UMUMY FIZIKADAN MESELELER ÝYGYNDYSY

ELEKTRIK WE MAGNIT HADYSALARY

$$E = |\boldsymbol{E}_+| + |\boldsymbol{E}_-|$$

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{2q}{\left(r^2+\frac{l^2}{4}\right)}cos\alpha \quad \text{we} \quad |\boldsymbol{E}_+| = |\boldsymbol{E}_-|$$

BMO üçburçlykdan $\quad cos\alpha = \frac{l}{2\sqrt{r^2+\frac{l^2}{4}}}$. $\quad$ Şonuň üçin

$$E_B = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{ql}{\left(r^2+\frac{l^2}{4}\right)^{3/2}} \quad \text{we} \quad \frac{l^2}{4} << r^2$$

onda ,

$$\boldsymbol{E}_B = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{p}{r^3} \tag{5}$$

Ýokardaky 4-nji we 5 -nji deňliklerden:

$$\boldsymbol{E}_B = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\boldsymbol{p}}{r^3} \quad . \tag{6}$$

Indi 3-nji we 6-njy deňlemelerden görnüşi ýaly,

$$|\boldsymbol{E}_B| = \frac{|\boldsymbol{E}_A|}{2}$$

Hasaplamalar boýunça $E_B = 10,79\ W/m$.

ç) Garalýan C nokat dipolyň ortasyndan r aralykda ýerleşen .Bu nokadyň radius wektory dipolyň oky bilen “φ” burçy emele getirýär. Bu 1.1.6-njy çyygy M nokatdan NC gönä

UMUMY FIZIKADAN MESELELER ÝYGYNDYSY

ELEKTRIK WE MAGNIT HADYSALARY

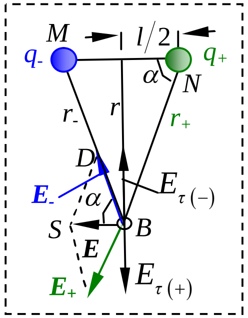
nokatda döredýän netijeleýji elektreik meýdanynyň güýjenmesiniň aňlatmasyaky ýaly bolar

$$E_A = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{2p}{r^3} \tag{3}$$

Meseläniň şertindäki ululyklara laýyklykda E_A=21,59 W/m.

b) garalýan nokat dipolyň okuna onuň ortarasyndan galdyrylan perpendikulýaryň üstünde ýerleşdirilen bolsun (1.1.5-nji çyzgy). Bu B nokayň dipolyň uçlaryndan deň uzaklykda ýatýandygy üçin :

$$\left|\vec{E}_+\right| = \left|\vec{E}_-\right| = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{\left(r^2 + \dfrac{l^2}{4}\right)}.$$



1.1.5-nji çyzgy. *Dipolyň egniniň merkezinden geçýän perpendikulýaryň üstünde döredýän elekrtik meýdanynyň güýjenmesi*

Meseläniň 1.1.5-nji çyzgyndaky BMN we BCD üçburçluklar deňýanlydyrlar we $\angle BMN = \angle NBM = \angle BCD = \angle CBD = \alpha$. Bu üçburçlyklarda BM we BD, BN we DC taraplar özara psralleldirler. Şonuň üçin hem $MN \parallel BC$, ýagny $\boldsymbol{E}$ wektor $\boldsymbol{P}$ wektora garşy ugrukdyrylandyr .

$$\boldsymbol{E} = -E\frac{\boldsymbol{P}}{P} = -\frac{E}{ql}\boldsymbol{P}$$

Bu 1.1.5-nji çyzgydan görnüşi ýaly $\boldsymbol{E}_+$ we $\boldsymbol{E}_-$ wektorlaryň tangensial düzüjileri ululyklary boýunça deň , ugurlary boýunça garşylykly bolany üçin , olar özara bir-birini ýok edýärler (kompensirlenýärler). B nokatdaky netijeleýji güýjenme $\boldsymbol{E}_+$ we $\boldsymbol{E}_-$ wektorlaryň dikana düzüjileriniň jemine deň , ýagny :

$$r_1 = \left(r - \frac{l}{2}\right) \qquad \text{we} \qquad r_2 = r + \frac{l}{2},$$

r₁ we ***r₂*** wektorlar ***l*** wektor bilen gabat gelýärler. Şonuň üçin

$$\boldsymbol{r}_1 = \left(r - \frac{l}{2}\right)\frac{\boldsymbol{l}}{l} \qquad \boldsymbol{r}_2 = \left(r + \frac{l}{2}\right)\frac{\boldsymbol{l}}{l}.$$

