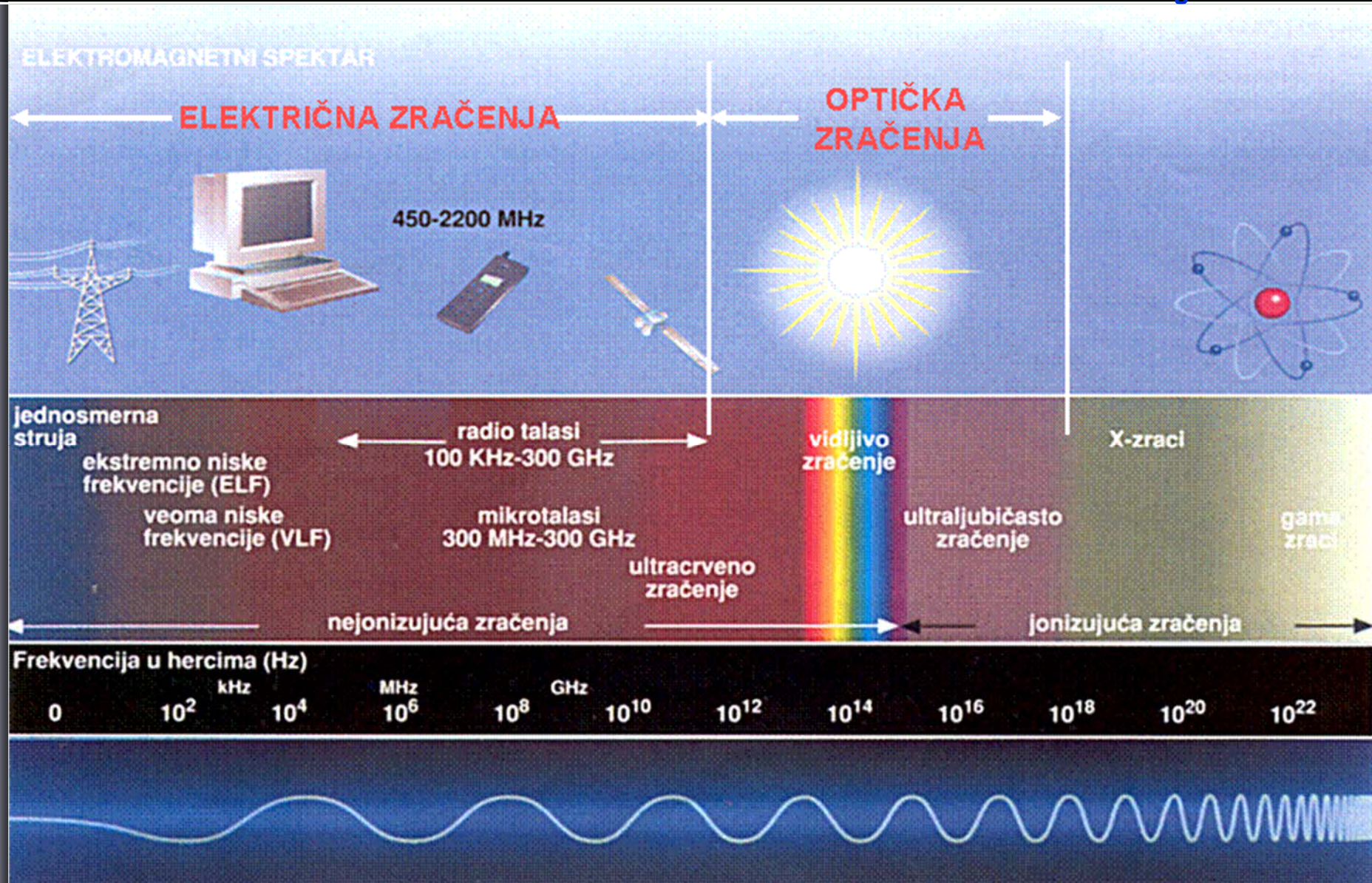
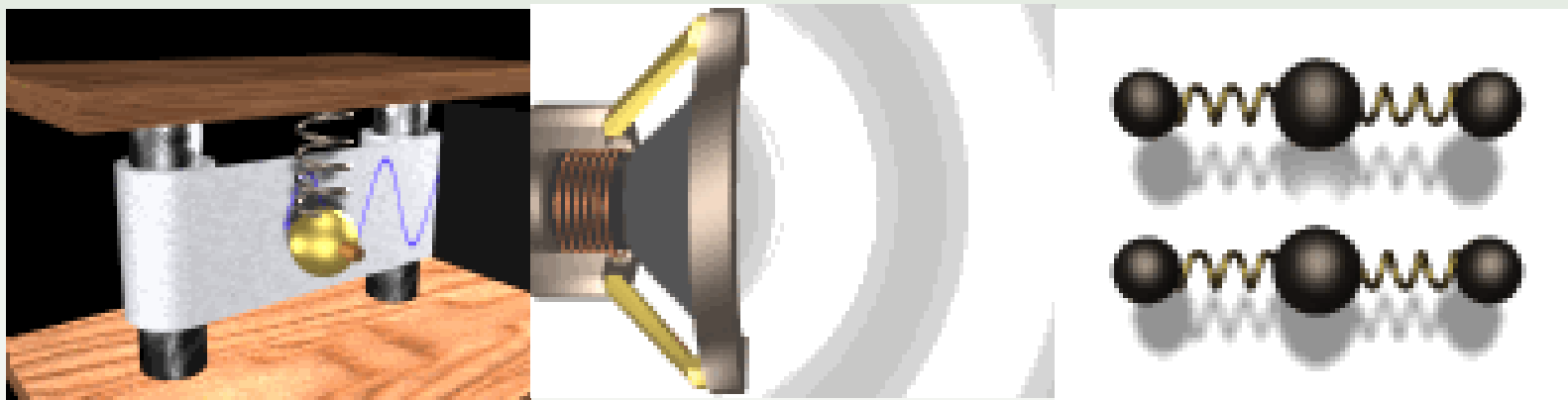


ELEKTROMAGNETNA ZRAČENJA

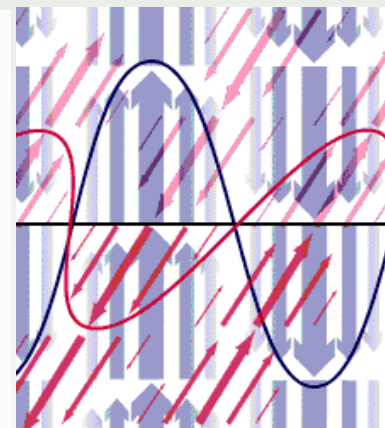
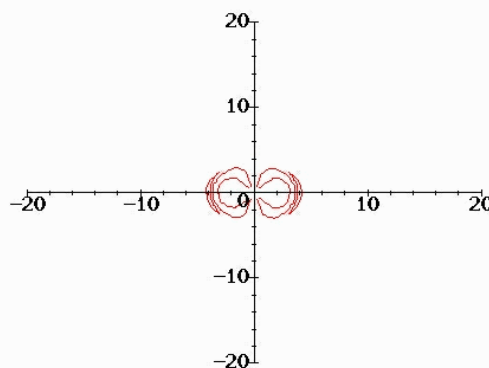
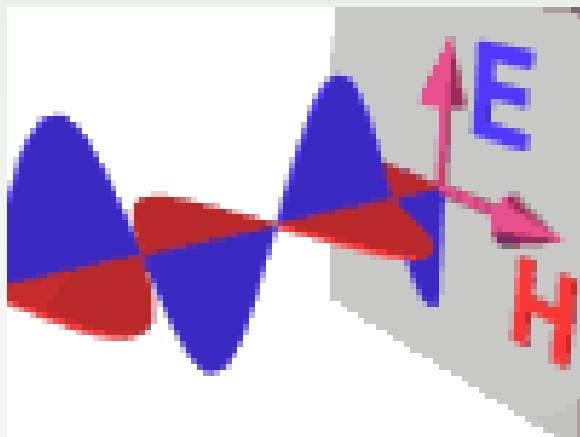




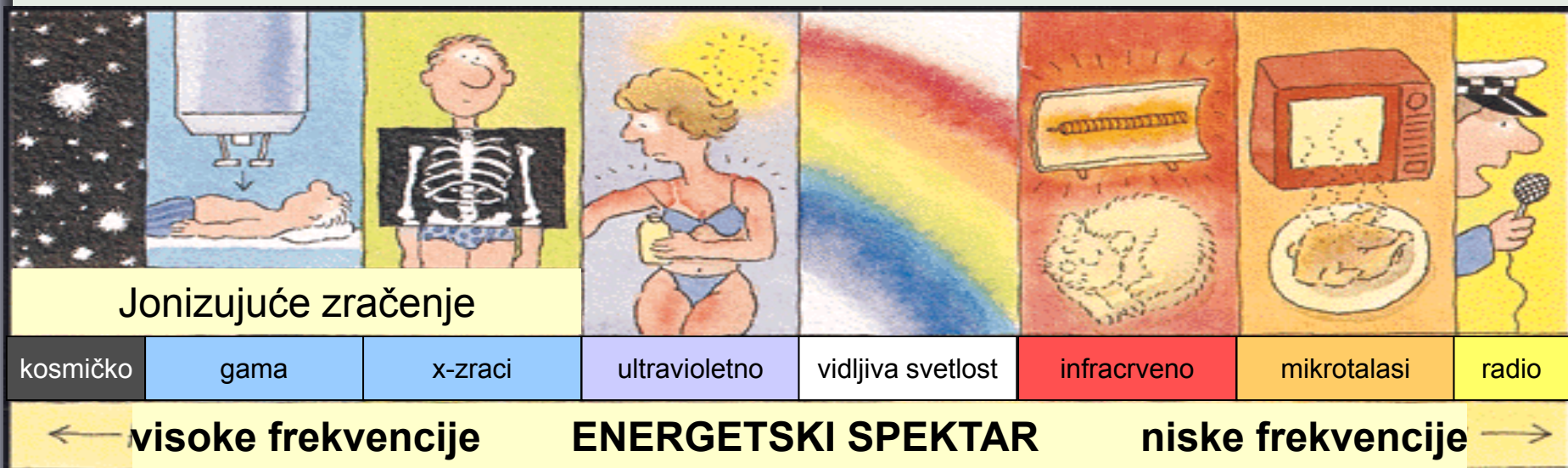
- ▶ Buka i vibracije predstavljaju talasna mehanička kretanja koja nastaju oscilovanjem tela i čestica elastične sredine oko svog ravnotežnog položaja.
- ▶ Mehanička talasna kretanja se prenose u isključivo neprekidnoj (elastičnoj) materijalnoj sredini (gasovi, tečnosti, čvrsta tela).



