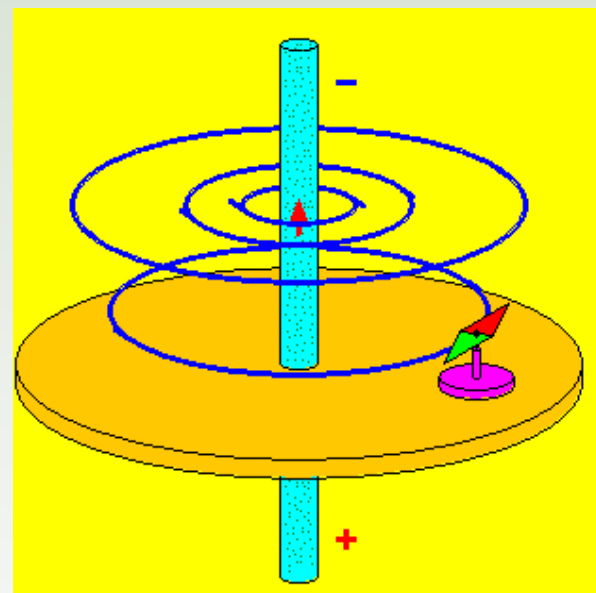
gde je: μ_0 - magnetna permabilnost vakuma.

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} [\text{H/m}]$$

- ▶ Za bilo koju drugu sredinu:

$$H = \frac{1}{4\pi\mu_0\mu_r} \frac{m}{r^2}$$

gde je: μ_r - relativna permabilnost sredine.



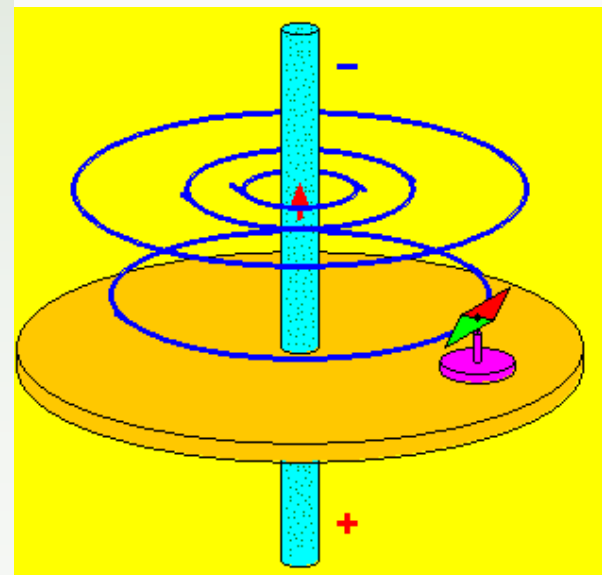
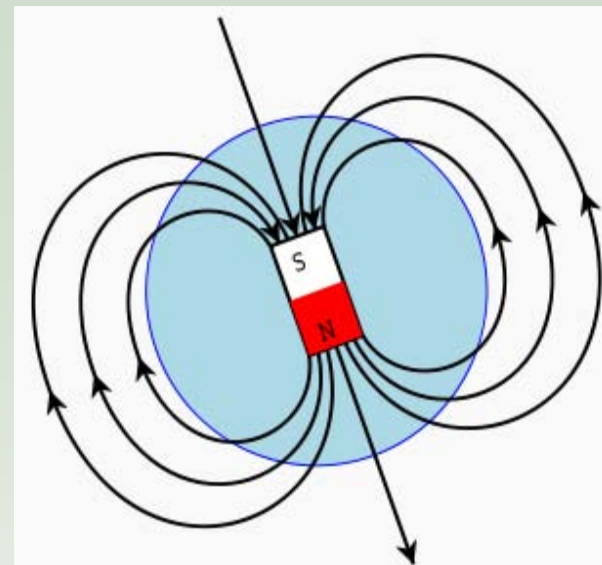
- ▶ Druga veličina koja opisuje magnetno polje je **magnetna indukcija** ($\vec{B}$), koja se u skladu sa analogijom sa električnom indukcijom može napisati

$$\vec{B} = \mu_0 \mu_r \vec{H} [\text{T}]$$

$$1[\text{T}] = 10^4 [\text{G}] (\text{gaus})$$

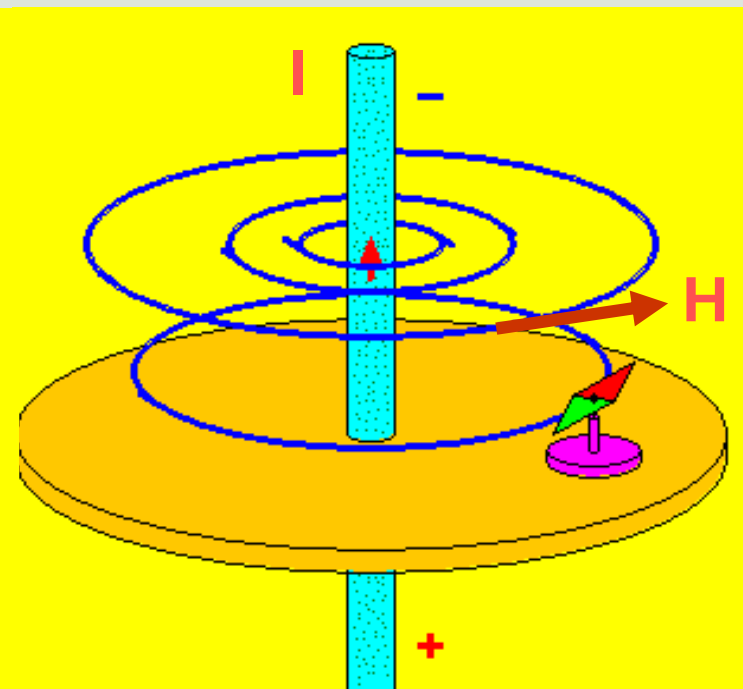
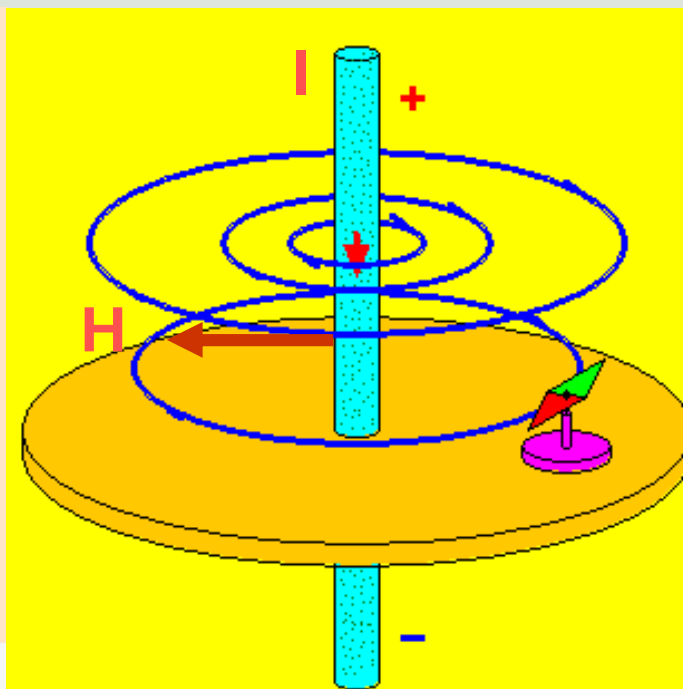
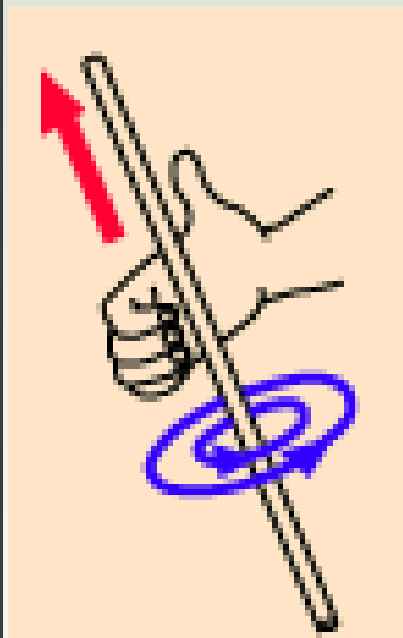
EMF merač

