FIZIKA 2

pitanja i odgovori za ocjenu dovoljan

1. Definiraj pojam vektora i navedite njihova osnovna svojstva i računske operacije među njima. Definirajte pravokutni, cilindrični i sferni koordinatni sustavi navedite izraze za diferencijalne duljine luka, površine i volumena. Skicirajte smjer jediničnih vektora u svakom sustavu.
2. Svojstva električnog naboja. Pojam makroskopke gustoće naboja. Coulombov zakon i pojam električnog polja dikretne i kontinuirane nakupine naboja.
3. Što je tok vektorskog polja. Navedite Gaussov zakon. Primjeri.
4. Izvedite izraz za potencijalnu energiju i potencijal točkatih naboja i kontinuirane nakupina naboja.
5. Kako se računa električno polje iz poznatog potencijala. Objasnite pojam gradijenta. U kojem je odnosu ekvipotencijalna ploha prema silnicama električnog polja?
6. Izvedite opći izraz za potencijalnu energiju elektrostatskog polja.
7. Vodič se nalazi u elektrostatskom polju. Kolika je vrijednost polja u vodiču, u šupljini vodiča i na površini vodiča.Objasnite
8. Uvedite vektor električnog pomaka D i izrazite prvu Maxvelovu jednadžbu preko D: Napišite integralni izraz za D.
9. Izračunajte elektrostatsku potencijalnu energiju u dielektričnoj sredini.
10. Objasnite pojam struje i gustoće struje. Izvedite zakon sačuvanju naboja.
11. Izvedite izraz za vodljivost σ iz $j = \sigma$ E u jednostavnom modelu električne vodljivosti.
12. Napišite izraz za magnetsko polje struje (Biot-Savartov zakon). Kao primjer izračunajte polje stalne struje u beskonačnom ravnom vodiču.
13. Izvedite opći izraz za silu između dva vodiča kroz koje prolaze stalne struje. Tim izrazom objasnite Orstedove pokuse.
14. Izvedite izraz za B kružne petlje i zavojnice na osi simetrije. Objasnite pojam magnetskog dipolnog momenta.
15. Porijeklo atomskih magnetskih dipolnih momenata. Magnetsko polje u tvari.
16. Objasnite Faradayev zakon elektromagnetske indukcije i napišite ga u obliku diferencijalne jednadžbe. O čemu govori Lenzovo pravilo? Ilustrirajte ga primjerom.
17. Objasnite pojmove međuvodičke indukcije i samoindukcije i dokažite teorem o uzajamnoj jednakosti međuvodičkih indukcija.
18. Objasnite doprinos od $\delta E/\delta t$ u izrazu ∇ x B i napišite Maxwellove jednadžbe u tvari kada postoje i vremenske promjene polja. Pokažite da one sadrže u sebi zakon o sačuvanju naboja.
19. Polazeći od Maxwellovih jednadžbi izvedite diferencijalne jednadžbe za električno i magnetsko polje. Koje je fizikalno značenje tih jednadžbi?
20. Pokažite da je elektromagnetski val transvezalan. Kakav je odnos smjera električnog i magnetskog vala i smjera širenja vala?
21. Riješite valnu jednadžbu u dijelu prostora daleko od izvora vala. Kakvo je fizikalno značenje rješenja.
22. Izvedite izraz za električno polje točkastog naboja koji se ubrzano giba. Uz koja ograničenja vrijedi taj izraz? Objanite učinak retardacije.
23. Polazeći od Maxwellovih jednadžaba, izvedi izraz za indeks loma. Komentirajte promjenjivost tog izraza.
24. Kako indeks loma ovisi o frekvenciji upadne svjetlosti? Komentirajte primjenjivost tog izraza.
25. Kako titra električno polje u linearno polariziranom elektromagnetskom valu?
26. Kako titra električno polje u kružno polariziranom elektromagnetkom valu?
27. Skiciraj smjerove i opišite upadni, reflektirani i lomljeni val na granici dva optička sredstva.
28. Opišite interferenciju dva koherena izvora i navedite uvjete pojave maksimuma i minimuma intenziteta svjetlosti
29. Objasnite pojavu Fraunhoferovog ogiba na uskoj pukotini i izvedite uvjete pojave maksimuma i minimuma intenziteta svijetlosti.
30. Ogib x-zraka na rešetki kristala.

① VEKTOR – USMJERENA DUŽINA KARAKTERIZIRANA IZNOSOM I SVOJIM SMJEROM

JEDNAKOST – AKO IMAJU ISTI IZNOS I SMJER, NEMORA ISTO HVATIŠTE

SUPROTNI – SUPROTNI SMJER I ISTI MODUL

JEDINIČNI – MODUL JEDNAK JEDAN

KOLINEARNI – PARALELNI S ISTIM PRAVCEM

KOMPLANARNI – PARALELNI S ISTOM RAVNINOM

$|\overline{AB}| = \sqrt{a_x^2 + b_x^2}$

ZBRAJANJE

- ASOCIJATIVNOST
  $(\bar{a}+\bar{b})+\bar{c} = \bar{a}+(\bar{b}+c)$
- KOMUTATIVNOST
  $\bar{a}+\bar{b} = \bar{b}+\bar{a}$
- $\bar{a}+(-\bar{a}) = \varnothing$

MNOŽENJE SKALARIMA

- $\alpha(\bar{a}+\bar{b}) = \alpha\bar{a}+\alpha\bar{b}$
- $(\alpha\cdot\beta)\bar{a} = \alpha(\beta\bar{a})$
- $\bar{a}(\alpha+\beta) = \alpha\bar{a}+\beta\bar{a}$

DERIVACIJA

$\frac{d}{dt}(\alpha\bar{a}) = \alpha\frac{d\bar{a}}{dt}$ α=kon.

$\frac{d}{dt}(\bar{a}\cdot\bar{b}) = \frac{d\bar{a}}{dt}\bar{b}+\bar{a}\frac{d\bar{b}}{dt}$

$\frac{d}{dt}(\bar{a}\times\bar{b}) = \frac{d\bar{a}}{dt}\times\bar{b}+\bar{a}\frac{d\bar{b}}{dt}$

SKALARNI PRODUKT

$\bar{a}\cdot\bar{b} = |\bar{a}||\bar{b}|\cos\alpha$

SVOJSTVA
- $\bar{a}\cdot\bar{b} = \bar{b}\cdot\bar{a}$
- $(\alpha\bar{a})\bar{b} = \alpha(\bar{a}\cdot\bar{b})$
- $\bar{a}\cdot\bar{b} = \varnothing \quad \bar{a}\perp\bar{b}$
- $\bar{a}\cdot\bar{a} = a^2$

$\hat{x}\hat{x} = \hat{y}\hat{y} = \hat{z}\hat{z} = 1$

$\hat{x}\hat{y} = \hat{y}\hat{z} = \hat{z}\hat{x} = 0$

VEKTORSKI PRODUKT

$$\bar{a}\times\bar{b} = \begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \end{vmatrix} = |\bar{a}||\bar{b}|\sin\alpha$$

$\hat{y}\times\hat{y} = \hat{x}\times\hat{x} = \hat{z}\times\hat{z} = 0$

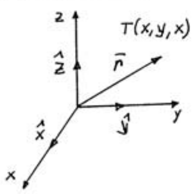
$\hat{y}\times\hat{x} = -\hat{z} \quad \hat{z}\times\hat{x} = \hat{y}$

$\hat{y}\times\hat{z} = \hat{x} \quad \hat{z}\times\hat{y} = -\hat{x}$

$\hat{x}\times\hat{y} = \hat{z} \quad \hat{x}\times\hat{z} = -\hat{y}$

- $\bar{a}\times\bar{b} = -\bar{b}\times\bar{a}$
- $(\lambda\bar{a})\times\bar{b} = \bar{a}\times(\lambda\bar{b})$
- $(\bar{a}+\bar{b})\times\bar{c} = \bar{a}\times\bar{c}+\bar{b}\times\bar{c}$
- $\bar{a}\times\bar{a} = 0$
- $\bar{a}\times\bar{b} = 0 \quad \bar{a}\parallel\bar{b}$

PRAVOKUTNI

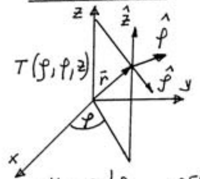


$dL = dr \quad -\infty\le x\le+\infty$

$dS = dx\,dy \quad -\infty\le y\le+\infty$

$dV = dx\,dy\,dz \quad -\infty\le z\le+\infty$

CILINDRIČNI



$dL = \rho\, d\varphi \quad \rho\in[0,+\infty]$

$dS = \rho\, d\rho\, d\varphi \quad \varphi\in[0,2\pi]$

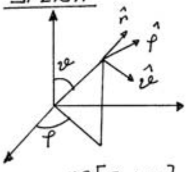
$dV = \rho\, d\varphi\, d\rho\, dz \quad z\in[-\infty,+\infty]$