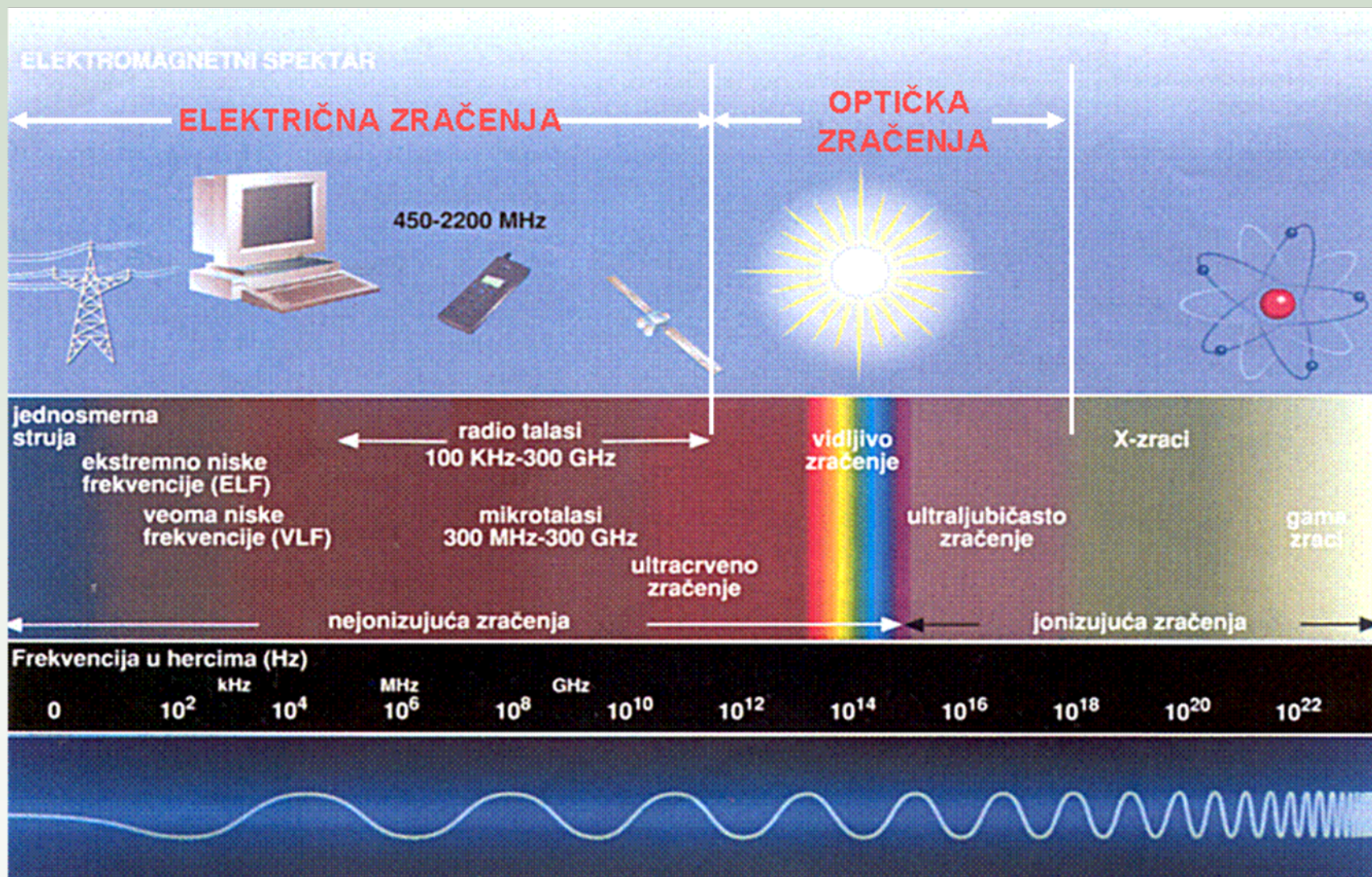
- ▶ Elektromagnetna zračenja predstavljaju elektromagnetna talasna kretanja koja mogu da nastanu i da se prenose kako u materijalnoj sredini, tako i vakuumu (bezvazдушnom prostoru) brzinom svetlosti.
- ▶ Elektromagnetno zračenje predstavlja energiju koju elektromagnetni talasi ili materijalne čestice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



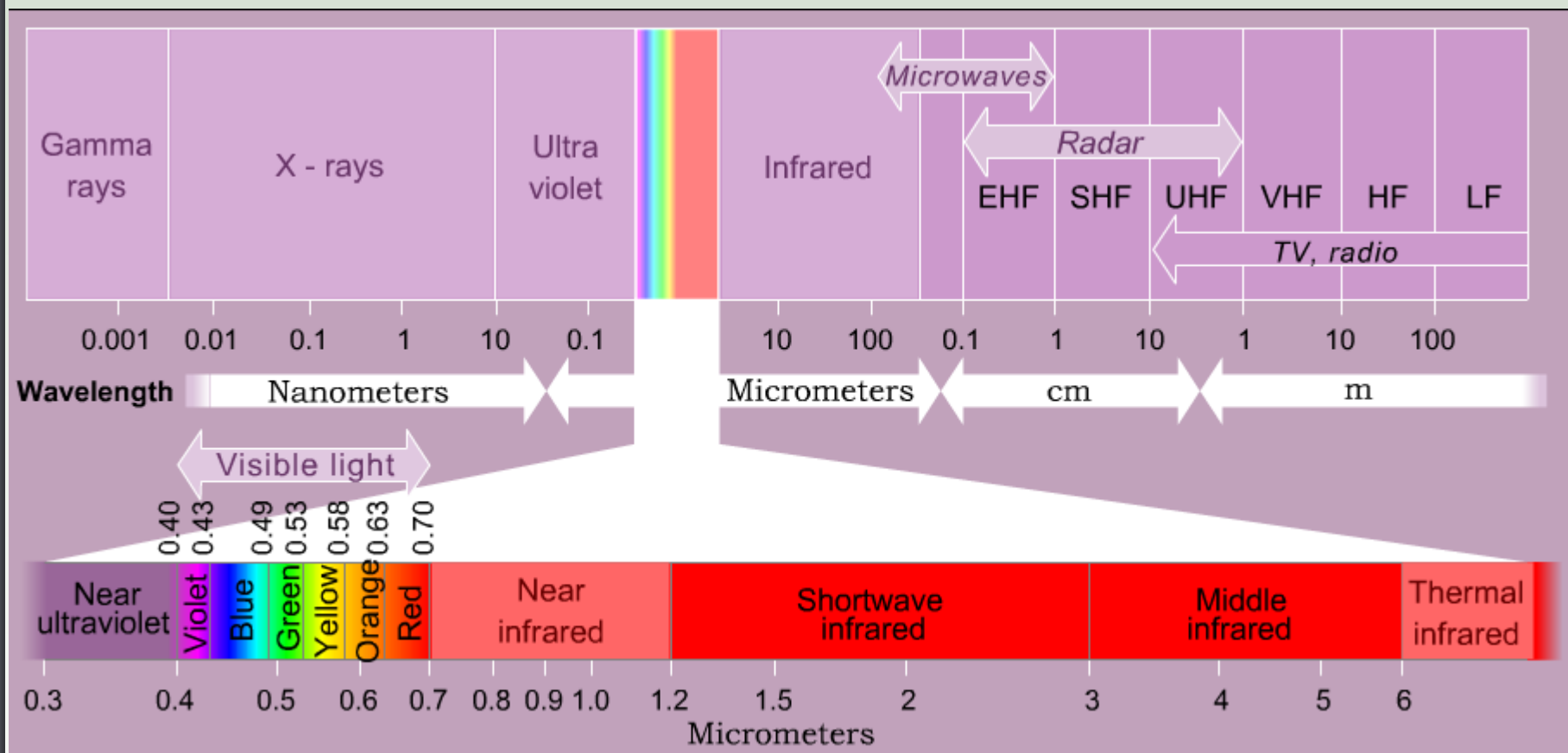
- ▶ Elektromagnetna zračenja se mogu podeliti na:
 - ⊕ jonizujuća zračenja
 - ⊕ optička zračenja
 - ⊕ električna zračenja
- ▶ Elektromagnetni talasi se javljaju u različitim oblicima i sa različitim talasnim dužinama.
Deo su elektromagnetnog spektra od veoma malih do veoma velikih talasnih dužina.



- Podela elektromagnetnog spektra u odnosu na frekvenciju

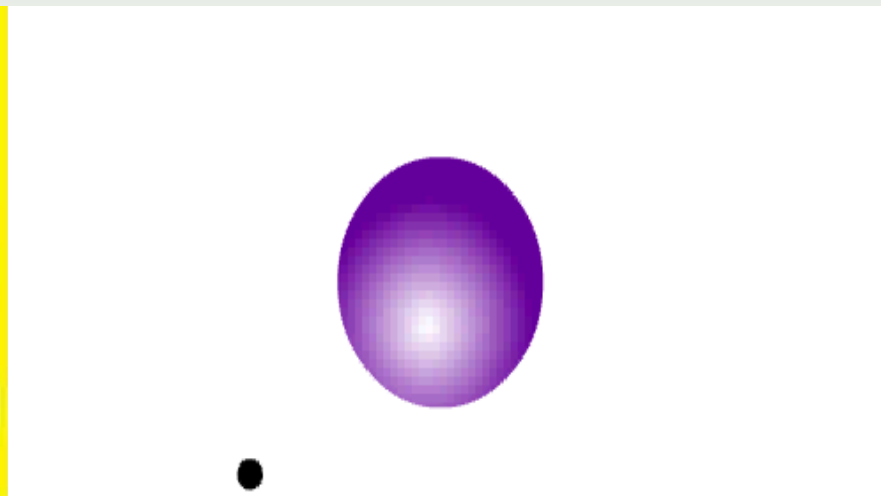
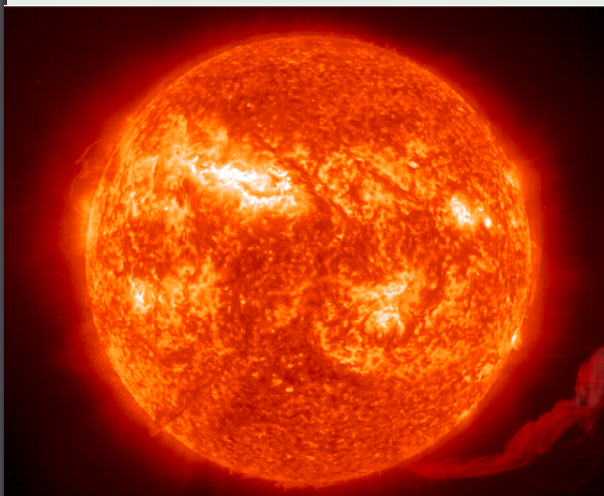