- ▶ Magnetna indukcija definiše broj magnetnih linija kroz jedinicu površine - naziva se i gustina magnetnog fluksa.
- ▶ Magnetno polje je bezizvirno, što znači da linije polja nemaju ni kraj ni početak (kružnice).
- ▶ . Vektori jačine polja i magnetne indukcije leže na tangenti linije magnetnog polja



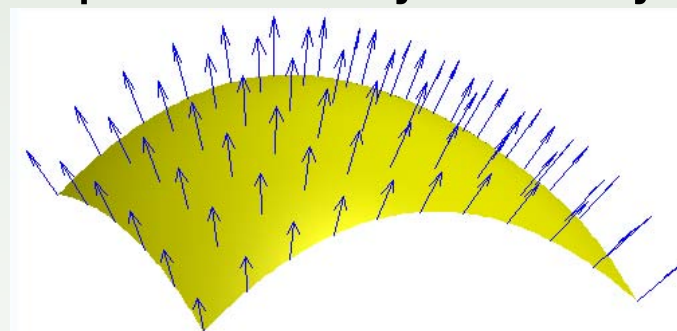
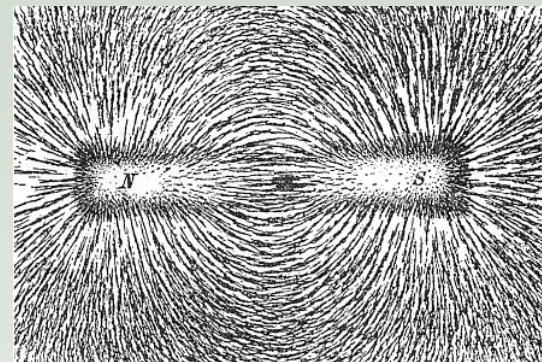
- Smer **vektora jačine magnetnog polja** ili magnetne indukcije određuje se pravilom desne ruke.

Ako **palac** pokazuje smer struje u provodniku prsti poluzatvorene ruke pokazuju smer vektora magnetnog polja.



- ▶ Magnetni fluks je merilo magnetizma nekog materijala, odnosno osobine materijala da deluje privlačnom ili odbojnom silom na druge materijale.
- ▶ Zavisi od jačine magnetnog polja i određuje broj magnetnih linija kroz neku površinu **S** koja se oslanja na zatvorenu konturu C.
- ▶ Definiše se površinskim integralom skalarnog proizvoda vektora magnetne indukcije i vektora površine a jedinica je veber:

$$\Phi_m = \iint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} [\text{Wb}]$$
- ▶ Magnetni fluks kroz zatvorenu površinu jednak je nuli - Gausov zakon za magnetizam.

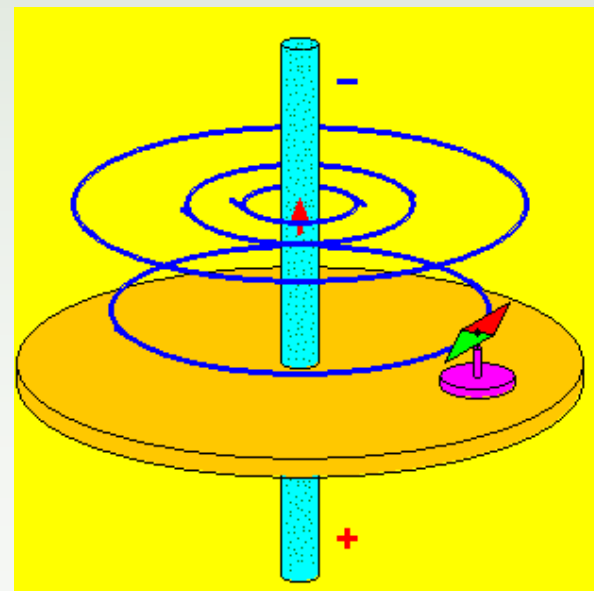


- ▶ Amperov zakon definiše magnetno polje stacionarnih struja.
- ▶ Ovom zakonu je prethodio **Bio-Savarov** zakon do koga se došlo eksperimentalnim putem.
- ▶ Otkriveno je da se oko provodnika kroz koji protiče električna struja formira magnetno polje istih karakteristika kao polje stalnog magneta.
- ▶ **Bio-Savarov** zakon daje vezu između stacionarnih struja u beskonačno dugom pravolinskom strujnom provodniku i magnetnog polja koje one stvaraju.

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

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

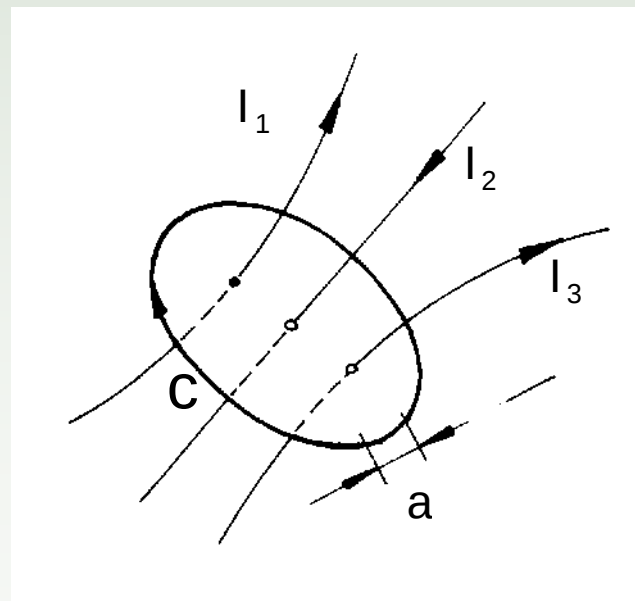
gde je r - rastojanje od provodnika.



- ▶ Polazeći od ovog eksperimentalnog otkrića Amper daje univerzalni obrazac za izračunavanje veličina magnetnih polja ($\mathbf{H}$ i $\mathbf{B}$) za bilo koji geometrijski oblik provodnika električne struje.
- ▶ Amperov zakon: Linijski ingegral vektora magnetnog polja ($\mathbf{H}$ i $\mathbf{B}$) po proizvoljnoj zatvorenoj konturi je srazmeran algebarskom zbiru struja koje protiču kroz površinu koja se oslanja na tu konturu.