$x = \rho\cos\varphi$

$y = \rho\sin\varphi$

$z = z$

SFERNI



$r\in[0,+\infty]$

$dl = r^2\sin\vartheta\, d\varphi$

$\varphi\in[0,2\pi]$

$dS = r^2\sin\vartheta\, d\varphi\, d\vartheta$

$\vartheta\in[0,\pi]$

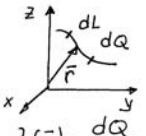
$dV = r^2\sin\vartheta\, d\varphi\, d\vartheta\, dr$

2. SVOJSTVA

- OČUVANJE ELEKTRIČNOG NABOJA – UKUPNI NABOJ ZATVORENOG SUSTAVA NE MIJENJA SE U VREMENU $dQ/dt = \varnothing$ Q=kon.
- KVANTIZIRANOST EL. NABOJA – POSTOJE NAJMANJE ČESTICE NOSIT. NABOJA KOJI SE NE MOGU VIŠE DIJELITI $e = 1{,}6\cdot10^{-19}$ C
- RELATIVISTIČKA INVARIJANTNOST – NABOJ JE ISTI U SUSTAVU KOJI SE GIBA I KOJI MIRUJE $Q(v) = Q(\varnothing)$
- FUNDAMENTALNA SVOJSTVA – IZVAN OKVIRA FUNDAMENTALNE KLASIČNE ELEKTRODINAMIKE UDALJENOSTI MANJE OD 10^{-15} m

GUSTOĆA NABOJA

LINIJSKA

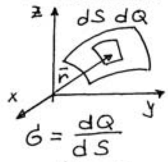


$\lambda(\bar{r}) = \frac{dQ}{dL}$

$Q = \int\lambda(\bar{r})\,dL$

$dL = dr$

POVRŠINSKA

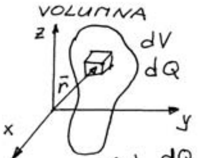


$\sigma = \frac{dQ}{dS}$

$Q = \int\sigma(\bar{r})\,dS$

$dS = d^2r$

VOLUMNA



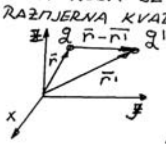
$\rho(\bar{r}) = \frac{dQ}{dV}$

$Q = \int\rho(\bar{r})\,dV$

$dV = d^3r$

COULOMBOV ZAKON

DVA MIRUJUĆA TOČKASTA EL. NABOJA ODBIJAJU – PRIVLAČE SE SILOM KOJA JE RAZMJERNA UMNOŠKU NABOJA A OBRNUTO RAZMJERNA KVADRATU NJIHOVE MEĐUSOBNE UDALJENOSTI



$\bar{F} = q'\bar{E}\,[N] \quad \varepsilon_0 = 8{,}854\cdot10^{-12}\left[\mathrm{As/Vm}\right]$

$\bar{F}(\bar{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}qq'\frac{\bar{r}-\bar{r}'}{|r-\bar{r}'|^3}$

VRIJEDI 3. NEWTONOV ZAKON $F_2 = -F_1$ (AKCIJA I REAKCIJA

$\bar{F}(\bar{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\sum_{i=1}^{n} q q_i \frac{\bar{r}-\bar{r}_i}{|\bar{r}-\bar{r}_i|^3}$

ELEKTRIČNO POLJE

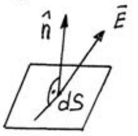
JE DIO PROSTORA OKO EL. NABOJA U KOJEM SE MOŽE DOKAZATI POSTOJANJE SILA KOJE DJELUJU NA DRUGE NABOJE. AKO POSTOJI PROSTORNI RAZMJEŠTAJ NABOJA NA NABOJ q_0 DOVEDEN U TAJ PROSTOR DJELUJE KOULOMBOVA SILA.

$\vec{E} = \frac{\bar{F}}{q_0}\left[\mathrm{V/m}\right]$

DISKRETNA NAKUPINA NABOJA – RAZDIOBA $\bar{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\sum_{i=1}^{n} q_i\frac{\bar{r}-\bar{r}_i}{|r-\bar{r}_i|^3}$

$\bar{E}(\bar{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int\rho(\bar{r}')\frac{\bar{r}-\bar{r}'}{|\bar{r}-\bar{r}'|^3}\,d^3r'$ KONTINUIRANA NAKUPINA NABOJA – RAZDIOBA

3. TOK VEKTORSKOG POLJA $\bar{A}$ KROZ DANU POVRŠINU S DEFINIRAN JE IZRAZOM $\Phi = \iint\bar{A}\,d\bar{S} = \iint A\,dS\cos\varphi = \iint A_n\,dS$ GDJE SE A_n KOMPONENTA VEKTORA $\bar{A}$, OKOMITA NA POVRŠINU S. TOK VEKTORSKOG POLJA JE SKALARNA VELIČINA. AKO VEKTOR $\bar{A}$ S ELEMENTOM POVRŠINE dS ZATVARA OŠTRI KUT (TOK JE POZITIVAN) – TUPI KUT (TOK JE NEGATIVAN).

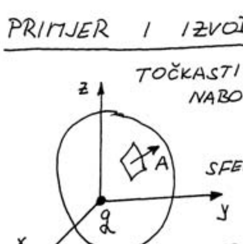


$d\Phi = \bar{E}\cdot d\bar{S}$

$\Phi = \oint\bar{E}\,d\bar{S}$

GAUSOV ZAKON – TOK VEKTORA JAKOSTI EL. POLJA KROZ ZATVORENU PLOHU JEDNAK JE OMJERU PLOHOM OBUHVAĆENOG NABOJA I DIELEKTRIČNE KONSTAN. PROSTORA $\Phi = \frac{q}{\varepsilon_0}$

PRIMJER I IZVOD



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

$d\bar{S} = dS\,\hat{r}$

$d\bar{S} = r^2\sin\vartheta\, d\vartheta\, d\varphi\,\hat{r}$

$d\bar{S} = r^2\, d\Omega\,\hat{r}$

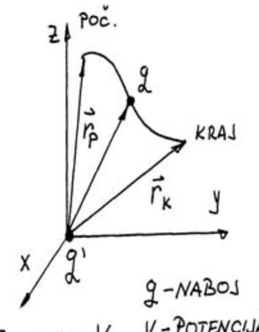
$\Phi = \oint dS\cos\alpha$

$\Phi = \int_0^{2\pi}\int_0^{\pi}\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r^2}\cdot\hat{r}\cdot r^2\sin\vartheta\, d\varphi\,\hat{r} \qquad \hat{r}\cdot\hat{r} = 1$

$\Phi = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\int_0^{2\pi}d\varphi\int_0^{\pi}\sin\vartheta\, d\vartheta = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\varphi\Big|_0^{2\pi}(-\cos\vartheta)\Big|_0^{\pi} =$

$= \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}2\pi\left[-(-1-1)\right] = \frac{q}{\varepsilon_0}$

4. POTENCIJALNA ENERGIJA - JEDNAKA JE NEGATIVNOJ VRIJEDNOSTI RADA POTREBNOG DA SE NABOJ q' DOVEDE IZ BESKONAČNOSTI NA UDALJENOST r OD NABOJA q.



- NABOJ q VUČEMO PO KRIVULJI OD $\bar r_p$ DO $\bar r_k$ PRI TOME SAVLADAVAMO COULOMBOVU SILU, A NEGATIVNA VRIJEDNOST ULOŽENOG RADA ZOVE SE P. E.

q - NABOJ
V - POTENCIJAL

$$E_p = q \cdot V$$

$$E_p(\bar r_k) = E_p(\bar r_p) + \frac{q q'}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r_k} - \frac{1}{r_p}\right)$$ - POTENCIJALNA ENERGIJA

$$V(\bar r) = \sum_{i=1}^{N} \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_n}{|\bar r - \bar r_n|}$$ - POTENCIJAL N TOČKASTIH NABOJA

$$E_p = \frac{1}{2}\iint \rho(\bar r) V(\bar r) d^3 r$$ - POTENCIJALNA ENERGIJA OPISANA KONTINUIRANOM RASPODJELOM

$$V(\bar r) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int \frac{\rho(\bar r) d^3 \bar r}{|r - r'|}$$ - POTENCIJAL KONTINUIRANE NAKUPINE NABOJA

5. AKO NAM JE POZNAT POTENCIJAL POLJE RAČUNAMO KAO NEGATIVNI GRADIJENT POTENCIJALA

$$\bar E = -\text{grad} V = -\bar\nabla V$$

- GRADIJENT FUNKCIJE JE VEKTOR KOJI OPISUJE PROMJENE FUNKCIJE F U OKOLIŠU NEKE TOČKE, NJEGOV SMJER JE JEDNAK SMJERU NAJBRŽEG RASTA FUNKCIJE, A IZNOSOM JE JEDNAK DERIVACIJI FUNKCIJE PO POMAKU U TOM SMJERU.
- GRADIJENT JE VEKTOR SKALARNOG POLJA $f(x,y,z)$ U DANOJ TOČKI $T(x,y,z)$ I DEFINIRAN JE IZRAZOM