- Podela elektromagentnog spektra u odnosu na talasnu dužinu

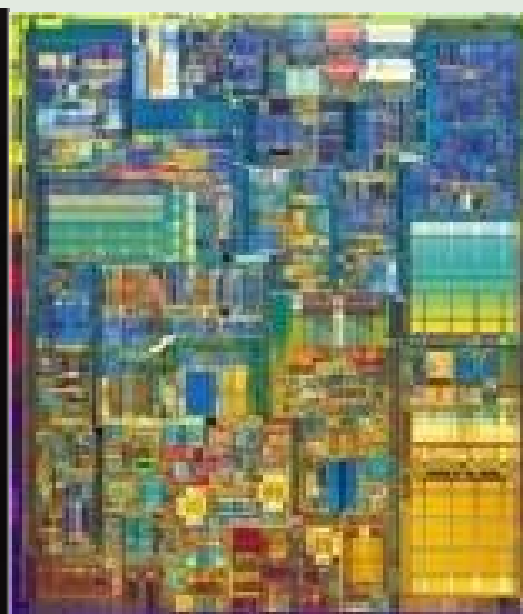
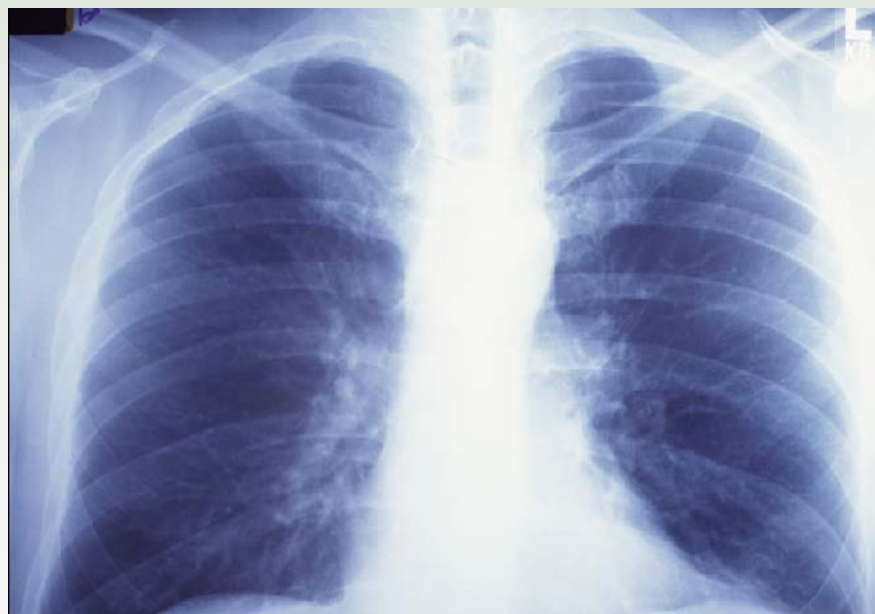


▶ Jonizujuće zračenje - **Gama zraci**

- ✓ 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

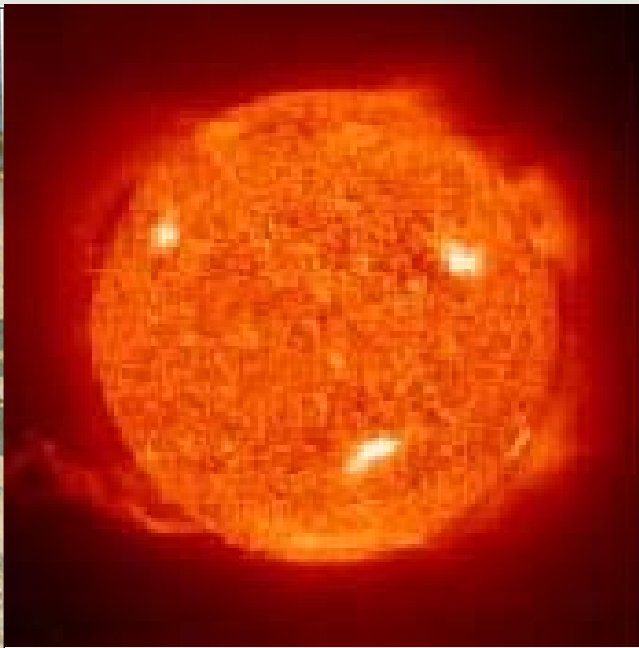


- ▶ Jonizujuće zračenje - **X zraci** (rengenski zraci)
 - ✓ elektromagnetni talasi sa talasnim dužinama od 0.001nm do 0.1nm
 - ✓ dimenzije mikroprocesora iz 2002 su uporedljive sa talasnom dužinom X zraka
 - ✓ elektromagnetni talasi veoma visoke energije
 - ✓ mogu biti opasni po zdravlje ali i korisni



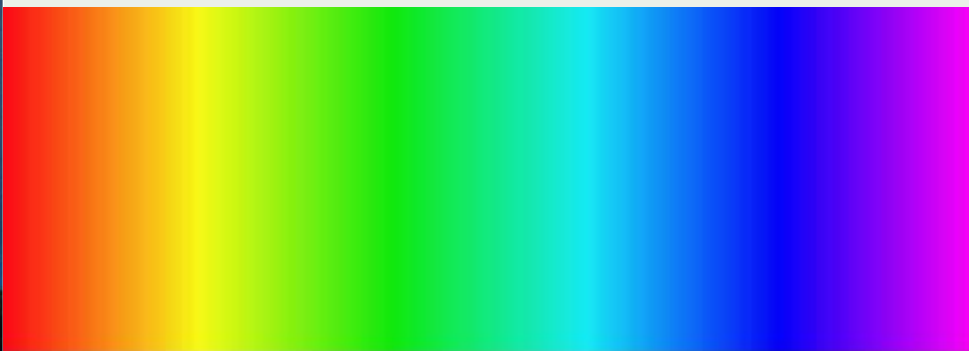
▶ Optičko nejonizujuće zračenje - **Ultravioletno zračenje**

- ✓ 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



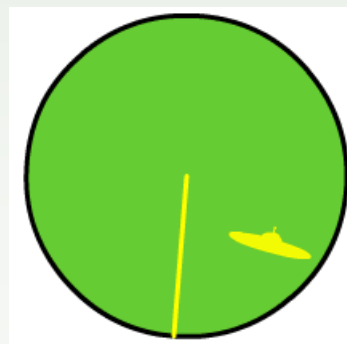
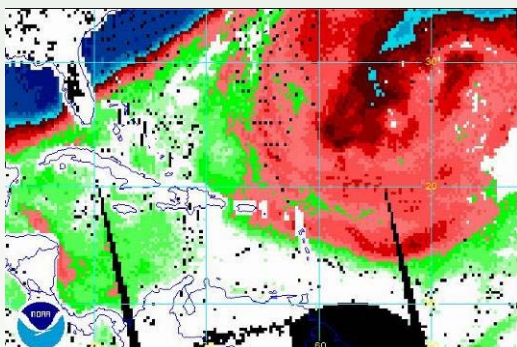
▶ Optičko nejonizujuće zračenje - **Infracrveno zračenje**

- ✓ 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

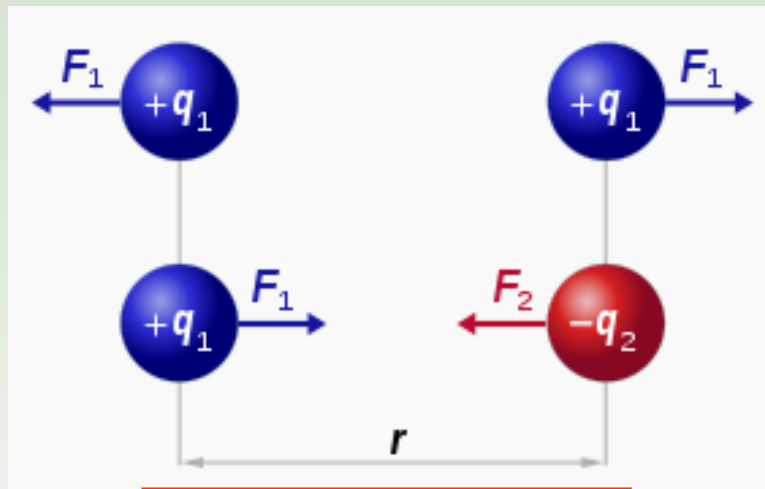


► Električno nejonizujuće zračenje - **Radio talasi**

- ✓ 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.

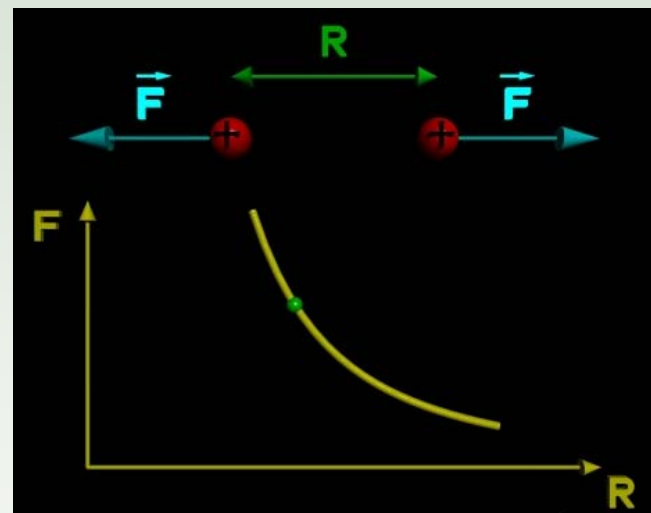
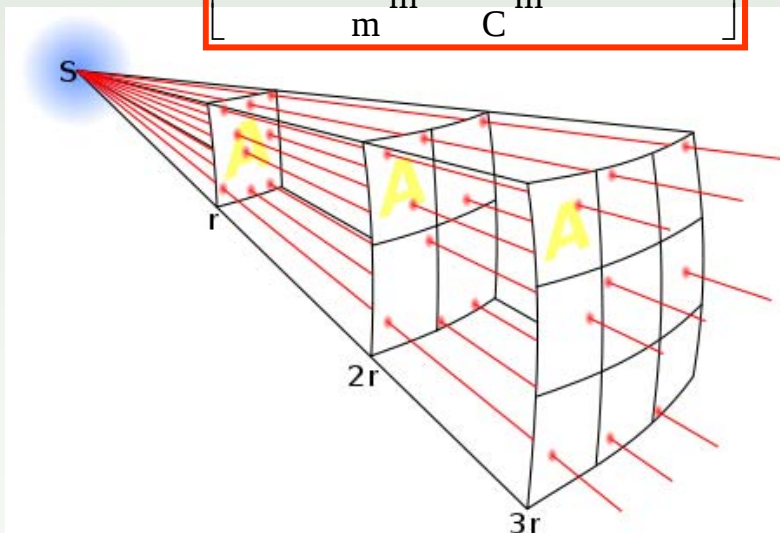


$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

- ▶ 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:

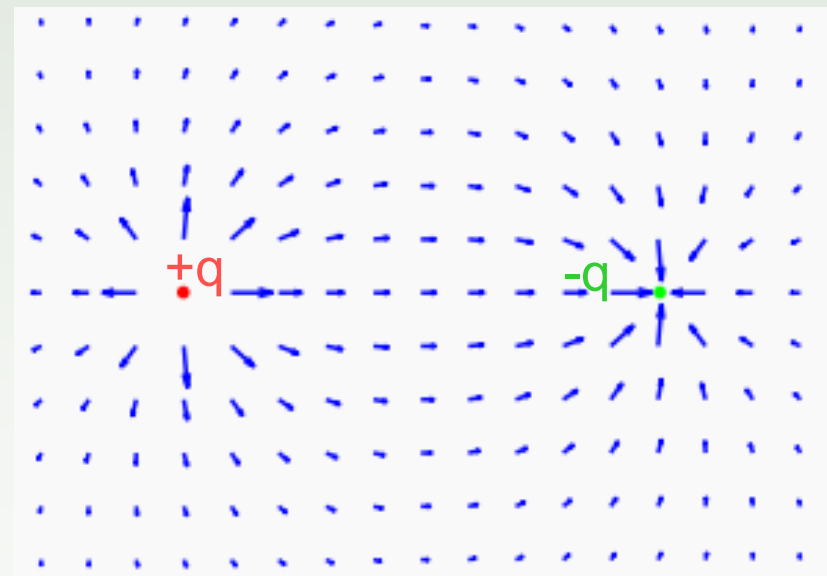
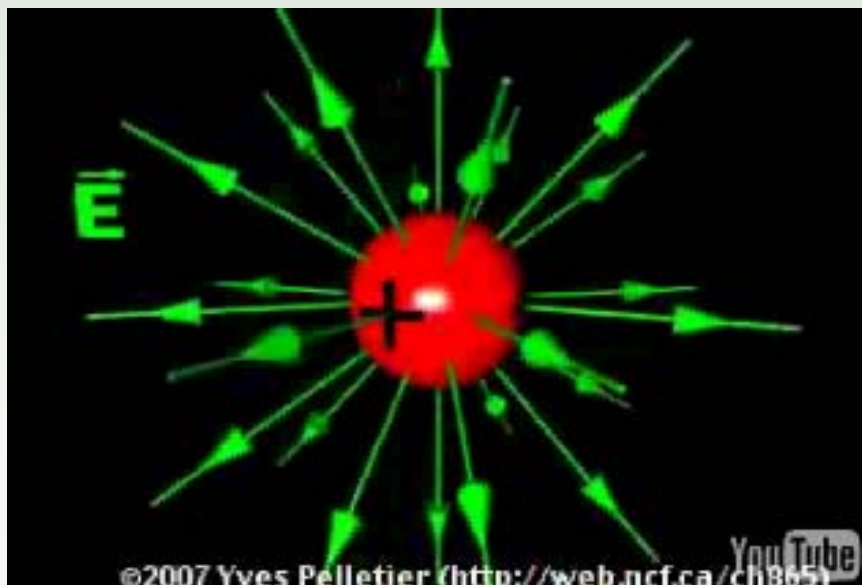
$$\epsilon_0 = (8.85419 \pm 0.00002) \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}.$$

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



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

- ▶ 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:

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

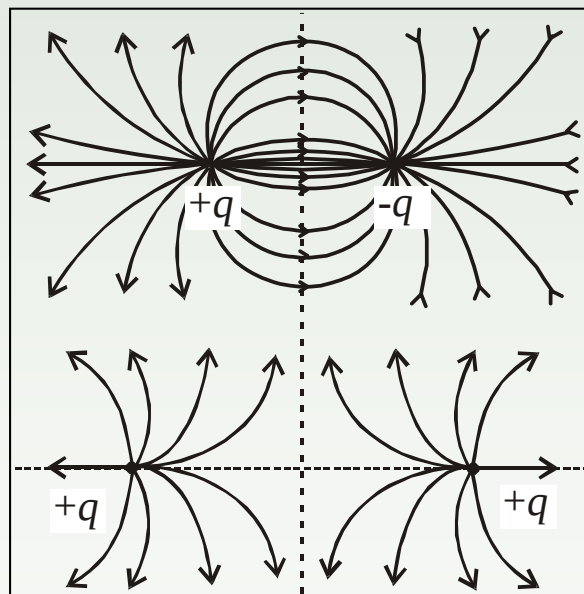
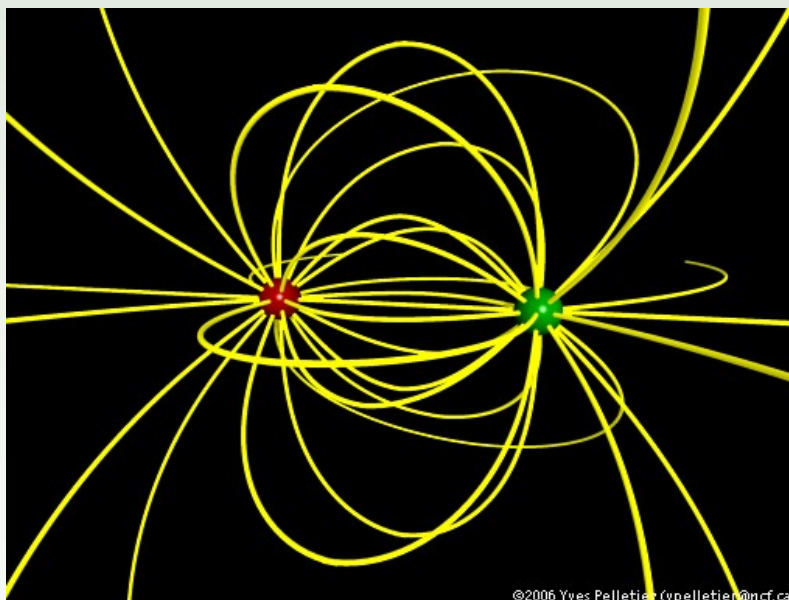
$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

- ▶ Za bilo koju sredinu:

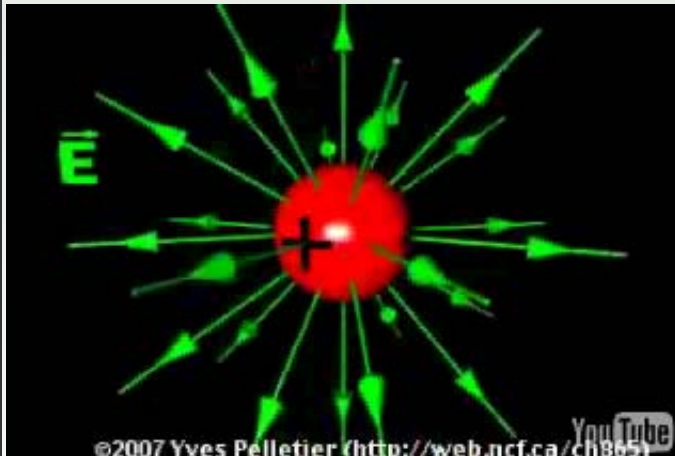
$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 \epsilon_r} \frac{q}{r^2}$$

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

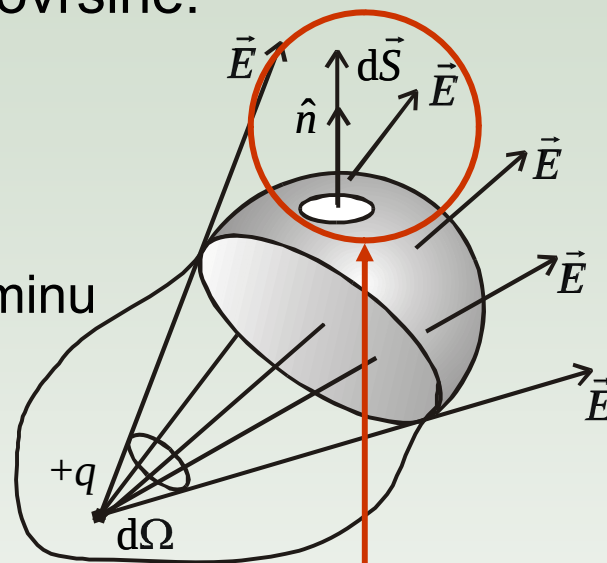
Fluks kroz proizvoljnu zatvorenu površinu proporcionalan je količniku naelektrisanja obuhvaćenog tom površinom.

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

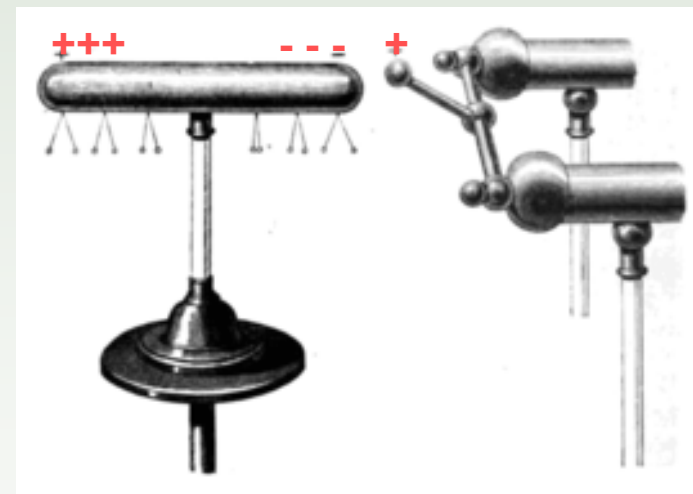


- ▶ Tačka u gornjem izrazu označava skalarni proizvod vektora:

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

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:

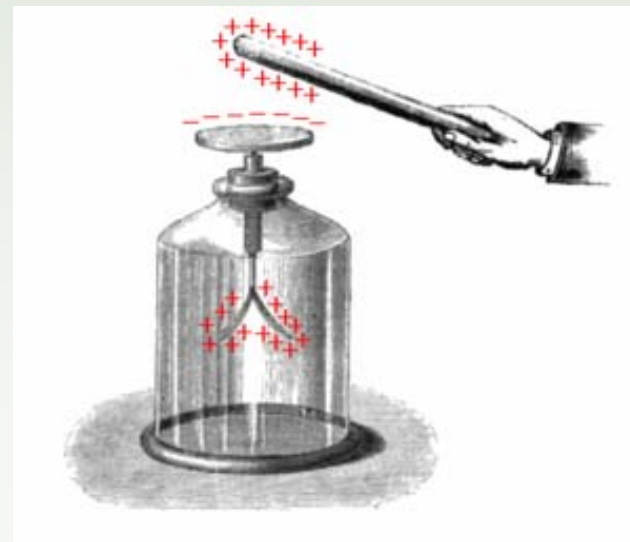
$$\vec{D} = \varepsilon_0 \varepsilon_r \vec{E} [\text{C/m}^2]$$

- ▶ Za tačkasto naelektrisanje:

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

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

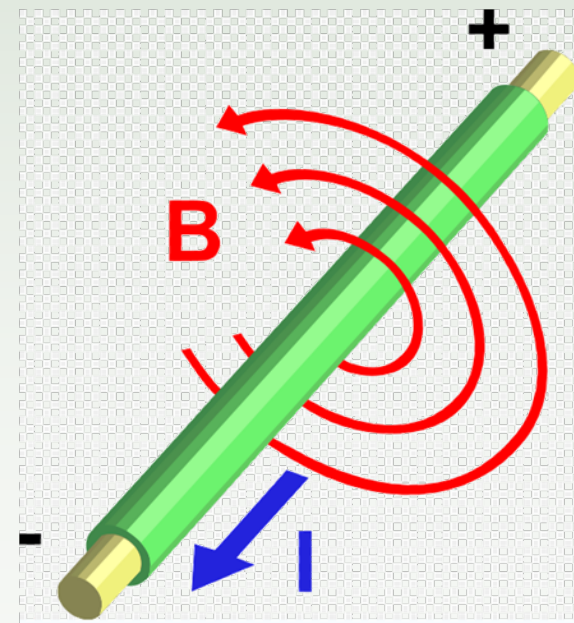
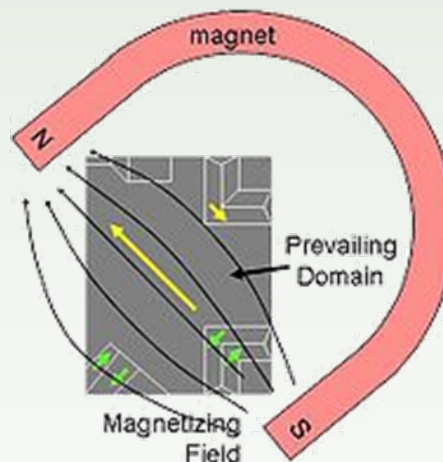
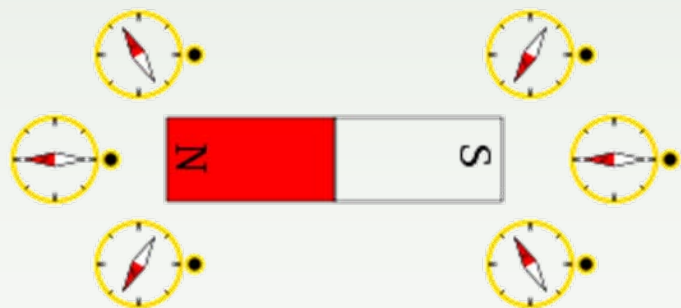
- ▶ Vektor električne indukcije ima prirodu površinske gustine naelektrisanja, a intenzitet mu je jednak količini naelektrisanja koja se pomeri kroz jediničnu površinu.