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

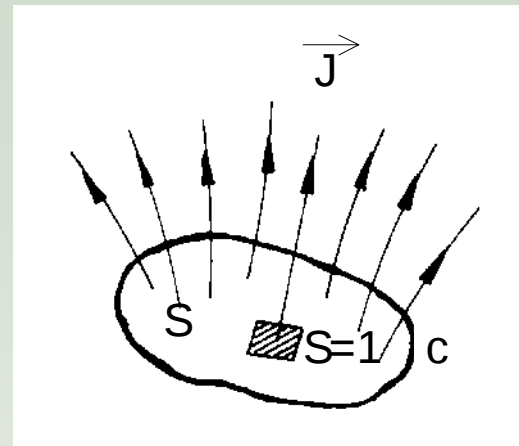
$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \mu_r \sum I$$



- Za slučaj prostorne raspodele strujnog polja:

$$\oint_c \vec{H} \cdot d\vec{l} = \iint_S \vec{J} \cdot d\vec{S}$$

$$\oint_c \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \mu_r \iint_S \vec{J} \cdot d\vec{S}$$



- Primer: solenoid

$$BL = \mu NI$$

$$B = \mu \frac{N}{L} I$$

$$B = \mu n I$$

gde je:

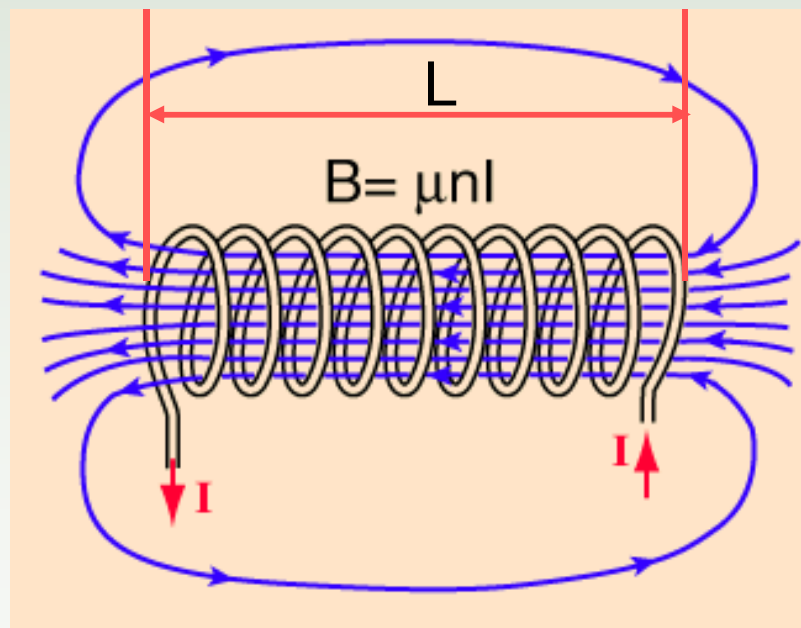
L - dužina solenoida

N - ukupan broj namotaja

n - gustina namotaja (broj namotaja po jedinici dužine)

μ - permabilnost sredine.

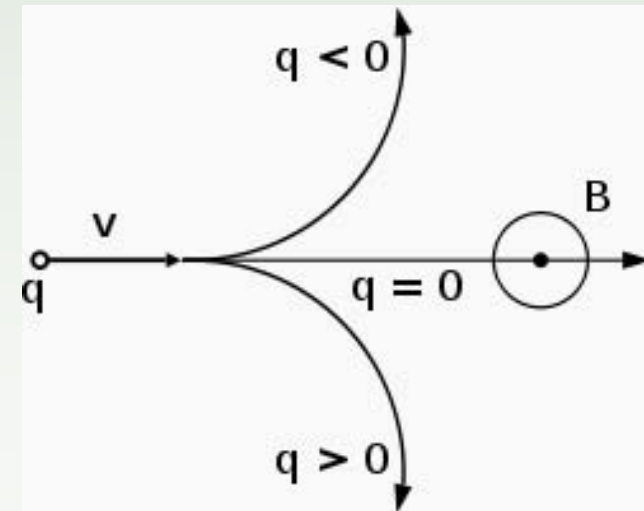
$$\mu = \mu_0 \mu_r$$



- ▶ Prethodni zakoni definišu magnetno polje oko provodnika kroz koji protiče električna struja. Kako struju kroz provodnik čini usmereno kretanje elektrona, to znači da svaki elektron, krećući se kroz provodnik, učestvuje u formiranju magnetnog polja.
- ▶ Uopšteno bilo koja naelektrisana čestica (q), koja se kreće brzinom (v), stvara oko sebe magnetno polje čije se veličine na nekom rastojanju (r) od čestice mogu izračunati kao:

$$H = \frac{qv}{4\pi r^2}$$

$$B = \mu_0 \mu_r \frac{qv}{4\pi r^2}$$



- ▶ Kada se naelektrisana čestica q kreće brzinom v u magnetnom polju indukcije B na nju deluje magnetna sila koja se naziva **Lorencova sila**:

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

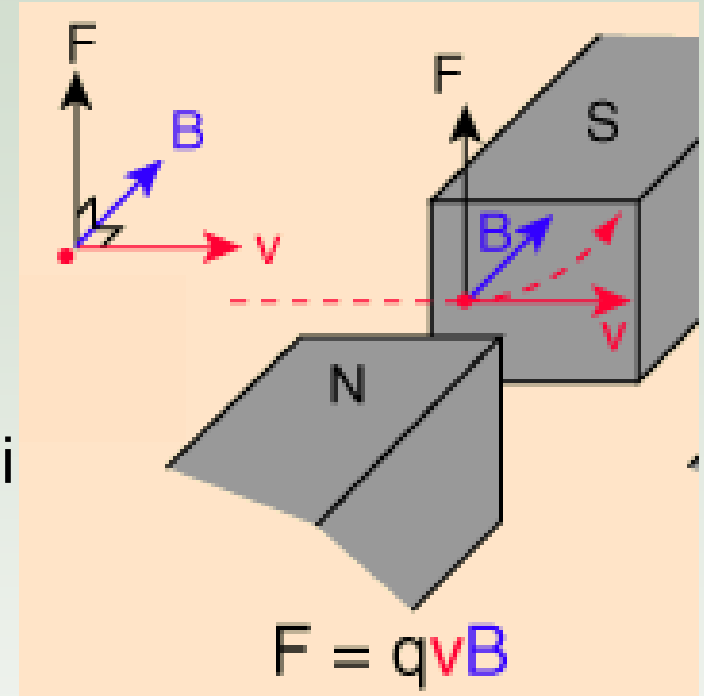
(x) - vektorski proizvod vektora

- ▶ Sila F je upravna i na vektor brzine i na vektor magnetnog polja
- ▶ Vrednost sile F određuje se kao:

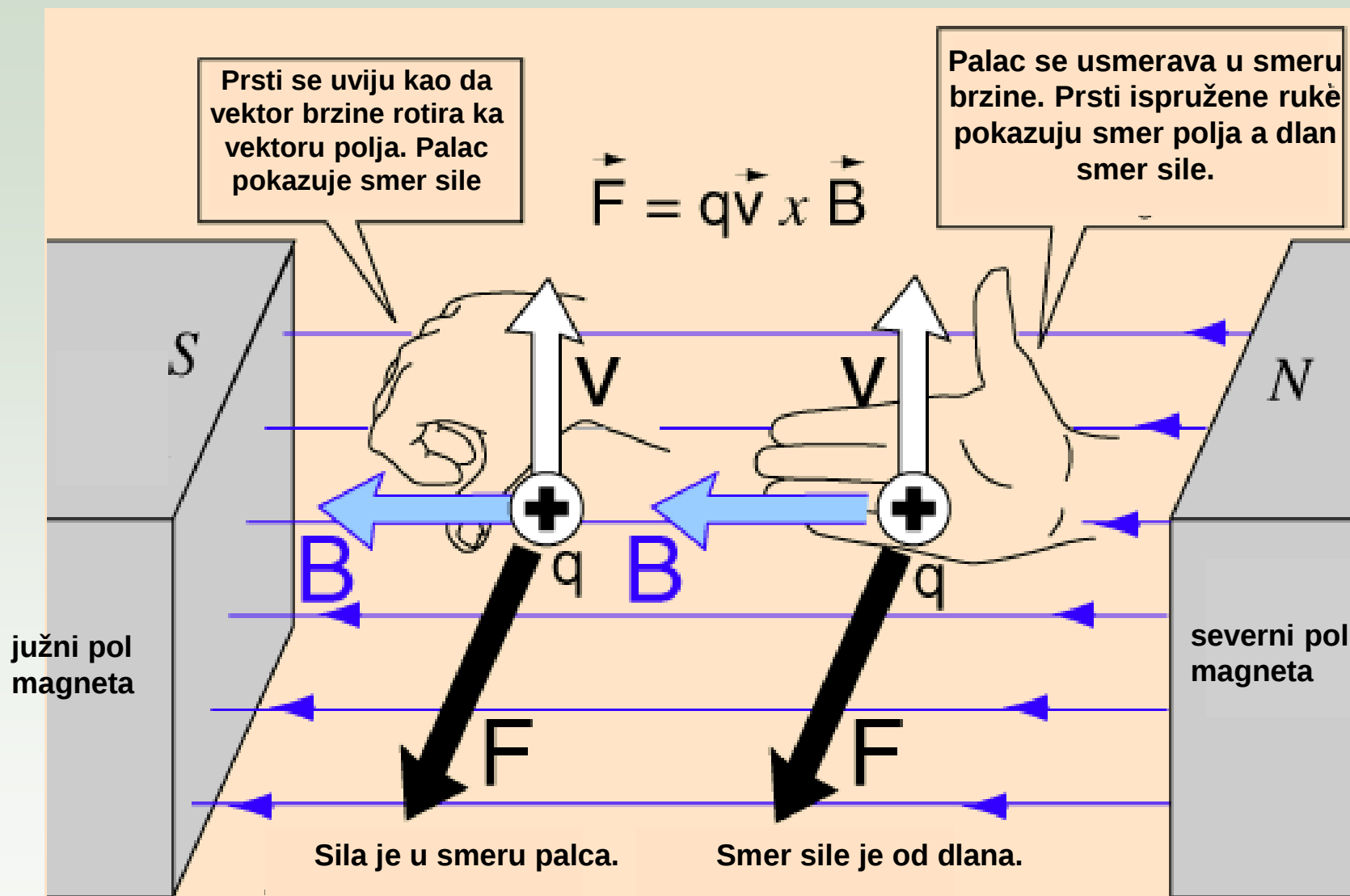
$$F = qvB \sin \theta$$

gde je: θ - ugao između vektora brzine i vektora magnetnog polja.

- ▶ Magnetna sila na nepokretno naelektrisanje ili naelektrisanje koje se kreće paralelno magnetnom polju je nula.



- ▶ Pravac sile se određuje pravilom desne ruke.



- ▶ Magnetne sile se javljaju između dva naelektrisanja koja se kreću brzinom v .
- ▶ Pokretno naelektrisanje q_1 formira magnetno polje magnetne indukcije B :

$$B = \mu_0 \frac{q_1 v}{4\pi r^2}$$

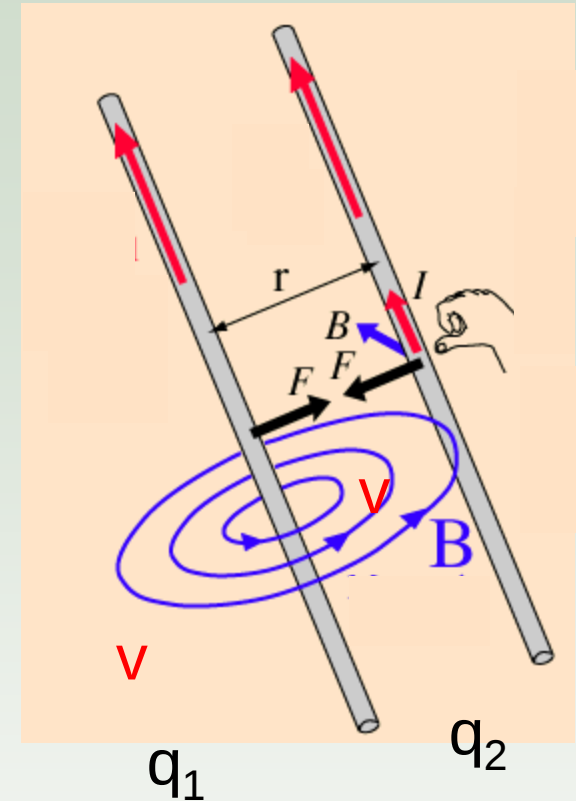
- ▶ Na pokretno naelektrisanje q_2 deluje Lorencova sila:

$$F_m = qvB = q_2 v \mu_0 \frac{q_1 v}{4\pi r^2}$$

- ▶ Gornja jednačina može se napisati kao:

$$F_m = qvB = \frac{1}{4\pi\mu_0} \frac{(\mu_0 q_1 v)(\mu_0 q_2 v)}{r^2} = k' \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

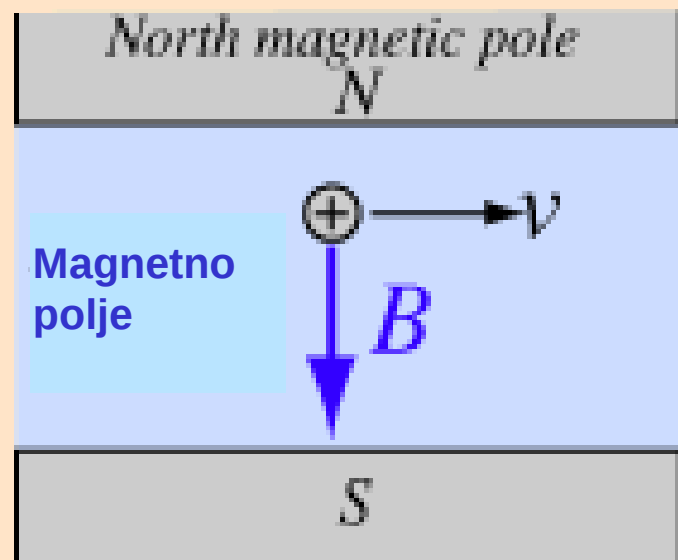
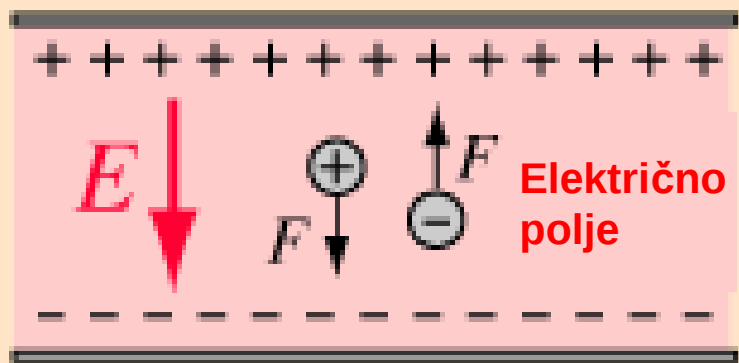
gde je sa m obeležena magnetna masa.