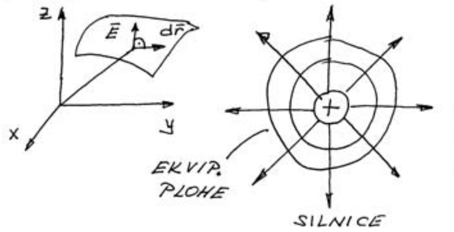
$$\text{grad} f = \frac{\partial f}{\partial x}\Big|_T \hat x + \frac{\partial f}{\partial y}\Big|_T \hat y + \frac{\partial f}{\partial z}\Big|_T \hat z$$

OKOMIT JE NA NIVO PLOHE OD TE SKAL. FUNKCIJE, IMA ORJENTACIJU U SMJERU POVEĆANJA TE SKALARNE FUNKCIJE U BILO KOJOJ PROMATRANOJ TOČKI. IZNOS GRADIJENTA

$$|\text{grad}| = \sqrt{\left(\frac{df}{dx}\right)^2 + \left(\frac{df}{dy}\right)^2 + \left(\frac{df}{dz}\right)^2}$$

EKVIPOTENCIJALNA PLOHA

- PLOHA U PROSTORU U KOJOJ POTENCIJAL IMA KONSTANTNU VRIJEDNOST
- U SVAKOJ SU TOČKI OKOMITE NA SMJER EL. POLJA (SILNICE EL. POLJA)



SILNICE

ZAMIŠLJENE KRIVULJE U PROSTORU KOJE POKAZUJU SMJER DJELOVANJA ELEKTRIČNOG POLJA

6. OPĆI IZRAZ ZA POT. ENG. ELSTAT. POLJA

(I) $E_p = \frac{1}{2}\int V(\bar r)\cdot \rho(\bar r) d^3 r =$ V - EL. POTENCIJAL, ρ - VOLUMNA GUSTOĆA NABOJA

$$\bar\nabla(f\bar\nabla f) = \bar\nabla f \bar\nabla f + f\bar\nabla^2 f = (\bar\nabla f)^2 + f\bar\nabla^2 f$$

$\nabla^2 V = -\frac{\rho}{\varepsilon_0}$ JER SE $\bar E = -\bar\nabla \cdot V$ - EL. POLJE JE NEG. GRADIJENT POTENCIJALA

I MAXWELLOVA JEDNADŽBA

$$\frac{\rho}{\varepsilon_0} = \bar\nabla \bar E = \frac{dE_x}{dx} + \frac{dE_y}{dy} + \frac{dE_z}{dz} = -\underbrace{\left(\frac{d^2V}{dx^2} + \frac{d^2V}{dy^2} + \frac{d^2V}{dz^2}\right)}_{\bar\nabla^2 V}$$

$$(I) = -\frac{\varepsilon_0}{2}\int V(\bar r)\nabla^2 V(\bar r) d^3 r =$$

$$\bar\nabla(V\bar\nabla V) = \bar\nabla V \bar\nabla V + V\nabla^2 V = (\bar\nabla V)^2 + V\bar\nabla^2 V$$

$$V\nabla^2 V = \bar\nabla(V\bar\nabla V) - (\underbrace{\bar\nabla V}_{-\bar E})^2$$

$$= -\frac{\varepsilon_0}{2}\iint\left[\bar\nabla(V\bar\nabla V) - (\bar\nabla V)^2\right] d^3 r =$$

$$= \frac{\varepsilon_0}{2}\left[\left[\int \bar\nabla(\nabla(-\bar E))\right] d^3 r - \int -\bar E^2 d^3 r\right] =$$

$$= \frac{\varepsilon_0}{2}\left[\int \bar\nabla(V\bar E) d^3 r + \int \bar E^2 d^3 r\right] =$$

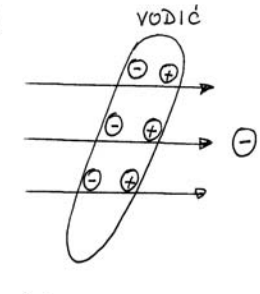
$$= \frac{\varepsilon_0}{2}\left[\oint_S V\bar E \cdot d\bar S + \int \bar E^2 d^3 r\right]$$

$$S \to \infty \qquad V \to 0$$

$$E_p = \frac{1}{2}\varepsilon_0 \int \bar E^2 d^3 r$$

OPĆI IZRAZ ZA POTENCIJALNU ENERGIJU ELEKTROSTATSKOG POLJA

7.

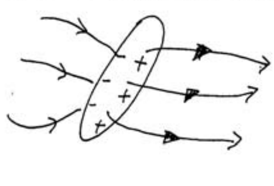


UNUTAR METALA POLJE JE PO IZNOSU

$\bar E = 0$ JER $V = $ KONST. CIJELI METAL JE EKVIPOTENCIJALNA PLOHA

$$E = -\bar\nabla V \quad (V = \int E\, dr + \text{KONST})$$

GIBANJE ELEKTRONA SE ODVIJA SVE DOK POLJE UNUTAR METALA NE IZJEDNAČI SE SA VANJSKIM



SILNICE EL. POLJA SU OKOMITE NA EKVIPOTENCIJALNE PLOHE

POLJE U ŠUPLJINI ODREĐENO JE LAPLASOVOM JEDNADŽBOM $\nabla^2 V = 0$

$V = V_0 = $ KONST. — POTENCIJAL

$\bar E_{IN} = 0 \quad V = \text{KONST} \quad \bar E_S^v = 0$

LAPLASOVA JEDNADŽBA ZADOVOLJAVA ZA POT. U ŠUPLJINAMA, AKO U TOM PROSTORU NEMA EL. NABOJA. POVRŠINSKI NABOJI NA KUTIJI ĆE SE RAZMJESTITI TAKO DA POLJE PONIŠTI POLJE VANJSKIH NABOJA U SVAKOJ TOČKI UNUTAR POVRŠINE.

8.

ELEKTRIČNA INFLUENCIJA - POJAVA DA ELEKTRIČKI NEUTRALNO TIJELO POSTAJE S JEDNE STRANE ELEKTRIČ. POZITIVNO, A S DRUGE ELEKTRIČKI NEGATIVNO AKO SE NALAZI U ELEKTRIČNOM POLJU. VEKTOROM ELEKTRIČNOG POMAKA $\bar D$ OPISUJE SE INFLUENCIJSKO DJELOVANJE POLJA NA TIJELO KOJE SE NALAZI U TOM POLJU.

PRVA MAXWELOVA JEDNADŽBA $\quad \bar P$ - VEKTOR POLARIZACIJE

$$\bar\nabla\cdot\bar E = \frac{\rho+\rho_{VEZ}}{\varepsilon_0} = \frac{\rho - \bar\nabla \bar P}{\varepsilon_0} \Big/ \varepsilon_0$$

$\bar\nabla(\varepsilon_0\bar E+\bar P)=\rho$ DEF. $\bar D=\varepsilon_0\bar E+\bar P$

$\bar\nabla\cdot\bar D=\rho$ PRVA MAXW. PREKO $\bar D$

$$\bar D = \frac{1}{4\pi}\int\frac{\rho(\bar r')(\bar r-\bar r')}{|\bar r-\bar r'|^3}d^3r'$$

9. ELEKTROSTATSKA POTENCIJALNA ENERGIJA U DIELEKTRIČNOJ SREDINI.

$$E_P = \frac12\int\rho(\bar r)V(\bar r)d^3r \qquad 3)\ \bar E=-\bar\nabla V$$

1) $\rho=\bar\nabla\bar D$ $\quad$ 2) $\bar\nabla(V\bar D)=(\bar\nabla\cdot V)\bar D+V(\bar\nabla\bar D)=\bar\nabla(V\bar D)-(\bar\nabla V)\bar D$

$$E_P=\frac12\int(\bar\nabla\bar D)Vd^3r=\frac12\left[\int\bar\nabla(V\bar D)d^3r-\int(\bar\nabla V)\bar D d^3r\right]=$$

$$=\frac12\left[\oint V\bar D d\bar S+\int\bar E\bar D d^3r\right]$$

$$E_P=\frac12\int\bar E\bar D d^3r+\frac12\oint V\bar D d\bar S$$

10.