PITANJA

- 1. Elektromagnetni spektar.**
- 2. Elektrostatika 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

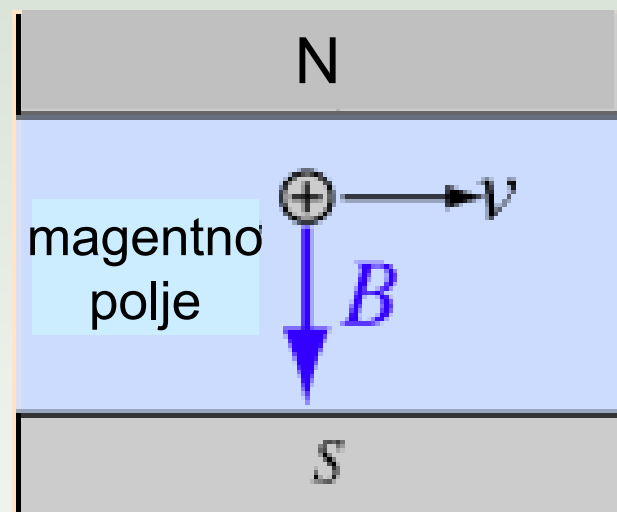


- ▶ Na naelektrisanje koje se unese u magnetno polje deluje magnetna sila.
- ▶ **Kulon** je analogno uzajamnom dejstvu naelektrisanja postavio zakon o uzajamnom dejstvu magnetnih polova stalnog magneta, čija je matematička formulacija:

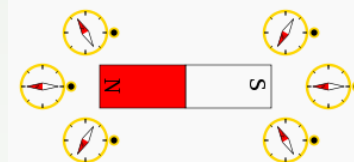
$$F_m = k' \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

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:

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

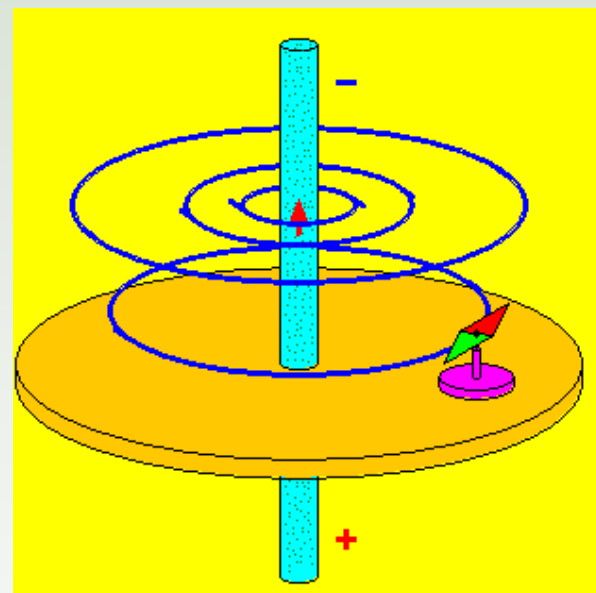
gde je: μ_0 - magnetna permabilnost vakuma.

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

- ▶ 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.



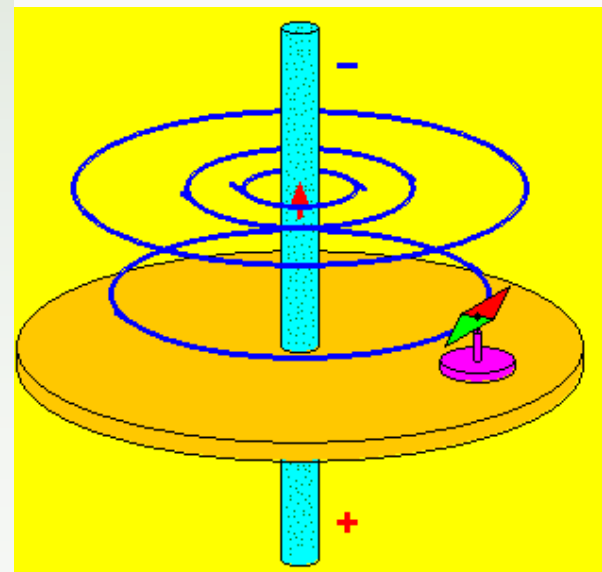
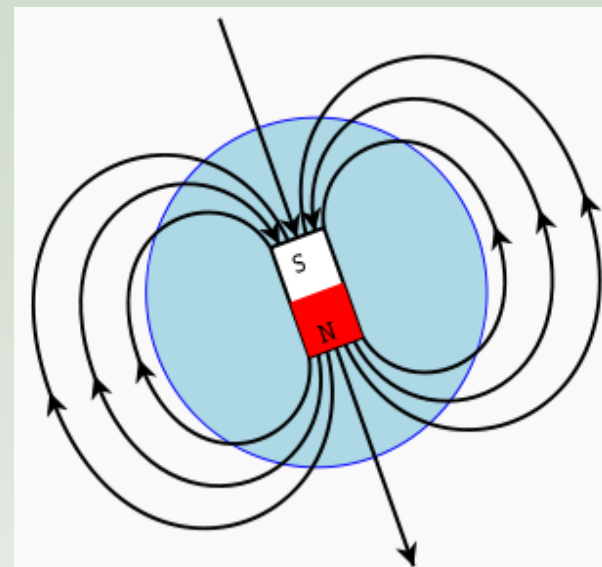
- ▶ Druga veličina koja opisuje magnetno polje je **magnetna indukcija** (**B**), koja se u skladu sa analogijom sa električnom indukcijom može napisati

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

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

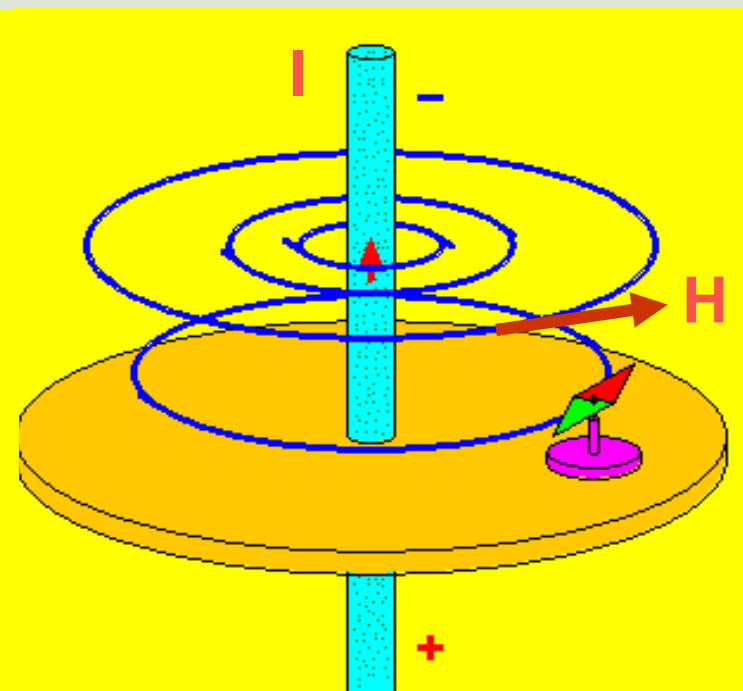
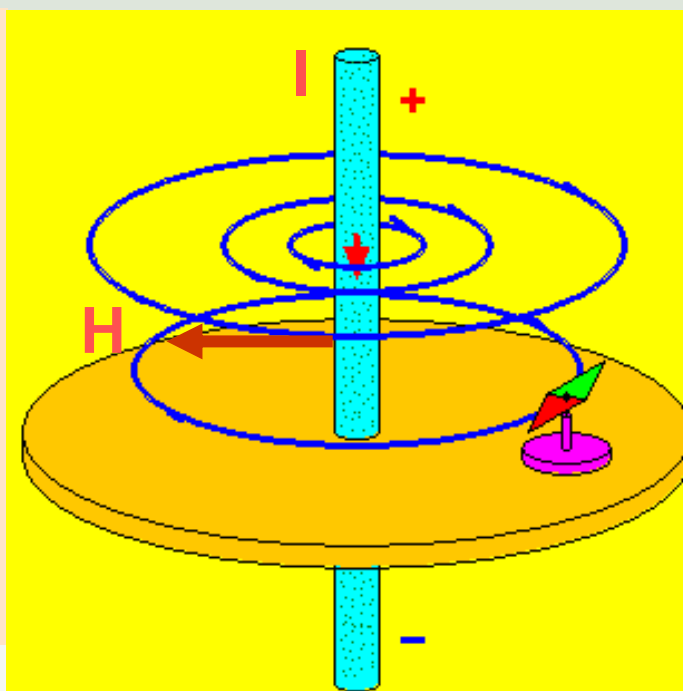
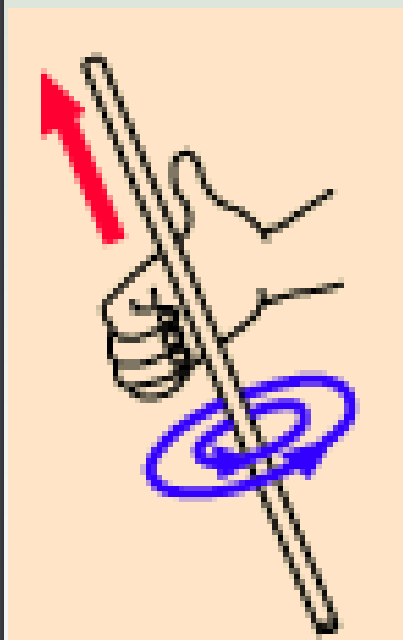
EMF merač

- ▶ **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**

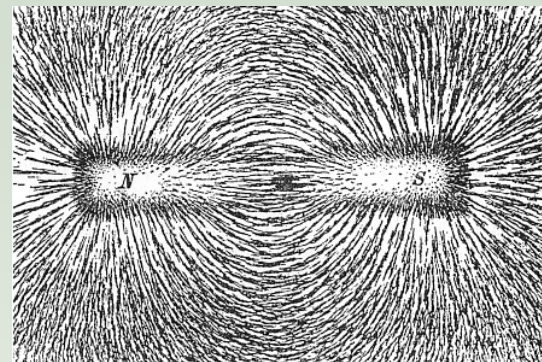


- Smer **vektora jačine magnetnog polja** ili magnetne indukcije određuje se pravilom desne ruke.