- ▶ Kada se naelektrisana čestica q nalazi u električnom i magnetnom polju na nju deluje ukupna sila:

$$\vec{F} = \vec{F}_E + \vec{F}_m = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$$

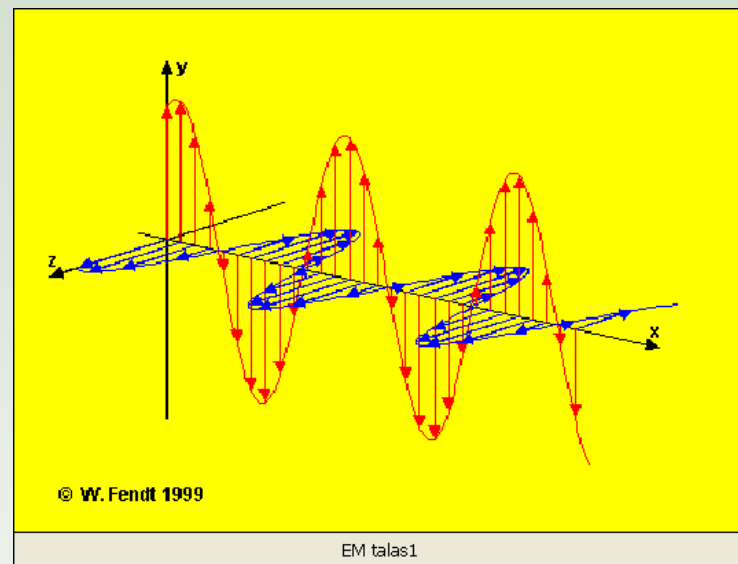
⊕ pravac magnetne sile ka ravni



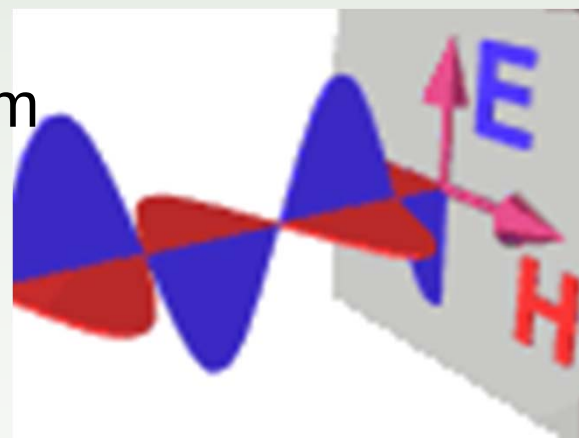
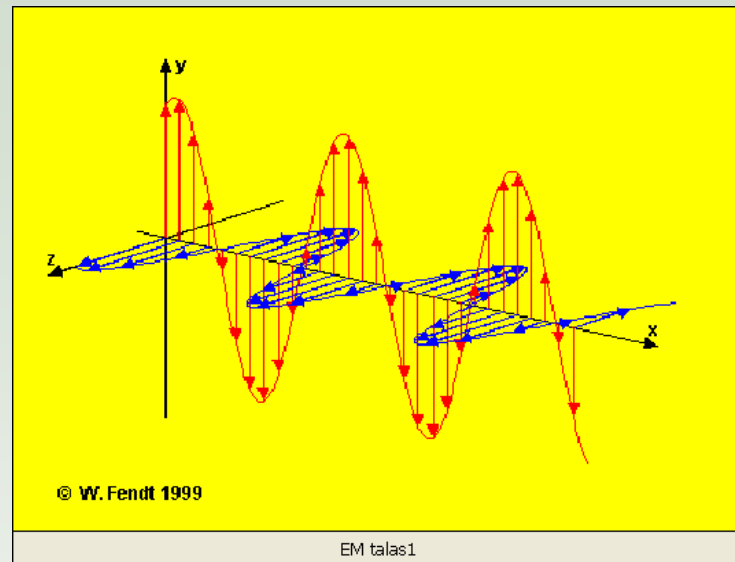
1. Jačina magnetnog polja.
2. Magnetna indukcija.
3. Magnetni fluks.
4. Magnetna sila.
5. Pravilo desne ruke



- ▶ Promenljiva električna i magnetna polja povezana su načelom indukcije.
- ▶ Svako vremenski promenljivo električno polje proizvodi vremenski promenljivo magnetno polje – **magnetnoelektrična indukcija**.
- ▶ Svako vremenski promenljivo magnetno polje proizvodi vremenski promenljivo električno polje – **elektromagnetna indukcija**.
- ▶ Ako se magnetno polje menja u vremenu, ta pojava u svojoj okolini izaziva pojavu vremenski promenljivog električnog polja. Tako promenljivo električno polje u svojoj okolini izaziva pojavu promenljivog magnetnog polja.



- ▶ Javlja se lančani proces uzajamnog stvaranja dva vremenski promenljiva polja odnosno elektromagnetni talas.
- ▶ Polja se karakterišu vektorima jačine električnog i magnetnog polja koji su uzajamno normalni.
- ▶ Ravan koju formiraju ova dva talasa je upravna na pravac prostiranja talasa tako da elektromagnetni talas spada u transverzalni talas.
- ▶ Smer kretanja talasa se određuje desnom rukom: ako se prstima sledi kraći put od **E** do **H** palac pokazuje smer talasa.
- ▶ Vektori mogu da menjaju pravac ali uvek ostaju uzajamno normalni.



- ▶ Elektromagnetni talasi se prostiru brzinom koja zavisi od dielektričnih i magnetnih osobina sredine:

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

gde je: ϵ dielektrična konstanta sredine, a μ permabilnost sredine

$$c = 300000 \text{ km/s}$$

vakuum

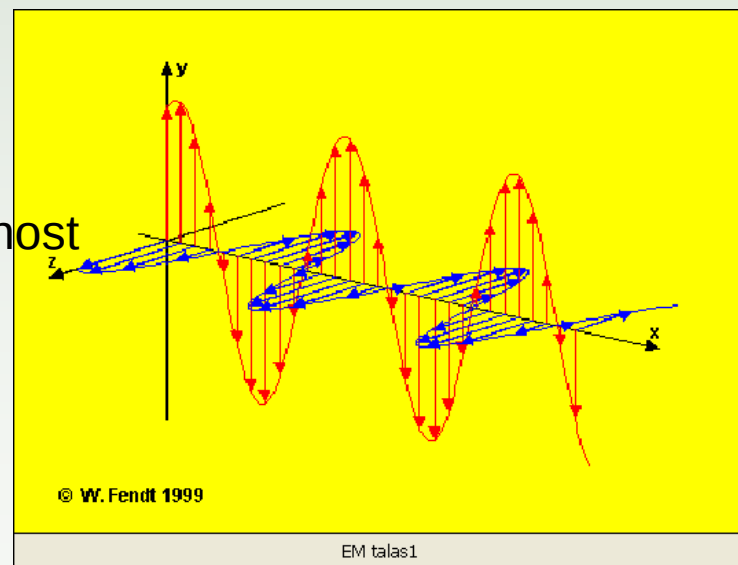
- ▶ Kod najjednostavnijeg tipa elektromagnetnog talasa – harmonijski elektromagnetni talas, komponente polja se menjaju po zakonu:

$$E_y = E \sin(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} y)$$

λ - talasna dužina
 ω - kružna učestanost
 E i H - amplitude

$$H_z = H \sin(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} z)$$

Električno polje u pravcu y ose, magnetno polje u pravcu z ose a smer kretanja talasa u pravcu x ose.