STRUJA - USMJERENO GIBANJE ELEKTRONA POD UTJECAJEM ELEKTRIČNOG POLJA
- RAČUNA SE KAO KOLIČINA NABOJA KOJA U VREMENU Δt PROĐE KROZ PRESJEK VODIĆA I OVISI SAMO O PROSJEČNOJ BRZINI ELEKTRONA

$$I=\frac{\Delta Q}{\Delta t}=\frac{q\cdot\bar S\bar v\cdot n\Delta t}{\Delta t}=q\bar S\bar v n\,[A]$$

GUSTOĆA STRUJE - JE VEKTORSKA VELIČINA KOJA IMA SMJER GIBANJA ELEKTRONA

ODNOS JAKOSTI STRUJE I POVRŠINE PRESJEKA ZOVE SE GUSTOĆA STRUJE

$$\vec j=\sum_j q_j n_j\vec v \qquad I=\vec j\cdot\vec S \Leftarrow I=\int\vec j dS,\quad \vec j=KONST$$

ZAKON O SAČUVANJU NABOJA

$I=-\frac{dQ}{dt}$ NEGATIVNO JER KAKO VRIJEME TEČE NABOJ SE SMANJUJE

$$\oint\vec j d\bar S=-\frac{dQ}{dt} \qquad \bar\nabla\vec j=-\frac{d\rho}{dt}$$

$$\oint\vec j d\bar S=-\frac{d}{dt}\int\rho d^3r$$

- NABOJ SE NE MOŽE STVARATI ILI PONIŠTAVATI, STRUJA MOŽE POSTOJATI SAMO AKO SE NABOJ SMANJUJE U KONAČNOM VOLUMENU, TJ. KOLIKO NABOJA UĐE U SVAKI VOLUMEN, TOLIKO MORA IZAĆI.

GAUSSOV TEOREM

$$\oint\bar f d\bar S=\int\bar\nabla\bar f d^3r$$

$$\oint\vec j dS=\int\bar\nabla\vec j d^3r$$

$$\int\bar\nabla\vec j d^3r=-\int\frac{d\rho}{dt}d^3r \Big/ :d^3r$$

11. IZRAZ ZA VODLJIVOST

$\sigma=\frac1\rho[S]$ VODLJIVOST $\quad \rho$ - SPEC. OTPOR MATERIJALA $[\Omega m]$

$$\vec j=\sigma\vec E \qquad \bar F=q\cdot\bar E=m\cdot\vec a \qquad \vec a=KONST$$

MODEL

- SREDSTVO KROZ KOJE PROLAZI STRUJA (NPR. PLIN) SASTOJI SE OD POZITIVNIH I NEGATIVNIH NOSIOCA NABOJA $(m_+,+q\ ;\ m_-,q-)$ ISTE GUSTOĆE
- GUSTOĆA STRUJE $\vec j$ JE ODREĐENA NJIHOVOM PROSJEČNOM BRZINOM $\bar v$, DJELOVANJEM STALNE SILE ONI BI SE TREBALI JEDNOLIKO UBRZAVATI ALI POŠTO SE SUDARAJU GIBAJU SE STALNOM DRIFTNOM BRZINOM
- KADA NARINEMO EL. POLJE IMAMO DVIJE STRUJE (TOPLINSKOG EFEKTA I EL. POLJA)

$$\bar P=m_+\vec v_t+q\bar E\cdot t$$

IMPULS-KOLIČINA GIBANJA ČESTICE IZMEĐU DVA SUDARA

$\bar{\bar v}_+=\frac{qe\cdot\bar E}{m_+}\bar t_+$ - SREDNJA BRZINA NOSILACA POZITIVNIH NABOJA RAZMJERNA JE ELEKTRIČNOM POLJU $\bar E$

$\bar{\bar v}_-=-\frac{qe\bar E}{m_-}\bar t_-$ - NEGATIVNI NOSIOCI NABOJA

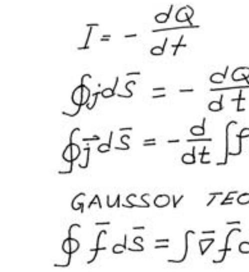
GUSTOĆA STRUJE

$$\vec J=\vec J_++\vec J_-=qN\bar v_++(-q)N\bar v_-$$

$$\vec J=\sum_j N_j q v_j \qquad j=qN\frac{q\bar t_+}{m_+}+qN\frac{+q\bar t_-}{m_-}\bar E$$

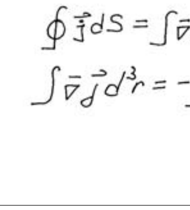
$$\vec j=q^2N\left(\frac{\bar t_+}{m_+}+\frac{\bar t_-}{m_-}\right)\bar E \qquad \sigma=Nq^2\left(\frac{\bar t_+}{m_+}+\frac{\bar t_-}{m_-}\right)$$

12. BIO-SAVARTOV ZAKON - BIT JE DA SE NASTAJANJE MAG. UZBUDE I MAG. GUSTOĆE MOŽE SHVATITI TAKO DA SVAKI $d\bar r$ VODIĆA PROTJECAN STRUJOM I, STVARA U PROMATRANOJ TOČKI P JEDAN DOPRINOS dB ZA UKUPNU UZBUDU B.



$$\bar B(\bar r)=\frac{\mu_0}{4\pi}\int\frac{\vec j(\bar r')\times(\bar r-\bar r')}{|\bar r-\bar r'|^3}d^3r$$

PRIMJER



$$\bar r=\rho\cdot\hat\rho+z\cdot\hat z \qquad \bar r-\bar r'=\rho\hat\rho+z\hat z-z'\hat z$$

$$r'=z'\hat z \qquad |\bar r-\bar r'|=\sqrt{\rho+(z-z')^2}$$

$$dr'=dz'\hat z \qquad tg\alpha=\frac{z-z'}{\rho}$$

$\alpha\ (-\pi/2$ DO $\pi/2)$

$$\bar B(\bar r)=\frac{\mu_0}{4\pi}I\int\frac{d\bar r'\times(\bar r-\bar r')}{|\bar r'-\bar r'|^3}$$

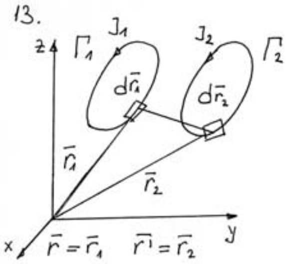
$$\bar B(\bar r)=\frac{\mu_0 I}{4\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{dz'\hat z\times(\rho\hat\rho+z\hat z-z'\hat z)}{[\rho^2+(z-z')^2]^{3/2}}$$

$$dz'\hat z\times(\rho\hat\rho+z\hat z-z'\hat z)=\begin{vmatrix}\hat\rho&\hat\varphi&\hat z\\0&0&dz\\\rho&0&z-z'\end{vmatrix}=-\rho(-dz'\varphi)=dz'\rho\cdot\hat\varphi$$

$$\bar B(\bar r)=\frac{\mu_0 I\rho\hat\varphi}{4\pi}\int\frac{dz'}{[\rho^2+(z-z')^2]^{3/2}}$$

Rj. $\bar B(\vec r)=\frac{\mu_0 I}{2\pi\rho}\hat\varphi$

13.



$\bar r = \bar r_1 \quad \bar r' = \bar r_2$

LORENTZOVA SILA

$\bar F = q\cdot\bar v\times\bar B$

$d\bar F = dq\frac{d\bar r}{dt}\times\bar B$

$d\bar F = J\,d\bar r\times\bar B$

$d\bar F_{12} = J_1 d\bar r_1 \times \bar B_2(r_1)$ SILA POLJA Γ_1 NA Γ_2

BIOSAVARTOV ZAKON

$$\bar B(\bar r) = \frac{\mu_0 J}{4\pi}\int \frac{d\bar r\times(\bar r-\bar r')}{|\bar r-\bar r'|^3} \Rightarrow d\bar B(\bar r) = \frac{\mu_0 J}{4\pi}\frac{d\bar r\times(\bar r-\bar r')}{|\bar r-\bar r'|^3}$$

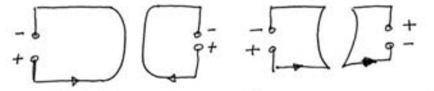
$$d\bar B_2(\bar r_1) = \frac{\mu_0 J_2}{4\pi}\frac{d\bar r_2\times(\bar r_1-\bar r_2)}{|\bar r_1-\bar r_2|^3}$$

$$d\bar F_{12} = J_1 d\bar r_1\times\frac{\mu_0 J_2}{4\pi}\frac{d\bar r_2\times(\bar r_1-\bar r_2)}{|\bar r_1-\bar r_2|^3} \Big/ \int$$

$$\bar F_{12} = J_1J_2\frac{\mu_0}{4\pi}\oint_{\Gamma_1} d\bar r_1\times\oint_{\Gamma_2}\frac{d\bar r_2\times(\bar r_1-r_2)}{|\bar r_1-\bar r_2|^3}$$

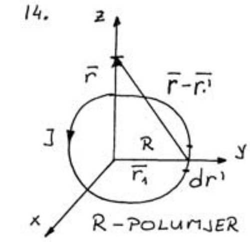
$$\bar F_{12} = -\bar F_{21}$$

ÖRSTEDOVI POKUSI



U PROSTORU OKO VODIČA KOJIM TEČE STRUJA POSTOJI MAG. POLJE, UKOLIKO SE POLJA DVA SUSJEDNA VODIČA PONIŠTAVAJU – PRIVLAČE, ZBRAJAJU – ODBIJAJU

14.