Netijede

$$E_+ = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{\left(r - \frac{l}{2}\right)^2} \qquad E_- = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{\left(r + \frac{l}{2}\right)^2}$$

Elektrik meýdanyň güýjenmesiniň goşulma düzgünine laýyklykda:

$$E_+ = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} q \left[\frac{1}{\left(r - \frac{l}{2}\right)^2} - \frac{1}{\left(r + \frac{l}{2}\right)^2}\right] = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{2rql}{\left(r^2 - \frac{l^2}{4}\right)} \qquad (2)$$

Bu ýerde $q\boldsymbol{l} = \boldsymbol{p}$ dipolyň elektrik momenti bolany üçin

$$\boldsymbol{E}_A = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{2\boldsymbol{p}}{\left(r^2 - \frac{l^2}{4}\right)^2}$$

alarys.

Meseläniň şertine görä $r >> l$ bolany üçin l-iň ikinji we uly derejeleriniň juda kiçi ulylyk bolany üçin olary hasaba almasak hem uly ýalňyşlyk goýberilmez. Onda elektrik dipolyň *A*

A.Gurbanmuhammedow, G.Orazow,
A.Ataýew, O.E.Muhammetdurdyýewa

UMUMY FIZIKADAN MESELELER ÝYGYNDYSY

ELEKTRIK WE MAGNIT HADYSALARY

Uniwersitetleriň we inžiner-tehniki ýokary mekdepleriň talyplary üçin gollanma

Türkmenistanyň Bilim ministrligi taraşyndan hödürlenildi

Dosent A.Gurbanmuhammedowyň redaksiýasy bilen

Aşgabat 2010

A.Gurbanmuhammedow, G.Orazow, A.Ataýew., O.E.Muhammetdurdyýewa Umumy fizikadan meseleler ýygyndysy. Elektrik we magnit hadysalary. Okuw gollanmasy.

Okuw gollanmasy Magtymguly adyndaky Türkmen döwlet uniwersitetiniň umumy fizika kefedrasynyň “Elektrik we magnit hadysalary” okuw dersiniň meýilnamasyna laýyklykda meseleler ýygyndysy hökmünde taýýarlanyldy. Bu gollanma uniwersitetleriň fizika we ýokary mekdepleriň tebigi hünärlerinde okaýan talyplaryň “Elektrik we magnit hadysalary” dersiniň amaly sapaklaryny geçirmekde ulanylyp bilner.

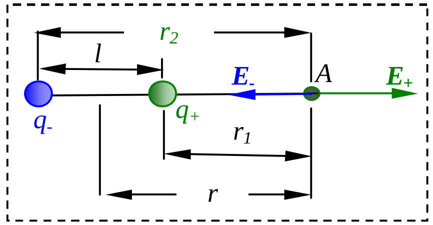
Berlen q zarýadyň bahasyny ornuna goýup gözlenýan zarýadyň ululygynyň Q=2,33 nKl -dygyny alamatynyň bolsa tersdigini alarys.

***M e s e l e* 1.1.2.** Biri-birinden 0,1 m aralykda ýerleşen iki sany $q_1 = q_2 = 12\,nKl$ nokatlanç zarýadlaryň ulgamynyň (elektrik dipolyň) döredýän elektrik meýdanynyň güýjenmesini :

a) Dipolyň okunyň dowamynda onuň merkezinden 1m daşlykda ýerleşen nokatda ;

b) Dipolyň okunyň merkezinden galdyrylan perpendikulýaryň üstünde dipolyň merkezinden 1m daşlykda ýerleşen nokatda;

ç) Dipolyň elektrik momentiniň wektory bilen radius wektorynyň $\varphi = 60^0$ burç emele getirýän gänüniň üstünde onuň merkezinden 1m daşlykda ýerleşen nokatda kesgitlemeli.