- ▶ Vektori jačine električnog i magnetnog polja su međusobno upravni a odnos njihovih amplituda određen je karakterističnom impedansom sredine:

$$\frac{E}{H} = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} = Z_k [\Omega]$$

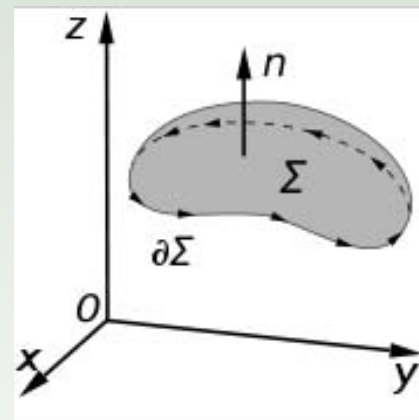
$$Z_k = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} = 377 \Omega$$

vakuum

- ▶ Vektori jačine električnog i magnetnog polja mogu imati komponente u sva tri međusobno ortogonalna pravca **x**, **y** i **z**.
- ▶ Ukupna jačina električnog i magnetnog polja se uzračunava kao:

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2}$$

$$H = \sqrt{H_x^2 + H_y^2 + H_z^2}$$



- ▶ Kao i svaki drugi talas i elektromagnetni talas prenosi energiju kroz prostor. Intenzitet elektromagnetnog zračenja definiše količinu energije koja se prenosi po jedinici površine:

$$\frac{E}{H} = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}$$

$$I_{zr} = EH = c\epsilon E^2 = c\mu H^2 \left[\text{W/m}^2 \right]$$

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

- ▶ Za emisije neusmerene antene koje zrače istu količinu energiju u svim pravcima) intenzitet zračenja se računa kao:

$$I_{zr} = \frac{P_{zr}}{4\pi r^2}$$

gde je P_{zr} [W] snaga zračenja antene, a
 r – rastojanje od antene

- ▶ Za emisije usmerene antene u određenom prostornom uglu Ω :

$$I_{zr} = \frac{P_{zr}}{\Omega r^2}$$

1. Elektromagnetni talasi - proces nastajanja.
2. Brzina, komponente polja, smer talasa.
3. Karakteristična impedansa sredine.
4. Intenzitet zračenja.



- ▶ Statička električna i magnetna polja su vremenski nepromenljiva polja.
- ▶ Prirodni izvori statičkih električnih polja su pojave razdvajanja električnog naelektrisanja u atmosferi.
- ▶ Veštački izvori statičkih električnih polja su uređaji kod kojih postoji razlika potencijala (napon).
- ▶ Prirodni izvori statičkih magnetnih polja su geomagnetizam i prirodni magneti.
- ▶ Veštački izvori statičkih magnetnih polja su uređaji koji rade na principu jakih jednosmernih struja.

Jačine statičkih električnih polja

IZVOR	ELEKTRIČNO POLJE [V/m]
Atmosfera	12-150
Blizina TV ili monitora	20
Ispod 500kV energetskeg voda	50

Jačine statičkih magnetnih polja

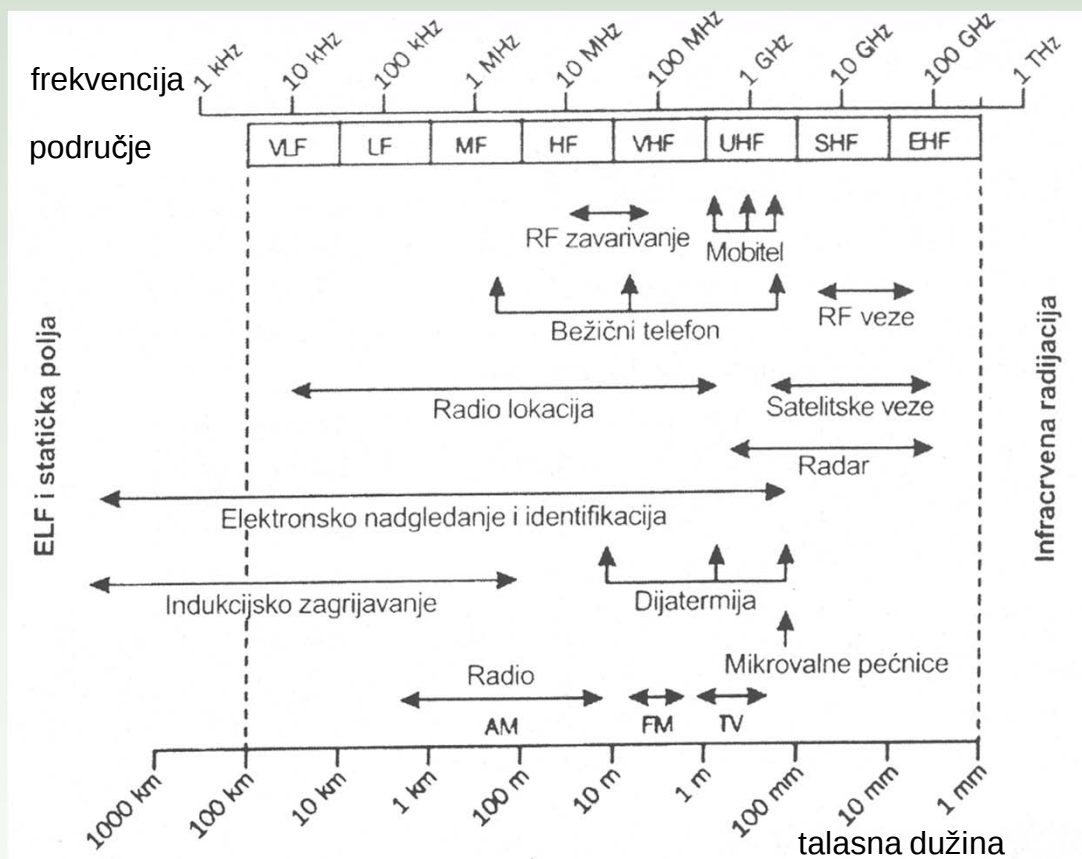
IZVOR	MAGNETNA INDUKCIJA [mT]
Geomagnetizam	0.03-0.07
Postrojenje na jednosmernu struju	50
Vozovi	50
Mali šipkast magnet	1-10

- ▶ Granične vrednosti ekspozicije definisane su preporukama Međunarodne komisije za zaštitu od nejonizujućeg zračenja **ICNIRP**.
- ▶ Granična vrednost gustine struje u telu iznosi **40mA/m²**.
- ▶ Granične vrednosti izloženosti statičkom magnetnom polju date su u tabeli.