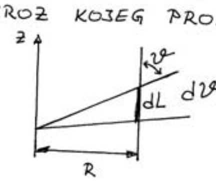


IZRAZ ZA MAG. POLJE KOJE STVARA KRUŽNA PETLJA POLUMJERA R U Oxy RAVNINI

$$\bar B(z) = \frac{\mu_0 J}{2}\frac{R^2}{(R^2+z^2)^{3/2}}\hat z$$

ZAVOJNICA NA OSI SIMETRIJE

PROMATRAMO DIO ZAVOJNICE A ON SADRŽI ndL ZAVOJA PA JE EKVIVALENTAN JEDNOM ZAVOJU KROZ KOJEG PROLAZI STRUJA JndL



IZRAZ ZA JEDNU PETLJU

$$\vec B(z) = \frac{\mu_0 J}{2}\frac{R^2}{(R^2+z^2)^{3/2}} = \frac{\mu_0 J}{2}\frac{R^2}{|\bar r-\bar r'|^3}$$

$z=\vec r$

$J = nJdL$

DOBIJEMO

$$\bar B(z) = \frac{\mu_0}{2}nJ(\cos\vartheta_1-\cos\vartheta_2)$$

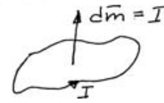
MAGNETSKI DIPOLNI MOMENT

$\bar m = \frac12\int\bar r\times\bar j(\bar r)\,d^3r \qquad J=\int\vec j\,dS$

$\bar m = \frac12 J\int\bar r\times d\bar r \qquad \bar B(z) = \frac{\mu_0}{2}\frac{\bar m}{r^3}$

TO JE UMNOŽAK STRUJE I POVRŠINE PETLJE, TJ VEKTOR U SMJERU OKOMICE NA POVRŠINU KRUŽNOG VODIČA $\vec S$

$\bar m = \underbrace{R^2\pi}_{S}J\cdot\hat z \qquad \bar m = I\bar S$

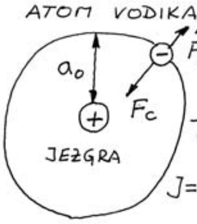


15. $\bar m = J\cdot\bar S$ – MAGNETSKI DIPOLNI MOMENT

SVAKI ATOM IMA MALI MAGNETSKI MOMENT UZROKOVAN GIBANJEM ELEKTRONA OKO JEZGRE. UKOLIKO SU SVI MAG. MOMENTI ATOMA USMJERENI U ISTOM SMJERU ONDA DAJU MAKROSKOPSKI MOMENT STALNIH MAGNETA, DAKLE SVAKI ATOM JE MALI MAGNET. a_0 – UDALJENOS OD JEZGRE

ATOM VODIKA ELEKTRON F_{CF} – CENTRIFUGALNA SILA

F_C – COULOMBOVA SILA



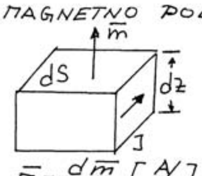
$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_e^2}{a_0^2} = \frac{mv^2}{a_0} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{q_e^2}{4\pi\varepsilon_0 m a_0}}$$

$$J = \frac{dQ}{dt} = \frac{n\cdot q_e}{dt} = \frac{\frac{v\,dt}{2a_0\pi}\cdot q_e}{dt} = \frac{v\,q_e}{2a_0\pi}$$

MAGNETNI DIPOLNI MOMENT ZA VODIK

$$\bar m = J\bar s = \frac{v q_e}{2a_0\pi}\bar S = \frac{vq_e}{2a_0\pi}a_0^2\pi = \frac12 v q_e a_0$$

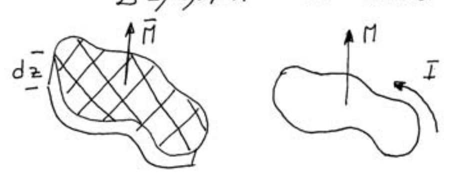
MAGNETNO POLJE U TVARI



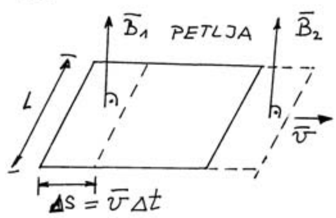
TVAR PODJELIMO NA MNOGO MALIH KOCKICA, DOBIVAMO DA JE MAGNETIZACIJA ISTA KAO DA JE KOCKA PUNA. AKO IMAMO VELIK KOMAD TVARI SVIM dV SE STRUJE PONIŠTAVAJU OSIM ONIMA NA RUBU TVARI. ZBOG TOGA MOŽEMO TVAR ZAMJENITI SA STRUJNOM PETLJOM KOJA PROIZVODI GUSTOĆU MAGNETIZACIJE M.

$\bar M = \frac{d\bar m}{dV}\;[A/m]$

$B = \mu_0\mu_r\cdot H$ H – JAKOST MAG. POLJA



16. FARADAYEV ZAKON – PROMATRAMO PETLJU U TRENUTKU t i $t+\Delta t$



POMICANJEM PETLJE TOK SE NA LIJEVOJ STRANI SMANJI ~~A~~ DESNO POVEĆA

SMANJI $\Delta\Phi_1 = B_1 L v\Delta t$

POVEĆA $\Delta\Phi_2 = B_2 L v\Delta t$

FARADAYEV ZAKON EL. MAG. IND

$$\mathcal E = -\frac{d\Phi}{dt}$$

UKUPNA PROMJENA TOKA

$d\Phi = (B_2-B_1)\ell v\,dt$

$d\Phi = -(B_1-B_2)\ell v\Delta t = -\mathcal E\,dt$

UKAZUJE NA PROMJENU MAG. POLJA U VREMENU

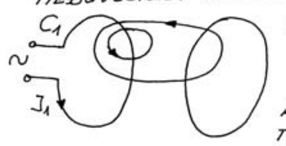
LENZOVO PRAVILO

INDUCIRANA STRUJA IMA TAKAV SMJER DA PROIZVODI MAGNETSKI TOK KOJI SE SUPROSTAVLJA PROMJENI MAG. TOKA KOJI JE UZROKOVAO NJENO NASTAJANJE. KADA SE TOK KROZ PETLJU SMANJUJE INDUCIRANA STRUJA VLASTITIM TOKOM NASTOJI POVEĆATI TOK I OBRNUTO. PROIZLAZI IZ ZAKONA O OČUVANJU ENERGIJE NPR. GIBAMO VODIČ U MAG. POLJU RAD SE PRETVARA U ELEKTRIČNU ENERGIJU KADA SE PROIZVEDENI MAG. TOK NE BI SUPROSTAVLJAO UZROKU SVOGA NASTANKA INDUCIRANA STRUJA BI RASLA ŠTO BI BILA NEKA VRSTA PERPETUM MOBILE, A TO JE U SUPROTNOSTI S ZAKONOM O OČUVANJU ENERGIJE.

LENTZOVO PRAVILO – SMJER INDUCIRANOG NAPONA JE UVIJEK TAKAV DA SE OD NJEGA STVORENA STRUJA SVOJIM MAG. UČINKOM PROTIVI PROMJENI MAG. TOKA $d\Phi$

17.

MEĐUVODIČKA INDUKCIJA – JE POJAVA KOJA SE OČITUJE TIME DA SE ZBOG PROMJENE JAKOSTI STRUJE U JEDNOM SVITKU INDUCIRA NAPON U DRUGOM



AKO KROZ C_1 TEČE $J_1(t)$ TO STVARA PROMJENJIVI TOK KOJI U PETLJI C_2 INDUCIRA EMS.

$$\Phi_{21} = \int \bar{B}_1 d\bar{S}_2 = M_{21} J_1(t) \qquad M_{21} \text{ – KOEFICIJENT } [H] \; \sqrt{L_1 L_2}$$

MEĐUVODIČKE INDUKCIJE

TOK POLJA $\bar{B}_1$ KROZ C_2

$$\mathcal{E}_{21} = -\frac{d\Phi_{21}}{dt} = -M_{21}\frac{dJ_1(t)}{dt} \qquad L_1 = \mu\frac{N_1^2 S}{L_1} \quad L_2 = \mu\frac{N_2^2 S}{L_2}$$

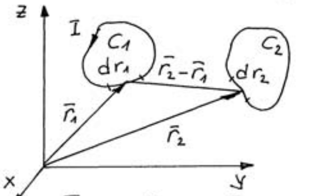
SAMOINDUKCIJA – POJAVA DA SE U SAMOM SVITKU KROZ KOJI PROLAZI PROMJENJIVA STRUJA INDUCIRA NAPON ZBOG PROMJENJIVOG TOKA Φ ŠTO GA JE PROIZVELA VLASTITA STRUJA TOG SVITKA

$$\Phi_{11} = \int \bar{B}_1 d\bar{S}_1 = M_{11} J_1$$

$$\mathcal{E}_{11} = -\frac{d\Phi_{11}}{dt} = -M_{11}\frac{dJ_1(t)}{dt}$$

$M_{11} = L$ – SAMOINDUKTIVNOST STRUJNOG KRUGA

TEOREM O UZAJAMNOJ JEDNAKOSTI MEĐU VODIČKIH INDUKCIJA



$$\Phi_{21} = \oint_{C_2} A_1(r_2)\, d\bar{r}_2$$

$$\Phi_{12} = M_{12} I$$

$$\Phi_{21} = \oint_{C_2} \frac{\mu_0 I}{4\pi} \cdot \oint_{C_1} \frac{dr_1}{|\bar{r}_1 - \bar{r}_2|}\, d\bar{r}_2 \qquad M_{12} = M_{21} = I$$

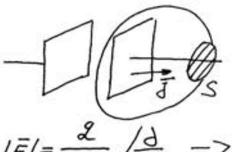
$$\Phi_{21} = \left[\frac{\mu_0}{4\pi}\oint_{C_1} d\bar{r}_1 \oint_{C_2} d\bar{r}_2 \frac{1}{|\bar{r}_2 - \bar{r}_1|}\right] I = M_{21} I$$

18.