1.1.4-nji çyzgy. *Dipolyň özüniň okunyň dowamynda döredýän elekrtik meýdanynyň güýjenmesi*

Ç ö z ü l i ş i : a) Garalýan A nokat dipolyň okunyň üstünde ýerleşýär (1.1.4-nji çyzgy). Çyzgydan görnüşi ýaly $\boldsymbol{E}_+$ we $\boldsymbol{E}_-$ wektorlar dipolyň okunyň üstünde ýerleşen we özara ters ugrukdyrylandyrlar. A nokatda döredilen elektrik meýdanyň güýjenmelerini wektor görnüşde

$$\boldsymbol{E}_+ = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r_1^3}\boldsymbol{r}_1 \; ; \quad \boldsymbol{E}_- = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r_2^3}\boldsymbol{r}_2 \; ,$$

aňladylýar. Bu ýerde $\boldsymbol{r_1}$ we $\boldsymbol{r_2}$ degişlilikde dipolyň položitel we otrisatel zarýadlaryndan A nokada geçirilen radius wektorlar.

F_{Q1} täsir güýjüň ululygy

$$F_{Q1} = \frac{qQ}{4\pi\varepsilon_0 r_{1Q}^2} \ . \qquad (6)$$

Bu ýerde

$$r_{Q1} = \frac{r_{31}}{2} = a\frac{\sqrt{2}}{2}.$$

Onda

$$F_{Q1} = \frac{2qQ}{4\pi\varepsilon_0 r_{Q1}^2} \ . \qquad (6')$$

Çyzgydan görnüşi ýaly (1.1.3 -nji b çyzgy) $F_{41} = F_{21}$ (3-nji) deňligi

$$F_{Q1} = F_1 + F_{31} = 2F_{21} + F_{31} ,$$

ýazyp bolar. Ýa-da (4)- (6) deňlikleri göz öňünde tutup ahyrky deňligi

$$\frac{2qQ}{4\pi\varepsilon_0 a^2} = \frac{q^2}{8\pi\varepsilon_0 a^2} + \frac{q^2\sqrt{2}a^2}{4\pi\varepsilon_0 a^2} \qquad (7)$$

bu ýerden bolsa,

$$4Q = q\left(1+2\sqrt{2}\right)$$

ýa-da

$$Q = \frac{1+2\sqrt{2}}{4}q$$

SÖZBAŞY

Eliňizdäki kitap Magtymguly adyndaky Türkmen döwlet uniwersitetiniň fizika – matematika fakultetinde fizika, radiofizika we elektronika boýunça taýýarlanylýan hünärmenlere niýetlenen “Elektrik we magnit hadysalary” dersiniň amaly okuwy üçin niýetlenen meýilnama esasynda taýýarlanyldy. Kitap esasan VI bölümden ybarat bolup, olaryň I bölümi " Hemişelik elektrik meýdanyna", II bölümi "Elektrik meýdanyndaky maddalaryna", III bölüm “Hemişelik elektrik toguna”, IV bölüm ”Dürli gurşawlardaky elektrik toguna”, V bölüm “Magnit häsiýetli maddalaryna”, VI bölüm “Üýtgeýän elektrik togy we elektromagnit meýdanyna” bagyşlanan .

Kitapda her bir bölüme degişli esasy kesgitlemeler, kanunlar şonuň ýaly hem käbir meseleleriň işleniliş usulyýeti görkezilýär. Amaly sapaklaryň geçirilişini aňsatlaşdyrmak maksady bilen meseleler degişli temalar boýunça biri - birinden aýyl - saýyl edilip , kiçi toparlara bölünen. Onuň bölümlerine talyplaryň nazary okuw boýunça taýýarlyk derejelerini barlamaga mümkinçilik berýän soraglar girizilen. Ulanylan meseleleriň dürli çylşyrymlylykda bolmaklygy amaly sapaklarda bilim derejeleri deň bolmadyk talyplar topary bilen işlemäge kitap mümkinçililik berer diýen umydymyz bar.