IZLOŽENOST		MAGNETNA INDUKCIJA
Profesionalna izloženost	Celo telo	200mT
	Maksimalna vrednost	2T
	Udovi	4T
Područje povećane osetljivosti	Kontinuirano izlaganje	40mT

- ▶ Statičko električno polje ne prodire u unutrašnjost tela, već se na površini tela indukuju naelektrisanja.
- ▶ Pojava se manifestuje “osećajem” podizanjem dlaka na telu u jakim statičkim poljima ("diže se kosa na glavi").
- ▶ Ako je osoba u kontaktu sa metalnim objektom dolazi do električnog pražnjenja (peckanje).
- ▶ Statičko magnetno polje lako prodire u organizam. Za izloženost poljima magnetne indukcije **4T** može se osetiti mučnina, povraćanje i metalni ukus u ustima.

- ▶ Izvori vremenski promenljivih polja su uglavnom veštački. Korišćenje električne energije je u velikom porastu, sve je više električnih i elektronskih uređaja koji se koriste u energetske ili telekomunikacione svrhe.
- ▶ Na slajdu je prikazan opseg frekvencija i talasnih dužina za uobičajene izvore.



Jačine niskofrekvencijskih električnih polja

IZVOR	ELEKTRIČNO POLJE [V/m]
Prirodni	0.1m
Ispod energetskog voda	12k
Blizina generatora	16k
Blizina uređaja u domaćinstvu	0.5k

Jačine niskofrekvencijskih magnetnih polja

IZVOR	MAGNETNA INDUKCIJA [μ T]
Prirodni	0.01
Ispod energetskog voda	10-30
Blizina generatora	40-120
Industrijski procesi, zavarivanje	130
50Hz polja u stambenim zonama	0.1-0.3

Primeri izvora u radiofrekvencijskom polju

IZVOR	frekvencija	Jačina el. polja (V/m) Jačina mag. polja (A/m)	Napomena
Indukcijsko zagrevanje	do 25kHz	12-1000A/m	Profesionalna izloženost
TV/VDU (Video Display Unit)	15-30kHz	1-10V/m; 0.16A/m	30cm od VDU
Elektronsko nadgledanje	130kHz	do 20A/m	Opšta populacija
AM radio	415kHz-1.6MHz	450V/m	Profesionalna izloženost
PVC zavarivanje	27.12MHz	100V/m; 5A/m	Profesionalna izloženost
FM radio	88-108MHz	4V/m	Opšta populacija
GSM uređaj	900MHz	400V/m; 0.8A/m	2cm od uređaja snage 2W
GSM uređaj	1800MHz	200V/m; 0.8A/m	2cm od uređaja snage 1W
GS bazna stanica	900 i 1800MHz	1mW/m ² ; 06.V/m, 1.6mA/m	50m od bazne stanice
Mikrotalasna peć	2.45GHz	0.5W/m ²	Polje na 50cm

- ▶ Pregled veličina koje se koriste za opisivanje posledica interakcije elektromagnetskih talasa i tela prikazane su u tabeli.

VELIČINA	OZNAKA	JEDINICA	FREKVENCIJA
Jačina struje	I	A	do 110MHz
Gustina struje	J	A/m ²	do 10MHz
Specifična apsorpcija	SA	J/kg	300MHz-10GHz
Specifična brzina apsorpcije energije	SAR	W/kg	100kHz-10GHz

- ▶ Za opseg frekvencija od 300kHz do 300GHz (radiofrekvencijski opseg) postoji srpski standard koji definiše maksimalne nivoe izlaganja koje se odnose na ljude – **SRPS N.205:1990**. U pripremi: Zakon o zaštiti od nejonizujućeg zračenja.
- ▶ U ostalim opsezima koriste se ICNIRP međunarodne preporuke.

ICNIRP ograničenja za izloženost EM poljima u opsegu od 10MHz do 10GHz

	Opšta populacija	Profesionalna izloženost
SAR usrednjen za celo telo	0.08W/kg	0.4W/kg
SAR usrednjen za tkivo glave ili trupa mase 10g	2W/kg	10W/kg
SAR usrednjen za tkivo ekstremiteta mase 10g	4W/kg	20W/kg

ICNIRP ograničenja za izloženost EM poljima baznih stanica

		E [V/m]	H [A/m]	SAR [W/kg]
900 MHz	Profesionalna izloženost	90	0.24	0.4
	Opšta populacija	41	0.11	0.08
1800 MHz	Profesionalna izloženost	127	0.34	0.4
	Opšta populacija	58	0.16	0.08

Direktiva Evropskog parlamenta i vlade **2004/40/EC** definiše granične i akcione vrednosti za izloženost EM poljima do 300kHz u radnoj okolini.

GRANIČNE VREDNOSTI

frekvencija ν	J [mA/m ²] glava i trup	SAR srednji [W/kg]	SAR glava i trup [W/kg]	SAR udovi [W/kg]	Izr [W/m ²]
<1Hz	40				
1-4Hz	40/ ν				
4Hz-1kHz	10				
1-100kHz	ν /100				
100kHz-10MHz	ν /100	0.4	10	20	
10MHz-10GHz		0.4	10	20	
10-300GHz					50

- ▶ Vremenski promenljiva električna i magnetna polja izazivaju stvaranje površinskog naelektrisanja, polarizaciju molekula, stvaranje struja u telu i apsorpciju energije.
- ▶ Kod frekvencija nižih od 100kHz stvaraju se površinska naelektrisanja na telu, struje u telu i dolazi do polarizacije molekula.
- ▶ Kod molekula koji imaju dipolni karakter dolazi do reorijentacije dipola u smeru električnog polja.
- ▶ Kod električni neutralnih molekula pod dejstvom električnog polja dolazi do razdvajanja težišta pozitivnog i negativnog naelektrisanja i molekuli se ponašaju kao električni dipoli.
- ▶ Apsorpcija energije u ovom području frekvencija nije značajna tako da ne dolazi do povišenja temperature tela.

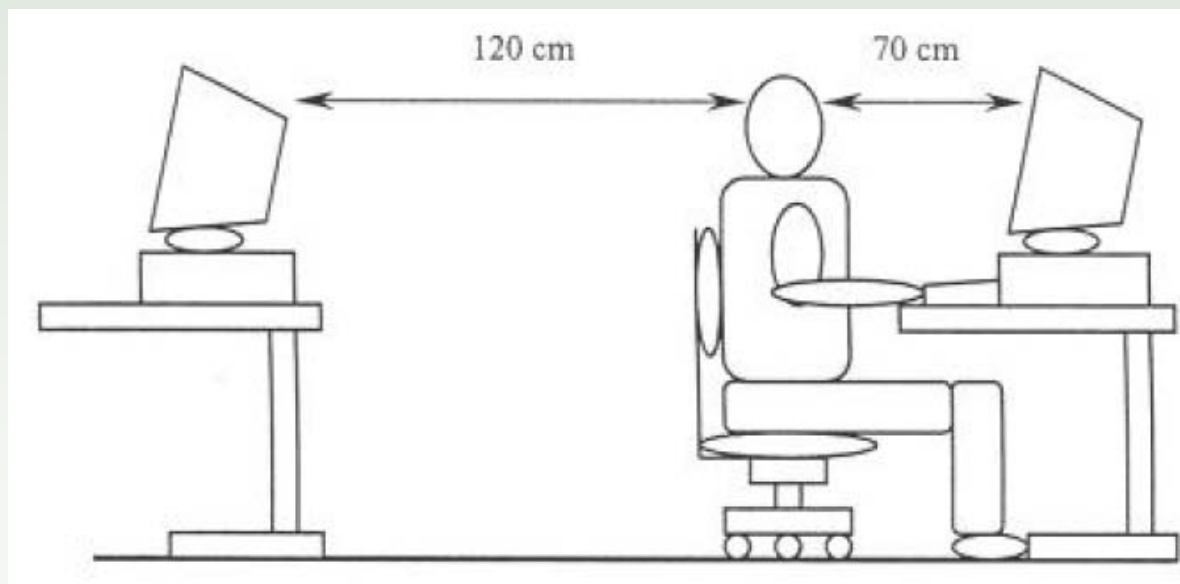
- ▶ Kod frekvencija viših od 100kHz dolazi do značajne apsorpcije energije i povišenja temperature u telu što zavisi od karakteristika polja (intenzitet, polarizacija, rastojanje izvor-objekat i karakteristika izloženog tela (veličina, oblik, dielektrična svojstva tkiva).
- ▶ Apsorpcija energije zavisi od frekvencije.