ZA $\vec{J}$ KOJI SE NE MIJENJA U VREMENU

a) $\nabla \bar{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$ b) $\nabla \bar{J} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$ c) $\nabla \times \bar{B} = \mu_0 \bar{J}$

AKO SE $\vec{J}$ MIJENJA U VREMENU $\frac{\partial \rho}{\partial t} \neq 0$



$\bar{E}$ KONDENZATORA JE

$$|\bar{E}| = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}; \; \sigma = \frac{Q}{S} \qquad \sigma \text{ – POVRŠINSKA GUSTOĆA NABOJA}$$

$$|\bar{E}| = \frac{q}{S\varepsilon_0} \Big/ \frac{d}{dt} \Rightarrow \varepsilon_0 S \frac{d|\bar{E}|}{dt} = \frac{dq}{dt} \to J'$$

OSIM STRUJE J KROZ VODIĆ IZMEĐU PLOČA KONDENZATORA DOLAZI DO PROMJENE $\bar{E}$ KOJA ODGOVARA STRUJI J'

$$J' = S\varepsilon_0 \frac{d\bar{E}}{dt}; \; J' = \vec{j}'S; \; \vec{j}'S = S\varepsilon_0\frac{d\bar{E}}{dt} \Rightarrow \vec{j}' = \varepsilon_0 \frac{d\bar{E}}{dt}$$

$$\vec{J} = \vec{j} + \vec{j}' \Rightarrow \nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} = \mu_0(\vec{j} + \vec{j}') = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{d\bar{E}}{dt}$$

$$\nabla \times \bar{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{d\bar{E}}{dt}$$

$$\nabla \cdot \vec{j} = -\frac{\partial \rho}{\partial t} \text{ – ZAKON OČUVANJA NABOJA}$$

MAXWELOVE JEDNADŽBE

VAKUM		PRISUSTVO TVARI
1) $\nabla \times \bar{E} = -\frac{d\bar{B}}{dt}$	FARADAY	1) $\nabla \times \bar{E} = -\frac{d\bar{B}}{dt}$
2) $\nabla \times \bar{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{d\bar{E}}{dt}$	AMPERE + MAXWELL	2) $\nabla \times \bar{H} = \bar{j} + \frac{d\bar{D}}{dt}$
3) $\nabla \bar{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$	GAUS	3) $\nabla \bar{D} = \rho$
4) $\nabla \bar{B} = \emptyset$	NE POSTOJI MAG. MONOPOL II GAUS ZAKON	4) $\nabla \bar{B} = \emptyset$

19.

$$\nabla \times \bar{E} = -\frac{d\bar{B}}{dt} \Big/ \nabla\times$$

$$\nabla \times \bar{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{d\vec{E}}{dt} \Big/ \nabla\times$$

MATEMATIKA

$$\nabla \times (\nabla \times \bar{a}) = \nabla(\nabla \bar{a}) - \nabla^2 \bar{a}$$

$$\nabla \bar{E} = 3.\text{ MAXWELL} = \rho/\varepsilon_0$$

$$\nabla \times (\nabla \times \bar{E}) = -\frac{d}{dt}\nabla \times \bar{B}$$

$$\nabla(\nabla \bar{E}) - \nabla \bar{E} = -\frac{d}{dt}\left(\mu_0 \vec{j} + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{d\bar{E}}{dt}\right)$$

$$\nabla^2 \bar{E} - \mu_0 \varepsilon_0 \frac{d^2 \bar{E}}{dt^2} = \frac{1}{\varepsilon_0}\nabla \rho + \mu_0 \frac{d\vec{j}}{dt} \qquad A$$

$$\nabla \times (\nabla \times \bar{B}) = \nabla \times \left(\mu_0 \vec{j} + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{d\bar{E}}{dt}\right)$$

$$\nabla(\nabla \bar{B}) - \nabla^2 \bar{B} = \mu_0 \nabla \times \vec{j} + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{d}{dt}\nabla \times \bar{E}$$

$$\text{I. MJ } \nabla \times \bar{E} = -\frac{d\bar{B}}{dt} \qquad \nabla \bar{B} = \emptyset \quad 4.\text{ M.J.}$$

$$-\nabla \bar{B} = \mu_0 \nabla \times \vec{j} + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{d}{dt}\left(-\frac{d\bar{B}}{dt}\right) \Big/ (-1)$$

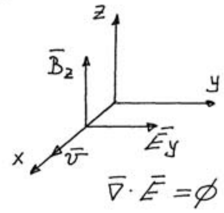
$$\nabla^2 \bar{B} - \mu_0 \varepsilon_0 \frac{d^2 \bar{B}}{dt^2} = -\mu_0 \nabla \times \vec{j} \qquad B$$

A I B – PARCIJALNE DIFERENCIJALNE JEDNADŽBE KOJE SE MOGU SHVATITI KAO VALNE JEDNADŽBE

A – JEDNADŽBA ZA ELEKTRIČNO POLJE GOVORI NAM DA NEMA IZOLIRANIH NABOJA

B – JEDNADŽBA ZA MAGNETSKO POLJE GOVORI NAM DA OKO SILNICA PROMATRANOG MAG. POLJA A OKOMITO NA NJIH NASTAJU ZATVORENE SILNICE EL. POLJA

20.



$\bar{v}, \bar{B}, \bar{E}$ – MEĐUSOBNO OKOMITI

$$E(x,t) = E_x(x,t)\hat{x} + E_y(x,t)\hat{y} + E_z(x,y)\hat{z}$$

$$\nabla \cdot \bar{E} = \emptyset$$

$$\frac{dE_x}{dx} + \underbrace{\frac{dE_y}{dy} + \frac{dE_z}{dz}}_{\emptyset} = 0 \quad \text{JER SE GIBA SAMO PO SI X}$$

$$\frac{dE_x}{dx} = 0 \to E_x \text{ – KONSTANTA}$$

$$\nabla \times \bar{E} = -\frac{d\bar{B}}{dt} \quad \text{II MAXW. JED.}$$

$$\nabla \times \bar{E} = \begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ \frac{d}{dx} & \frac{d}{dy} & \frac{d}{dz} \\ \emptyset & E_y(x) & \emptyset \end{vmatrix} = \hat{x}\left(0 - \frac{d}{dz}E_y\right) - \hat{y}(0-0) + \hat{z}\left(\frac{dE_y}{dx} - 0\right) = -\frac{d\bar{B}}{dt}$$

$$\bar{B}(x,t) = B_x(x,t)\hat{x} + B_y(x,t)\hat{y} + B_z(x,t)$$

$$\frac{dB_x(x,t)}{dt} = \emptyset \qquad \frac{dB_y(x,t)}{dt} = \emptyset$$

$$-\frac{dB_z(x,t)}{dt} = \frac{dE_y(x,t)}{dx} \Rightarrow \frac{dE_y}{dx} = -\frac{dB_z}{dt}$$

TRI SMJERA (OKOMITA) (TRANSVERZALNI EM VAL)
1) SMJER ŠIRENJA VALA
2) SMJER EL. POLJA
3) SMJER MAG. POLJA

TRANSVERZALNI POREMEĆAJ
– KOD KOJEGA ČESTICE TITRAJU OKOMITO NA SMJER ŠIRENJA POREMEĆAJA

21.

$$\bar\nabla^2 \bar E - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 \bar E}{\partial t^2} = \frac{1}{\varepsilon_0}\bar\nabla\rho + \mu_0 \frac{\partial \vec J}{\partial t}$$

$$\bar\nabla^2\bar B - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2\bar B}{\partial t^2} = -\mu_0 \bar\nabla\times\vec J$$

VAKUM $c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}}$

$$\bar\nabla^2 V - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 V}{\partial t} = -\frac{\rho}{\varepsilon_0}$$