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



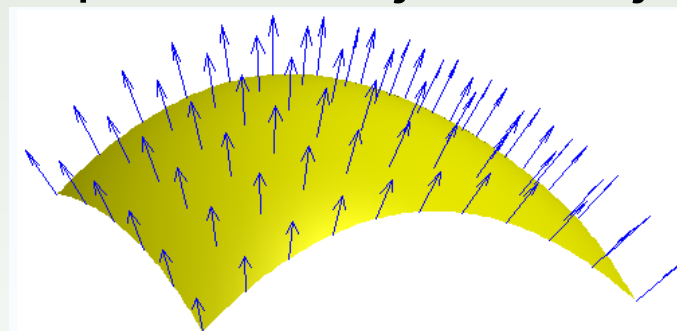
- ▶ Magnetni fluks je merilo magnetizma nekog materijala, odnosno osobine materijala da deluje privlačnom ili odbojnom silom na druge materijale.
- ▶ Zavisi od jačine magnetnog polja i određuje broj magnetnih linija kroz neku površinu **S** koja se oslanja na zatvorenu konturu C.



- ▶ 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.

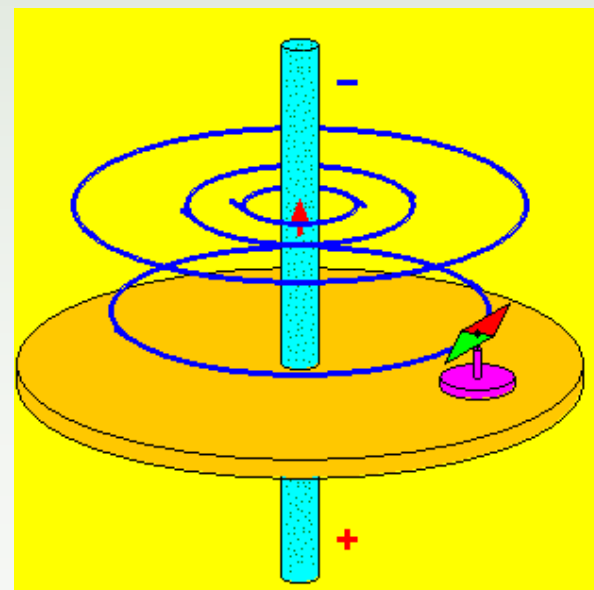


- ▶ Amperov zakon definiše magnetno polje stacionarnih struja.
- ▶ Ovom zakonu je prethodio **Bio-Savarov** zakon do koga se došlo eksperimentalnim putem.
- ▶ Otkriveno je da se oko provodnika kroz koji protiče električna struja formira magnetno polje istih karakteristika kao polje stalnog magneta.
-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

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

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

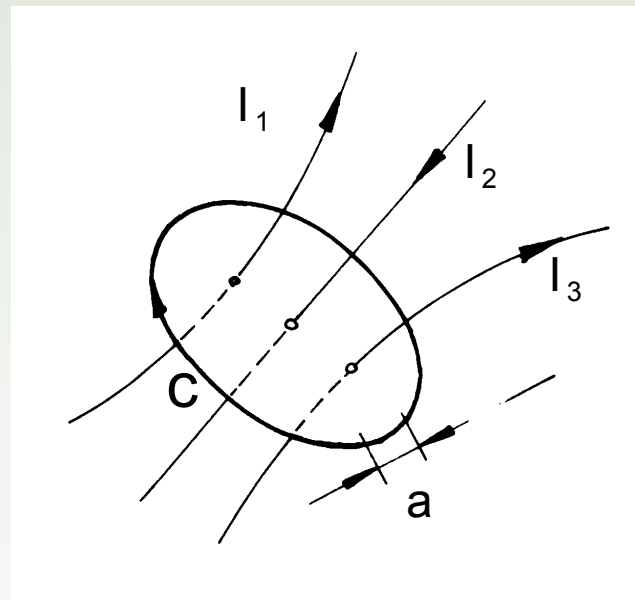
gde je **r** - rastojanje od provodnika.



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

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

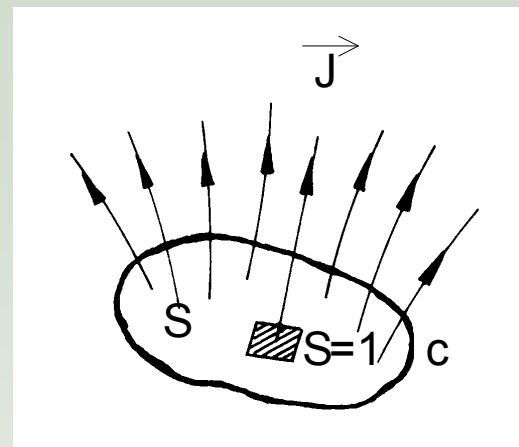
$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \mu_r \sum I$$



- 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:

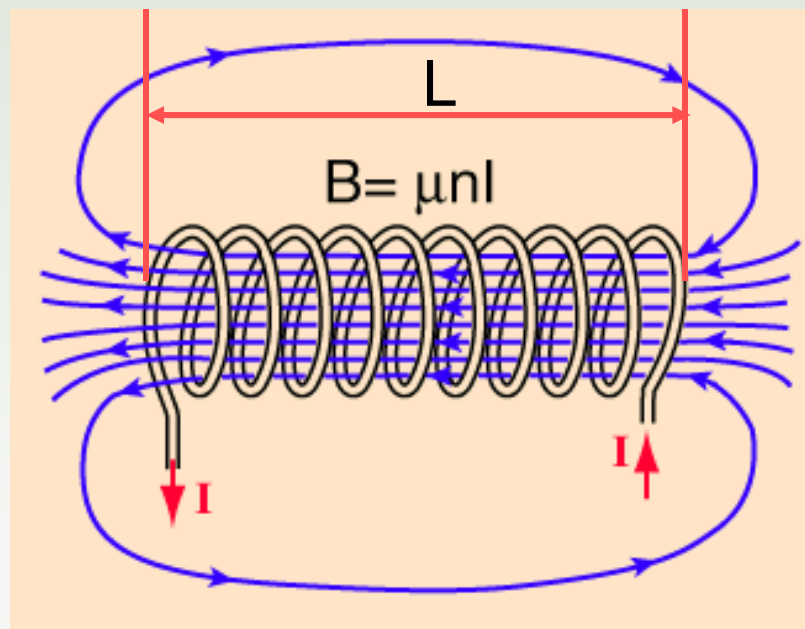
L - dužina solenoida

N - ukupan broj namotaja

n - gustina namotaja (broj namotaja po jedinici dužine)

μ - permabilnost sredine.

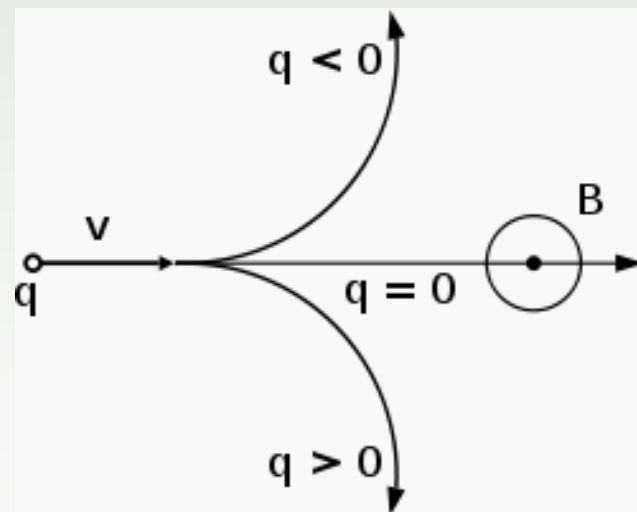
$$\mu = \mu_0 \mu_r$$



- ▶ 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**:

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

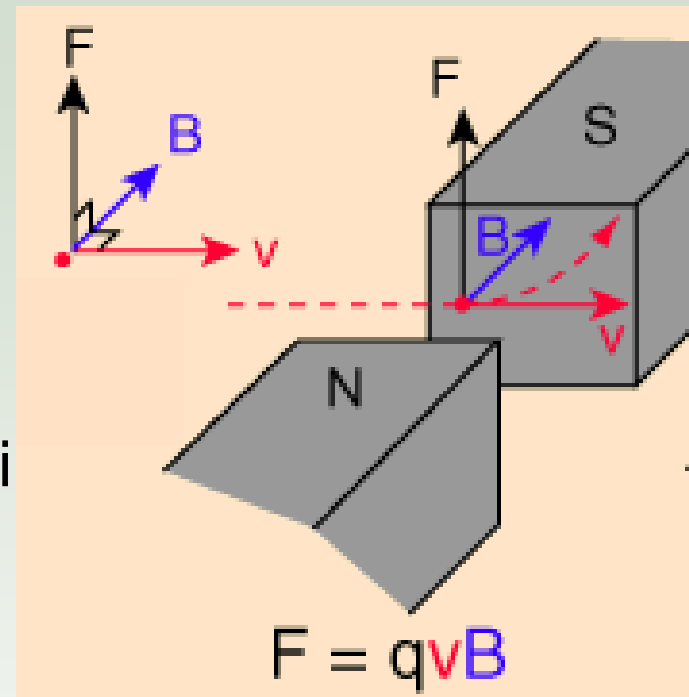
(x) - vektorski proizvod vektora

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

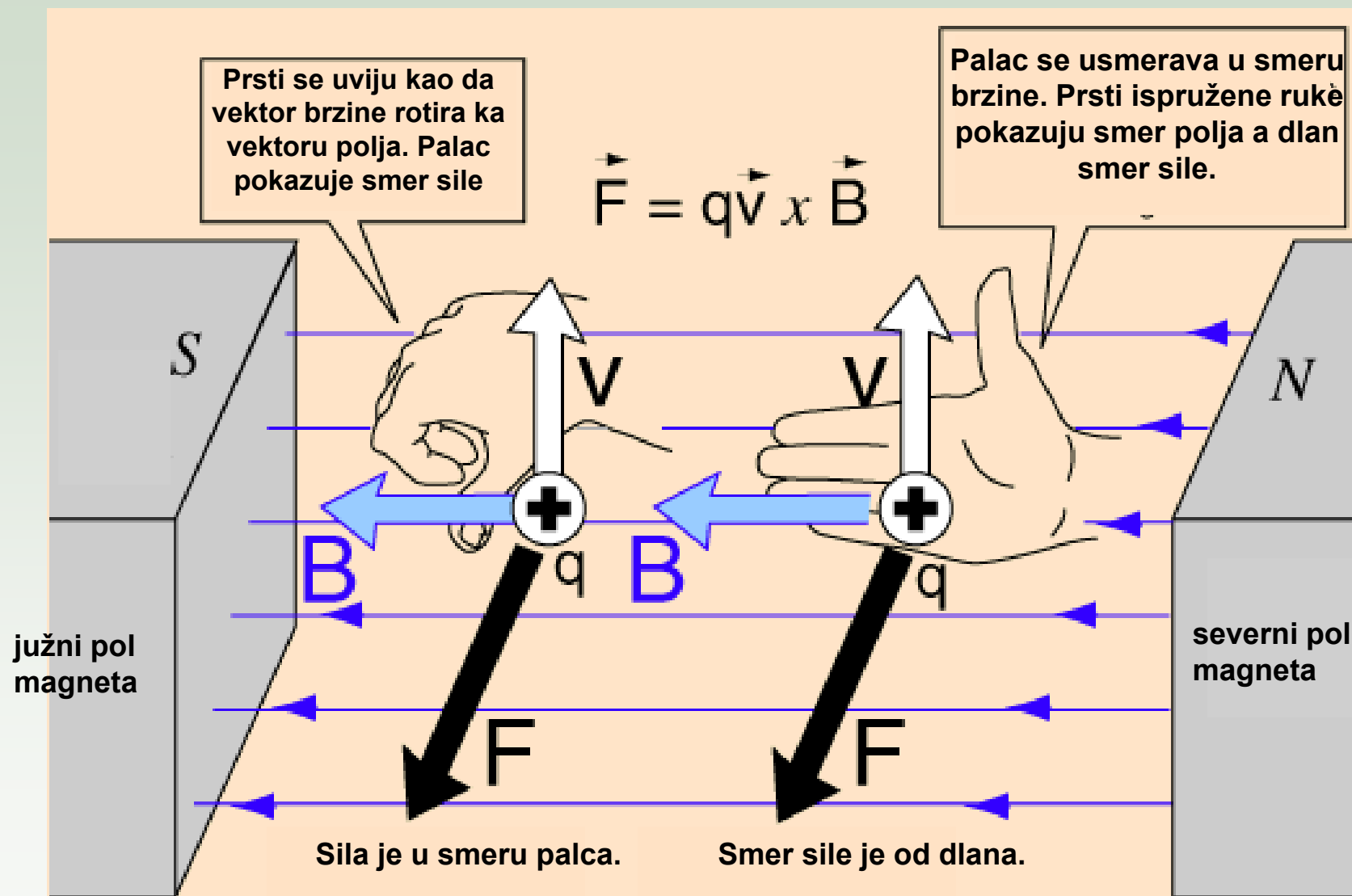
$$F = qvB \sin \theta$$

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 :

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

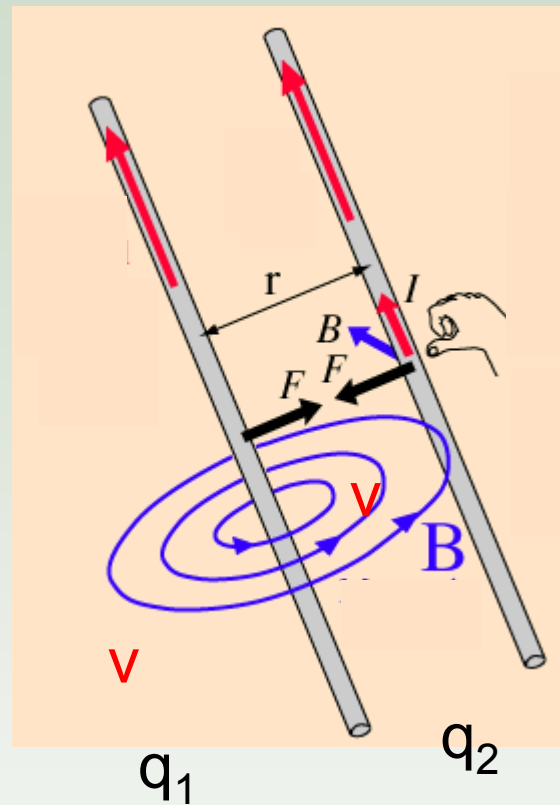
- ▶ Na pokretno naelektrisanje q_2 deluje **Lorencova sila**:

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

- ▶ Gornja jednačina može se napisati kao:

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

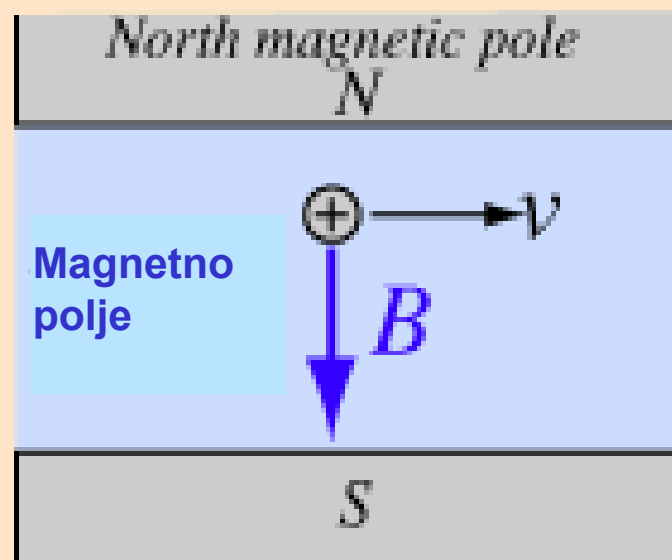
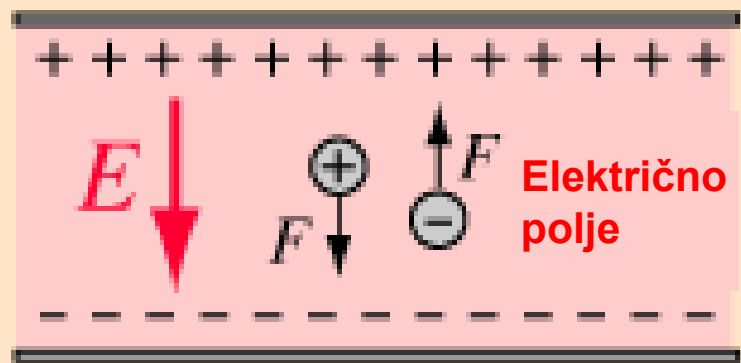
gde je sa m obeležena magnetna masa.



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

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

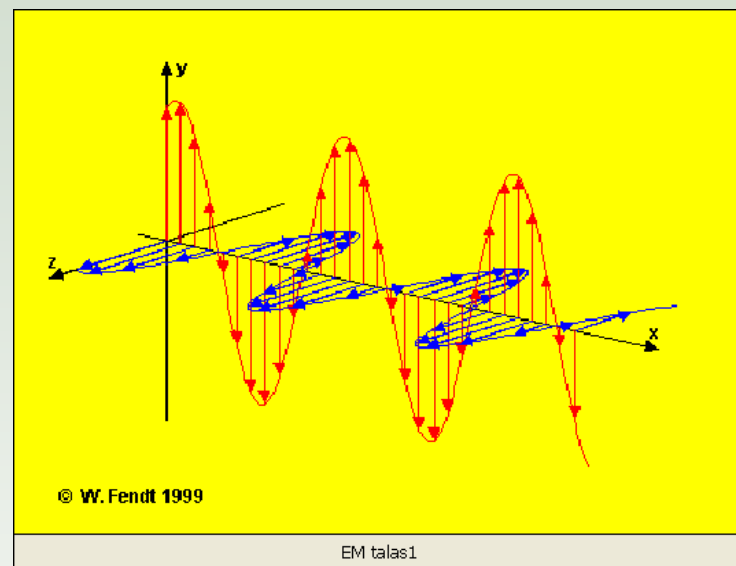
⊕ pravac magnetne sile ka ravni



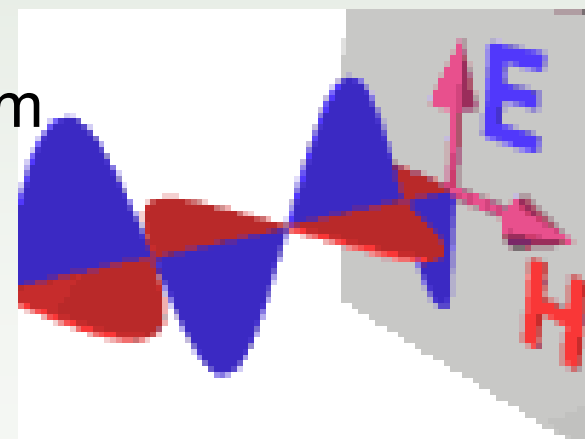
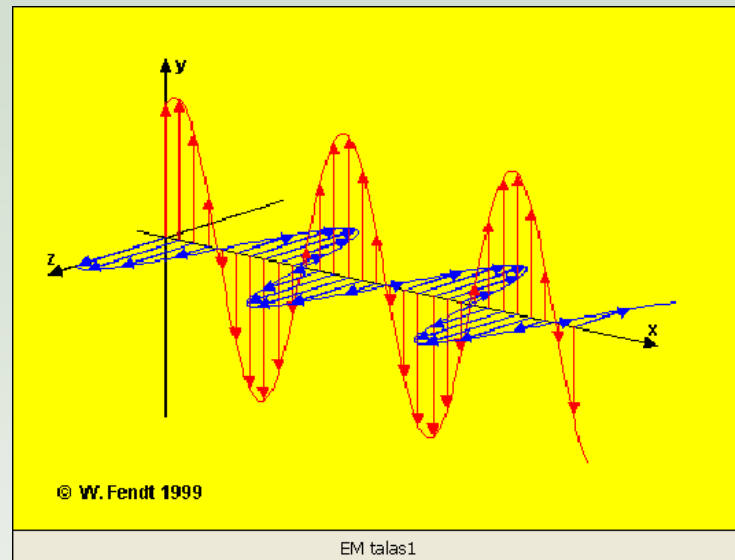
- 1. Jačina magnetnog polja.**
- 2. Magnetna indukcija.**
- 3. Magnetni fluks.**
- 4. Magnetna sila.**
- 5. Pravilo desne ruke**



- ▶ 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:

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

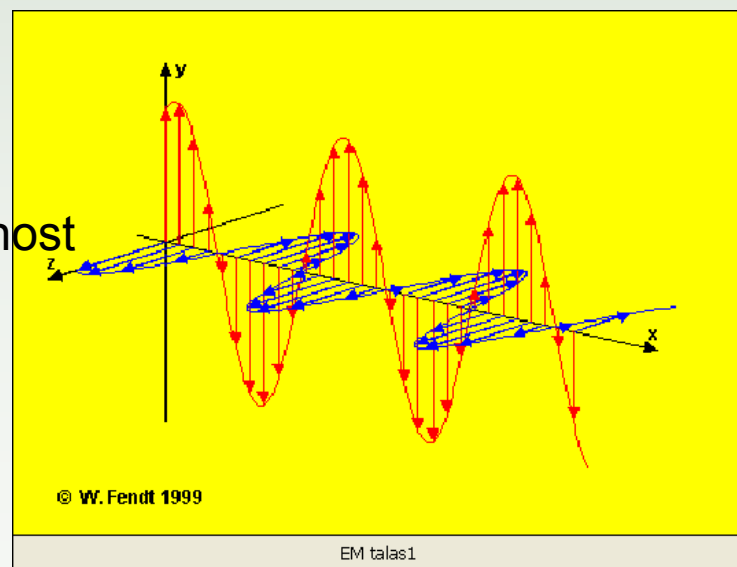
λ - talasna dužina

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:

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

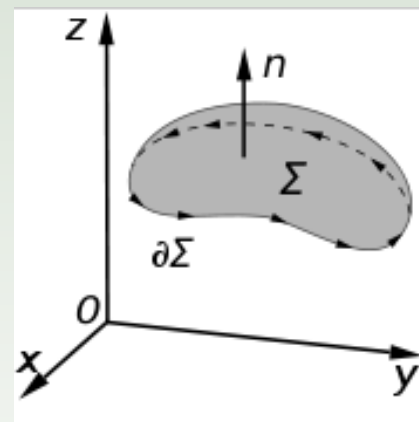
$$Z_k = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} = 377 \Omega$$

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:

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

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

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

- ▶ 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

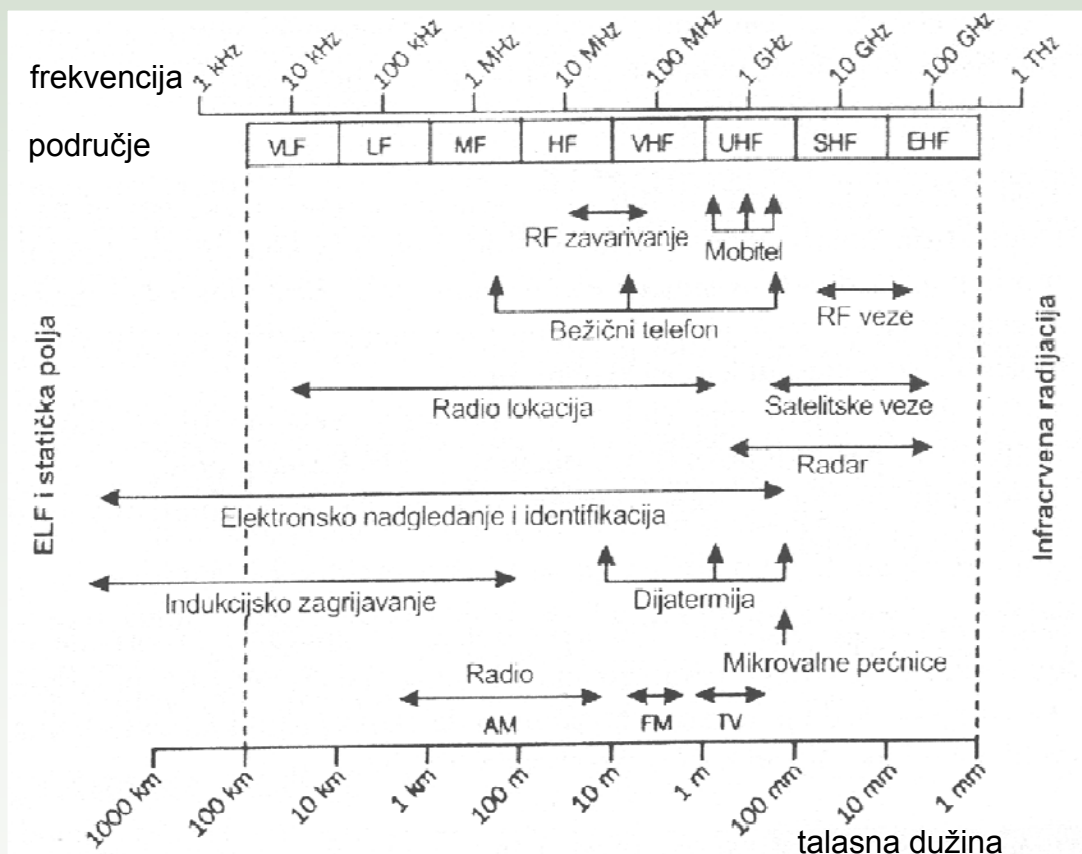
IZVOR	MAGNETNA INDUKCIJA [mT]
Geomagnetizam	0.03-0.07
Postrojenje na jednosmernu struju	50
Vozovi	50
Mali šipkast magnet	1-10

- ▶ 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.

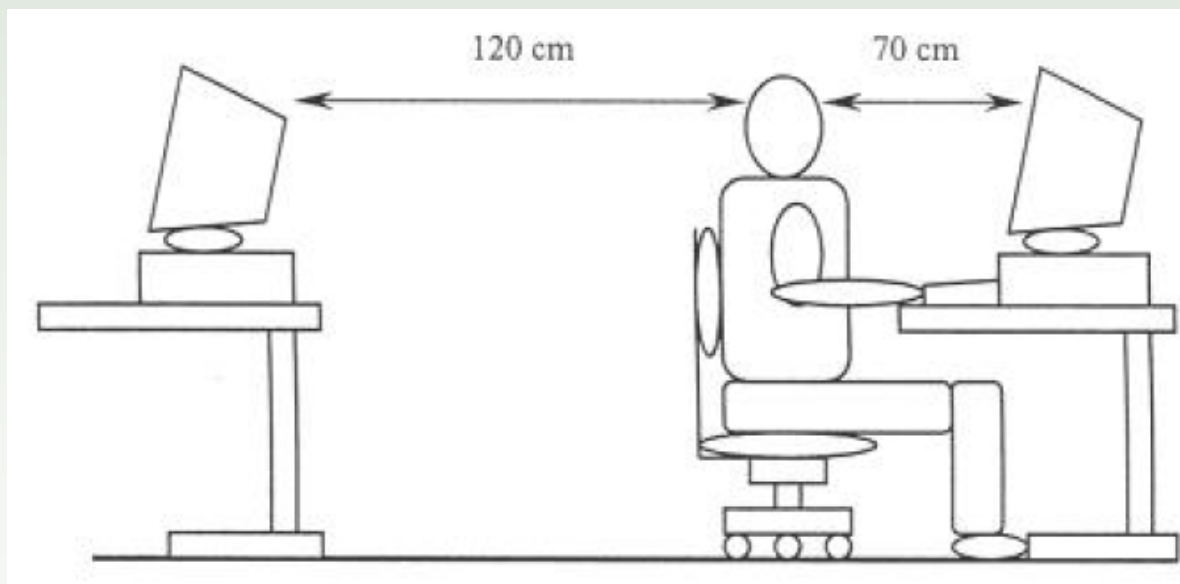
- ▶ Kod frekvencija viših od 100kHz dolazi do značajne apsorpcije energije i povišenja temperature u telu što zavisi od karakteristika polja (intenzitet, polarizacija, rastojanje izvor-objekat i karakteristika izloženog tela (veličina, oblik, dielektrična svojstva tkiva).
- ▶ Apsorpcija energije zavisi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

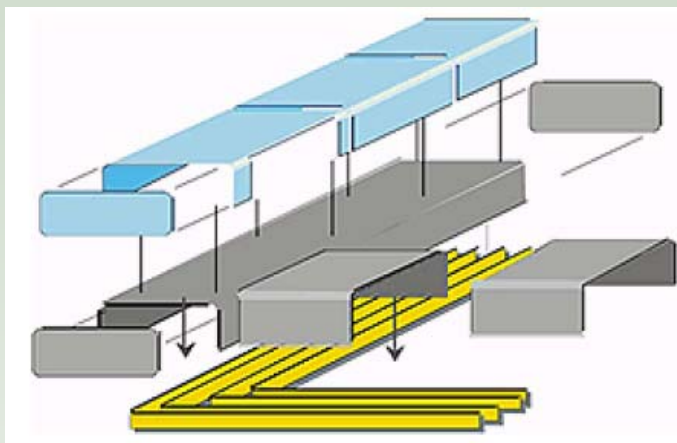
- ▶ Kada je čovekovo telo paralelno vektoru električnog polja dolazi do najveće apsorpcije u telu.

- ▶ 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

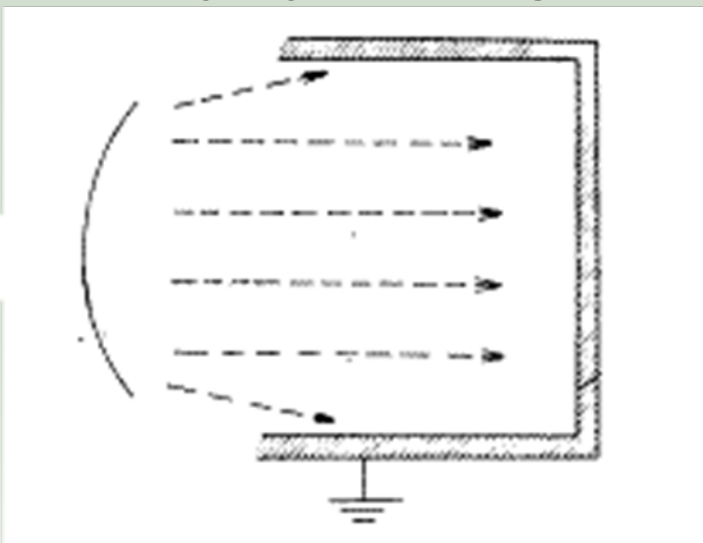


⊕ oklapanje uređaja ili nekih komponenti

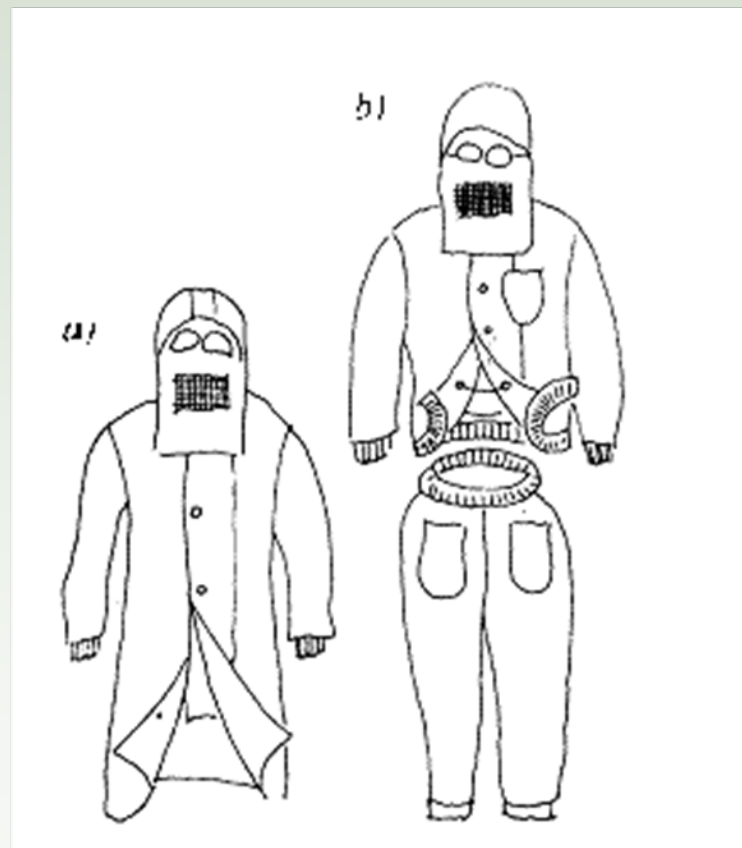


Primer oklapanja sabirnica transformatora u podrumskim prostorijama

- ⊕ 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.**