frekvencija	Apsorpcija energije u telu
100kHz-20MHz	Značajna apsorpcija u predelu vrata i nogu
20MHz-300MHz	Relativno visoka apsorpcija u celom telu
300MHz-10GHz	Neuniformna apsorpcija energije u različitim delovima tela
preko 10GHz	Apcorpcija na površini tela

- ▶ Kada je čovekovo telo paralelno vektoru električnog polja dolazi do najveće apsorpcije u telu.

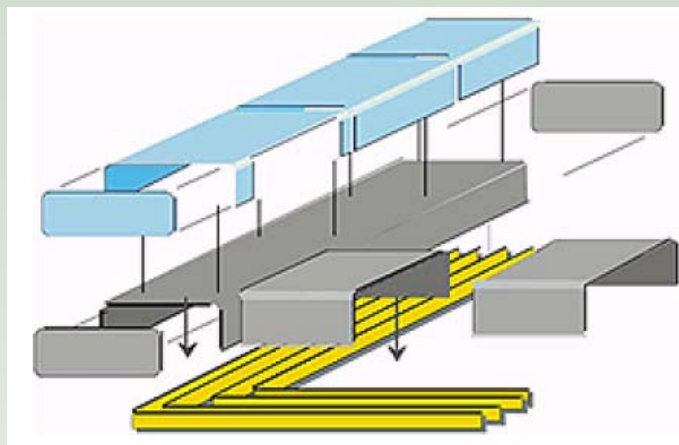
- ▶ Pored pomenutih efekata epidemiološke studije ukazuju na izazivanje i sledećih efekata:
 - ⊕ pojavu karcinoma
 - ⊕ promene u ponašanju usled dejstva na centralni nervni sistem
 - ⊕ promene kod kardiovaskularnog sistema - smanjenje pulsa
 - ⊕ električna osetljivost na neke frekvencije uz pojavu stresa, glavobolje, nadržaj oka, gađenje, svrab kože i sl.
 - ⊕ Gibitak pamćenja i mentalnih funkcija
 - ⊕ porast broja pobačaja kod žena koje su duže vremena radile pored monitora

- ▶ Pored medicinskih (zdravstveni pregledi), administrativno-obrazovnih (donošenje pravilnika, obrazovanje) i organizacionih mera (smanjenje vremena ekspozicije) mogu se preduzeti i odgovarajuće tehničke mere:
 - ⊕ izbor izvora sa manjim zračenjem
 - ⊕ udaljavanje od izvora zračenja



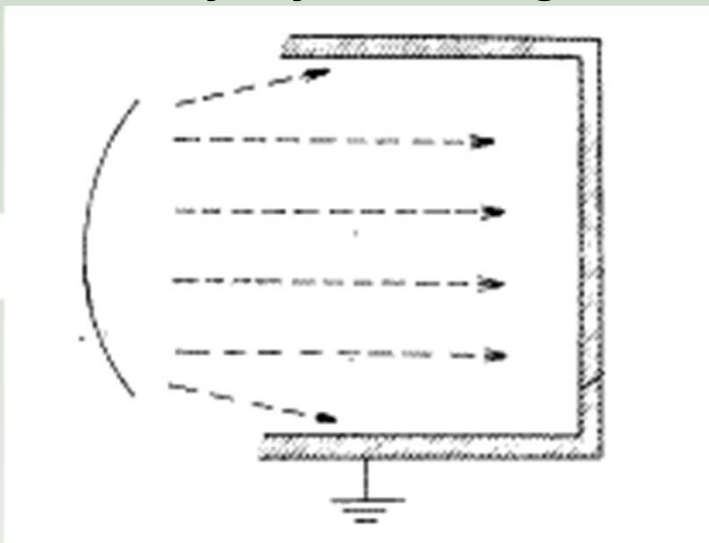


oklapanje uređaja ili nekih komponenti

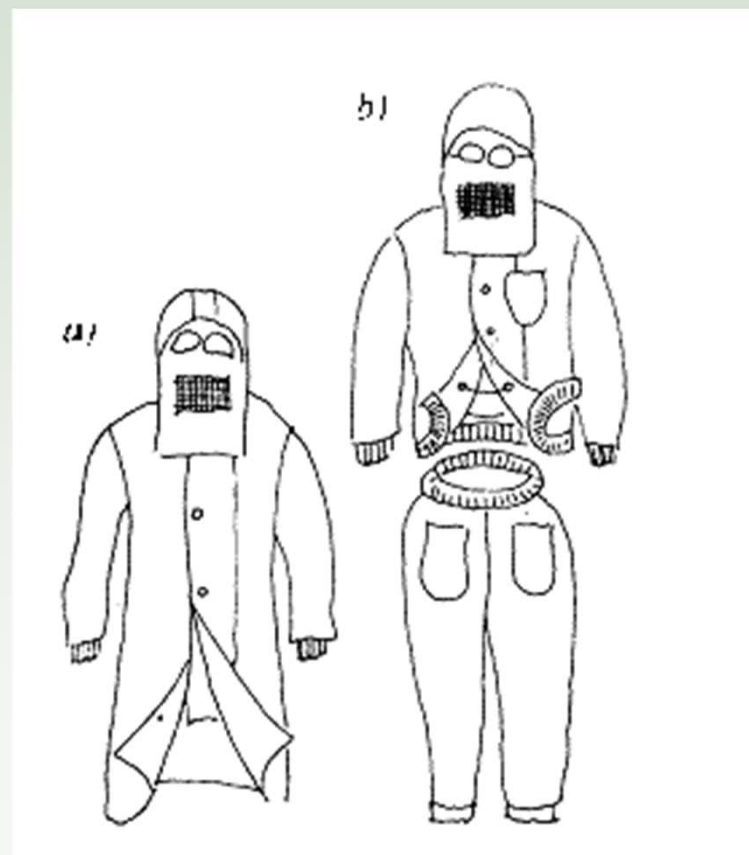


Primer oklapanja sabirnica transformatora u podrumskim prostorijama

- ⊕ zaklanjanje radnog mesta



- ⊕ lična zaštitna sredstva



1. Statička polja - izvori.
2. Statička polja - jačine polja.
3. Statička polja - granice izloženosti.
4. Promenljiva polja - izvori.
5. Promenljiva polja - jačine polja.
6. Promenljiva polja - granice izloženosti.
7. Efekti zračenja.
8. Osnovni principi zaštite.