$v = \frac{c}{\sqrt{\mu_r\varepsilon_r}}$ OPĆENITO SREDSTVO

$$\bar\nabla^2\bar A - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2\bar A}{\partial t^2} = -\mu_0\vec J$$

$$\bar\nabla^2 \ell - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2\ell}{\partial t^2} = -\rho$$

$$\ell_H = \frac{q\left(t - \frac{|\bar r - \bar r'|}{c}\right)}{|\bar r - \bar r'|}$$

- IZRAZ ZA VALNU JEDNADŽBU U BLIZINI IZVORA VALA DEFINIRA KUGLASTI VAL, DOK ZA PROSTOR DALEKO OD IZVORA VALA, VAL POSTAJE RAVNI VAL
- KRUŽNICA ČIJI $\bar r - \infty$ POSTAJE RAVNINA

$\bar r = (\bar r - \bar r')$

PUTUJUĆI KUGLAST VAL

$$\ell = \frac{q(r \pm ct)}{r}$$

22.

$$V(\bar r,t) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int \frac{\rho\left(\bar r_1 t - \frac{\bar r - \bar r'}{c}\right)}{|\bar r - \bar r'|}\, d^3r'$$

$$\bar A(\bar r,t) = \frac{\mu_0}{4\pi}\int \frac{\rho\left(\bar r_1 t - \frac{\bar r-\bar r'}{c}\right)}{|\bar r-\bar r'|}\, d^3r'$$

$\bar B = \bar\nabla\times\bar A$ $\quad \bar E = -\bar\nabla V - \frac{d}{dt}\bar A$ $\quad t' = t - \frac{\bar r - \bar r'}{c}$

ZBOG POMAKA NABOJ NE MOŽE TRENUTNO DJELOVATI NA CIJELI PROSTOR IMA OGRANIČENJA

1) NEMA NABOJA, NEMA I UBRZANJA
2) NE OVISI O r
3) $t' = t - \frac{r}{c}$ ONO ZRAČENJE KOJE PROLAZI NA SFERI r SE U VREMENU

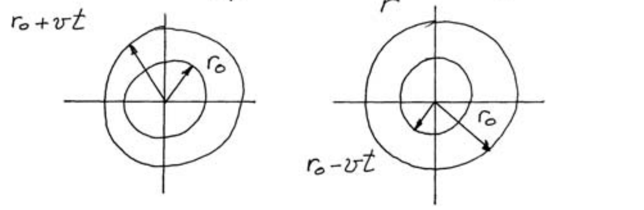
$$\bar E(\bar r,t) = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 c^2}\,\frac{a_\perp\left(t - \frac{\bar r-\bar r'}{c}\right)}{|\bar r - \bar r'|}$$

$a_\perp$ - AKCELERACIJA (UBRZANJE)

RETARDACIJA – DOLAZI DO KAŠNJENJA VALA

$\frac{1}{r_0} - \frac{1}{r_0+vt}$ $\quad \Psi_- = \frac{q_-\left(t - \frac{r}{v}\right)}{r} \Rightarrow r = r_0 + vt$

$\Psi_+ = \frac{q_+\left(t+\frac{r}{v}\right)}{r} \Rightarrow r = r_0 - vt$



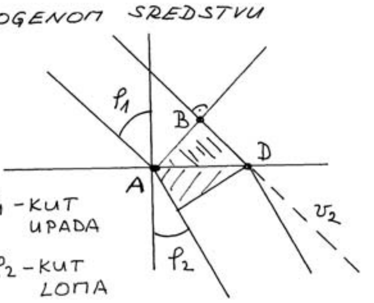
23.

MAXWELLOVE JEDNADŽBE U IZOTROPNOM I HOMOGENOM SREDSTVU

1) $\bar\nabla\bar D = \rho$
2) $\bar\nabla\bar B = \emptyset$
3) $\bar\nabla\times\bar E = -\frac{\partial B}{\partial t}$
4) $\bar\nabla\times\bar H = \vec J + \frac{\partial\bar D}{\partial t}$

φ_1 - KUT UPADA

φ_2 - KUT LOMA



$v_1 = \frac{\overline{BD}}{t}$ $\quad \frac{BD}{AC} = \frac{\overline{AD}\sin\varphi_1}{\overline{AD}\sin\varphi_2} = \frac{\sin\varphi_1}{\sin\varphi_2}$

$v_2 = \frac{\overline{AC}}{t}$

$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin\varphi_1}{\sin\varphi_2} = n$ $\quad n = \frac{\sqrt{\varepsilon_r(2)}}{\sqrt{\varepsilon_r(1)}}$ ZAKON LOMA SNELLOV ZAKON

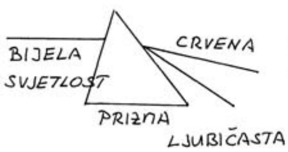
LOM SVJETLOSTI

LOM ILI REFRAKCIJA VALOVA NASTAJE KADA VAL DOSPIJE NA GRANICU DVAJU SREDSTAVA U KOJIMA SE ŠIRI RAZLIČITIM BRZINAMA I PREMA HAYGENSOVOM PRINCIPU NOVA ĆE SE VALNA FRONTA ŠIRITI DRUGIM SMJEROM

"SVAKU TOČKU VALA MOŽEMO SMATRATI IZVOROM NOVOG ELEMENTARNOG VALA. VAL KOJI REZULTIRA IZ INTERFERENCIJE SVIH ELEMENTARNIH VALOVA IZ SVIH TOČAKA TOG ORGINALNOG VALA INDENIČAN JE ORGINALNOM VALU"

PRI PRELASKU IZ JEDNOG SREDSTVA U DRUGO VAL MIJENJA VALNU DULJINU I BRZINU ŠIRENJA A FREKVENCIJA OSTAJE ISTA.

24.



POJAVU DA DIELEKTRIČNOST MATERIJALA, BRZINA SVJETLOSTI U SREDSTVU OVISI O FREKV. SVJETLOSTI NAZIVA SE DISPERZIJA - UZROK JE ZA SPEKTRALNO RAZLAGANJE SVJETLOSTI.

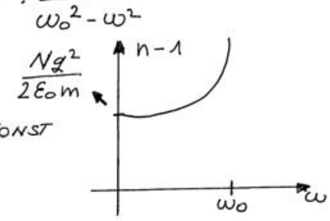
$n = \sqrt{\varepsilon_r}$ INDEKS LOMA

$\varepsilon_r = \varepsilon_r(\omega)$ - DIELEKTRIČNA KONSTANTA OVISI O FREKVENCIJI

$$n = 1 + \frac{Nq^2}{2\varepsilon_0 m}\cdot\frac{1}{\omega_0^2-\omega^2}$$

1) $\omega \ll \omega_0$

$n = 1 + \frac{Nq^2}{2\varepsilon_0 m}\frac{1}{\omega_0^2}$ = KONST



2) $\omega \to \omega_0$ VIDLJIVA SVJETLOST $\omega_g > \omega_0$ $n = 1$

$n_g > n_c$ $\quad n = \frac{\sin\varphi_c}{\sin\varphi_g}$ $\quad \sin\varphi_g = \frac{\sin\varphi_c}{n}$

3) $\omega = \omega_0$ $\quad X_c \Rightarrow \infty$

4) $\omega > \omega_0$ (X-ZRAKE) VAL SE GIBA BRŽE OD SVJETLOSTI

$n < 1$ $\quad v = v_f = v_g$

$v = \frac{c}{n}$ $\quad v_f$ - FAZNA BRZINA

v_g - GRUPNA BRZINA

25.

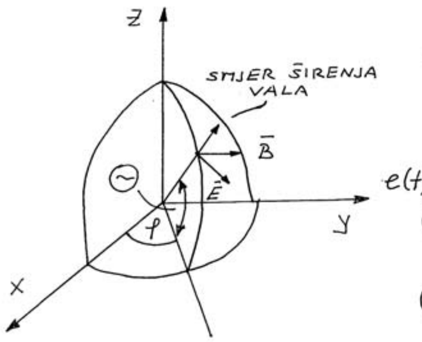
POLARIZACIJA ELEKTROMAGNETSKOG VALA JE KRIVULJA KOJA OPISUJE VRH VEKTORA ELEKTRIČNOG POLJA.

LINEARNO POLARIZIRAN VAL JE VAL KOD KOJEGA PRAVAC VEKTORA EL. POLJA OSTAJE KONSTANTAN A S VREMENOM MU SE MIJENJA SAMO VELIČINA.

POLARIZACIJA MOŽE BITI:

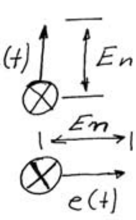
HORIZONTALNA - PRAVAC EL. POLJA JE PARALELAN SA ZEMLJINOM POVRŠINOM

VERTIKALNA - OKOMIT NA ZEMLJINU POVRŠINU

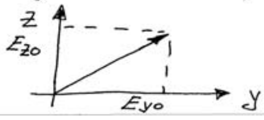


φ - azimut

Θ - KUT ELEVACIJE



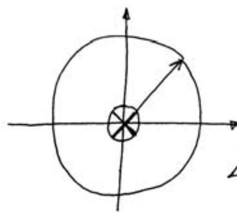
$$\bar{E} = (\hat{y}E_{y0} + \hat{z}E_{z0})\cos(\omega t + \alpha)$$



26.