Ol uniwersitetiň fizika fakultetiniň talyplary üçin “Elektrik we magnet hadysalary” dersi boýunça amaly sapaklary geçirmeklige okuw gollanma hökmünde hödürlenilýär. Şonuň ýaly hem bu kitap fakultatiw sapaklarda , fizikadan döwlet bäsleşiklerine taýýarlanmakda orta mekdep okuwçylaryna we ýokary tehniki mekdepleriň talyplary üçin we orta mekdep mugallymlaryna gollanma bolup biler.

Awtorlar

I. BAP

1.HEMIŞELIK ELEKTRIK MEÝDANY

1.1. ELEKTRIK MEÝDANYNY HÄSIÝETLENDIRÝÄN ULULYKLAR

Esasy kesgitlemeler we aňlatmalar

Elektrik meýdanynyň güýç häsiýetnamasy bolup, güýjenme we onuň energiýa häsiýetnamasy bolup, hem potensiallaryň tapawudy hyzmat edýär.

Elektrostatikada otnositel dynçlykda duran elektrik zarýadlary bilen baglanşykly hadysalary hem-de elektrik zarýadlaryň ýerleşişi boýunça elektrik meýdanyny hasaplamak we bu meýdany häsiýetlendirýän esasy ululyklary tapmaklyk öwrenilýär.

- **Kulonyň kanuny:** wakuumda ýerleşdirilen iki sany nokatlanç zarýadyň özara täsir güýji ol zarýadlaryň ululyklaryna göni, olaryň arasyndaky uzaklygyň kwadratyna bolsa, ters baglydyr. Bu güýç zarýadlaryň ýerleşdirilen nokatlarynyň üstünden geçýän göni boýunça ugrukdyrylandyr (1.1.1-nji çyzgy) we ol skalýar görnüşde

ugrukdyrylan güýji kwadratyň merkezinde ýerleşdirilen otrisatel zarýad döredip biler.Biz bu zarýady Q bilen (1.1.3-nji b) çyzgyda görkezilişi ýaly edip ýerleşdireliň.Bu halda q_1 zarýada täsir edýän netijeleýji güýç wektor

$$\boldsymbol{F}_1 + \boldsymbol{F}_{31} + \boldsymbol{F}_{Q1} = 0, \tag{2}$$

ýa-da skalýar görnüşde

$$F_1 + F_{31} - F_{Q1} = 0, \tag{3}$$

aňladyp bolar. Seredilýän q_1 zarýada kwadratyň beýleki depelerindäki we onyň merkezindäki zarýadlaryň täsir edýän $\boldsymbol{F}_{21}$, $\boldsymbol{F}_{31}$, $\boldsymbol{F}_{41}$, we $\boldsymbol{F}_{Q1}$ güýçlerini (1.1.3-nji çyzgy) degişli ululyklary bilen Kulonyň kanuny esasynda ýazyp, ol aňlatmadaky r -i Pifogoryň teoremasy esasda degişlilikde taparys. Ýagny q_1-nji zarýada q_3-nji zarýadyň täsir (itekleýji) güýji

$$F_{31} = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 r_{31}^2} \quad , \tag{4}$$

bu ýerde $r_{31}^2 = a^2 + a^2 = 2r_{31}^2 = 2a^2$ deňdir,onda

$$F_{31} = \frac{q^2}{8\pi\varepsilon_0 a^2} \tag{4'}$$

q_4-nji zarýdyň q_1-nji zarýada täsir güji

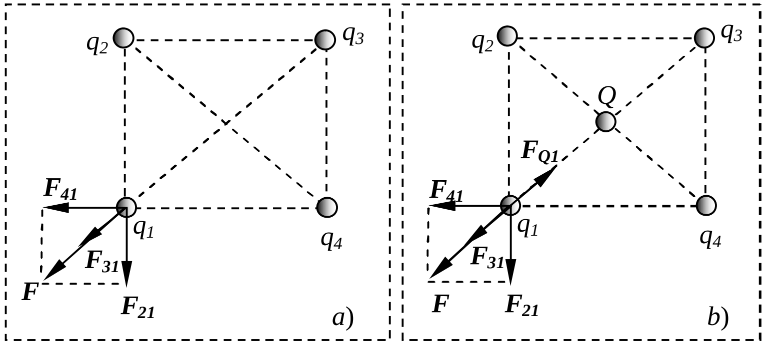
$$F_{41} = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 a^2} \ . \tag{5}$$

MESELELERIŇ ÇÖZÜLIŞINE MYSALLAR

***M e s e l e* 1.1.1.** Kwadratyň depelerinde q=2,33 *nKl* zarýadlar ýerleşen. Her bir q zarýada täsir edýän güýçleriň deň täsir edijisi nola deň bolmagy üçin, kwadratyň merkezinde nähili alamatly we ululykly zarýad ýerleşdirmeli?