KRUŽNA POLARIZACIJA - KADA VEKTOR EL. POLJA OSTAJE PO VELIČINI KONSTANTAN ALI MIJENJA SMJER TJ. ROTIRA KONSTANTNOM BRZINOM. ZAVISNO DA LI VEKTOR ROTIRA KAO LIJEVI ILI DESNI VIJAK GLEDANO U SMJERU ŠIRENJA VALA RAZLIKUJEMO LIJEVU I DESNU KRUŽNU POLARIZACIJU.

KRUŽNO POLARIZIRANI VAL MOŽEMO SHVATITI KAO ZBROJ DVAJU LINEARNO POLARIZIRANIH VALOVA ISTIH AMPLITUDA I FREKVENCIJA KOJI SU FAZNO POMAKNUTI ZA $\pi/2$ I TO UZ UVJET DA SU PRIPADNI VEKTORI MEĐUSOBNO OKOMITI



$$E_{y0} = E_{z0} = E_0$$

$$\bar{E} = \hat{y}E_0\cos(\omega t + \alpha_y) + \hat{z}E_0\cos\left(\omega t + \alpha_z \pm \frac{\pi}{2}\right)$$

$$e_1(t) = E_m\cos\omega t$$

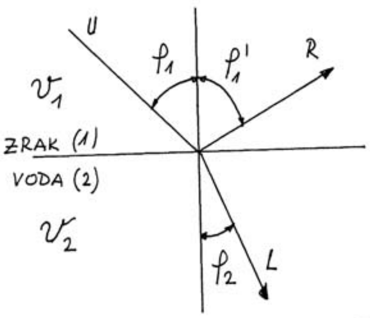
$$e_2(t) = E_m\cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$e(t) = e_1(t) + e_2(t)$$

REZULTANTNI VEKTOR DVAJU MEĐUSOBNO OKOMITIH VEKTORA IMA MODUL

IZ $e(t)$ UZ $\varphi = \pm\frac{\pi}{2} \Rightarrow e(t) = E_n$

27.



U - UPADNI VAL

R - REFLEKTIRANI

L - LOMLJENI

UPADNI VAL POD KUTOM OD φ_1 DOLAZI NA GRANICU DVA SREDSTVA. ZA LOMLJENI VAL VRIJEDI SNELLOV ZAKON

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin\varphi_1}{\sin\varphi_2} = n \qquad n = \frac{\sqrt{\varepsilon_r(2)}}{\sqrt{\varepsilon_r(1)}}$$

LOM ILI REFRAKCIJA VALOVA NASTAJE KADA VAL DOSPIJE NA GRANICU DVAJU SREDSTAVA U KOJIMA SE ŠIRI RAZLIČITIM BRZINAMA. U DRUGOM SREDSTVU NOVI VAL SE ŠIRI S RAZLIČITOM BRZINOM I PREMA HUYGENSOVOM PRINCIPU NOVA ĆE SE VALNA FRONTA ŠIRITI DRUGIM SMJEROM. PRI PRELASKU IZ JEDNOG SREDSTVA U DRUGO VAL MIJENJA VALNU DULJINU I BRZINU ŠIRENJA A FREKVEN. OSTAJE ISTA.

ZA REFLEKTIRAJUĆ VAL VRIJEDI ZAKON REFLEKSIJE KUT UPADA = KUTU REFLEKSIJE

$$\varphi_1 = \varphi_1'$$

28.

INTERFERENCIJA VALOVA JE U OPĆEM SLUČAJU SUPERPOZICIJA DVAJU VALNIH GIBANJA. U UŽEM SMISLU RADI SE O DVA VALA ISTE FREKVENCIJE IZMEĐU KOJIH POSTOJI ODREĐENI FAZNI ODNOSI

KOHERENTNI IZVORI - DVA IZVORA KOJA TITRAJU KONSTANTNOM RAZLIKOM U FAZI
- POLARIZACIJA = KONSTANTNA
- FAZA = KONSTANTNA

$$\bar{P} = c^2\varepsilon_0\bar{E}\times\bar{B}\ [W/m^2]$$ POINTINGOV VEKTOR

- DAJE SNAGU KOJA U PROMATRANOJ TOČKI PROSTORA PROĐE KROZ JEDINIČNU POVRŠINU OKOMITO NA SMJER ŠIRENJA VALA.

$$\langle P \rangle \quad \frac{c\,\varepsilon_0}{2}|\bar{E_0}|^2$$ INTENZITET ZRAČENJA

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$ - VALNI BROJ

- INTERFERENCIJA SVJETLA

$$1 + \cos k(r_1 - r_2) = 2 \qquad k(r_1 - r_2) = 0, 2\pi, 4\pi$$

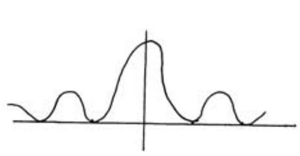
MAX. SVJETLO = $r_1 - r_2 = n\pi$

TAMA

$$1 + \cos k(r_1 - r_2) = 0 \qquad k(r_1 - r_2) = \pi, 3\pi, 5\pi$$

MIN. TAMA = $r_1 - r_2 = (2n+1)\frac{\pi}{2}$

NA ZASTORU SE EM VALOVI IZ JEDNOG I DRUGOG IZVORA ZBRAJAJU I DAJU INTERFERENCIJSKU SLIKU

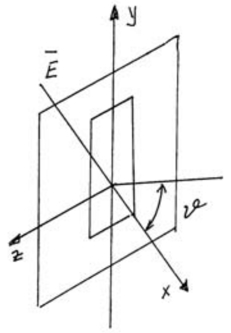


max je u nuli

min je u $\pi, 2\pi, p\pi$

29. FRAUNHOFEROV OGIB NA USKOJ PUKOTINI

- PUKOTINU ZAMISLIMO KAO NIZ KOHERENTNIH IZVORA NA KOJU PRIMJENIMO FORMULU



$$\langle P\rangle = \frac{\varepsilon_0 c}{2} E_0^2 \frac{\sin^2 N\beta}{\sin^2\beta}$$

$$\beta = \frac{\pi d}{\lambda}\sin\vartheta$$

MAX. INTENZITET SVJETLOSTI

$$\langle P\rangle = \frac{\varepsilon_0 c}{2} E^2 N^2 \frac{\sin^2\beta}{\beta^2}$$

$$\langle P\rangle = \frac{\varepsilon_0 c}{2} E_0^2 N^2$$

POLOŽAJ PRAVOG MAXIMUMA

$$\frac{\langle P\rangle}{\langle P\rangle} = \frac{\sin\beta}{\beta^2}$$

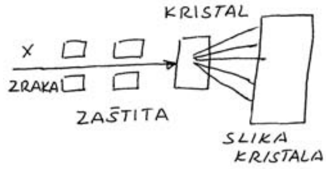
1) $\sin\beta = 0 \quad \beta = \pi, 2\pi, 3\pi \ldots p\pi$ MINIMUM

2) $\operatorname{tg}\beta = \beta \quad \beta = (2n+1)\frac{\pi}{2}$ MAXIMUM

3) $N \to \infty$, $\vartheta \to 0$ $\quad \langle P\rangle = \frac{\varepsilon_0 c^2}{2} N^2 E_1^2$ GLAVN MAX.

30.

X-ZRAKE SU ELEKTROMAGNETSKI VALOVI VALNE DULJINE OD NEKOLIKO NANOMETARA DO STOTINKI NANOMETARA. ŠIRE SE PRAVOCRTNO BRZINOM VIDLJIVE SVJETLOSTI U VAKUMU $3 \cdot 10^8$ m/s NE OTKLANJAJU SE U ELEKTRIČNOM I MAG. POLJU KAO NI PROLASKOM KROZ LEĆU. ALI PROLASKOM KROZ KRISTAL MIJENJAJU SMJER ŠIRENJA. PRODIRU U TVAR A DUBINA PRODIRANJA OVISI O VRSTI TVARI TE ENERGIJI X-ZRAKA.



X-ZRAKE SUSRETNU KRISTAL POD KUTEM ϑ, RASPRŠE SE PARALELNIM RAVNINAMA ATOMA U KRISTALU, A MI MJERIMO KUT DIFRAKCIJE 2ϑ - KUT IZMEĐU ZRAKE KOJA PROĐE KROZ KRISTAL I REFLEKTIRANE ZRAKE

$$2d\sin\vartheta = p\lambda$$
$$p = 1, 2, 3 \ldots$$

BRAGOVA REFLEKSIJA

$$\sin\vartheta = \frac{\Delta l}{2d}; \Delta l = p\lambda$$

$$2d\sin\vartheta = p\lambda$$