Ç ö z ü l i ş i : Kwadratyň depelerindäki biratly zarýadlaryň özara täsir güýjüniň ugryny takyklamak üçin q_1 zarýada beýleki hemme zarýadlaryň täsir güýjüni (1.1.3-nji a) çyzgyda görkezilişi ýaly edip gurmaly. Bu çyzgydan görnüşi ýaly, q_1 zarýada kwadratyň beýleki depelerindäki zarýadlaryň $\boldsymbol{F}_{21}$, $\boldsymbol{F}_{31}$, we $\boldsymbol{F}_{41}$ täsir güýçleri itekleşme häsiýete eýe. $\boldsymbol{F}_{21}$ we $\boldsymbol{F}_{41}$ güýçleriň deňäsiredijisini $\boldsymbol{F}_1$ bilen belläp,

$$\boldsymbol{F}_{21} + \boldsymbol{F}_{41} = \boldsymbol{F}_1 , \qquad (1)$$



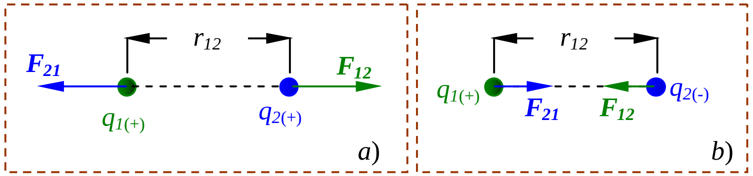
1.1.3-nji çyzgy. *Kwadratyň depesindäki we onuň merkezidäki zarýadlaryň özara täsiri.*

aňladyp bolar. Diýmek, kwadratyň depelerindäki zarýadlaryň hemmejesi q_1 zarýada $\boldsymbol{F}_1 + \boldsymbol{F}_{31}$ güýç bilen täsir edýärler. Munuň ýaly güýç kwadratyň depesindäki her bir zarýada täsir edýär. Bu güýjüň täsirini nola deň bolmagy üçin depedäki zarýadlaryň her birine şonuň ýaly ululykly kwadratyň merkezine tarap ugrukdyrylan güýçüň täsir etmegi zerurdyr. Munuň ýaly merkeze

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2} , \qquad (1.1.1)$$

wektor görnüşinde bolsa,

$$\boldsymbol{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2}\frac{\boldsymbol{r}_{12}}{r}; \qquad \boldsymbol{F}_{21} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2}\frac{\boldsymbol{r}_{21}}{r} , \qquad (1.1.2)$$



1.1.1-nji çyzgy. *Nokatlanç zarýadlaryň özara täsir güýji. a-biratly; b-dürli atlyzarýadlar.*

aňladylýar. Bu ýerde $\boldsymbol{F}_{12}, \boldsymbol{F}_{21}$ - degişlilikde birinji zarýadyň ikinjä we ikinji zarýadyň birinjä täsir edýän güýçleri, ε_0 - birlikleriň Halkara ulgamynda (HU) $\varepsilon_0 = 8{,}85\cdot10^{-12}$ *F/m* ululyga deň bolan elektrik hemişeligi; q_1, q_2 - degişlilikde nokatlanç zarýadlaryň ululygy *Kl* - da; $\boldsymbol{r}_{12}, \boldsymbol{r}_{21}$ - q_1, q_2 zarýadlary birikdirýän radius wektorlar .

- **Elektrostatik meýdany** zarýäd bilen baglanşykly ulgamda döreýär. Diýmek, elektrostatik meýdanynyň çeşmesi bolup, dynçlykda duran zarýad hyzmat edýär.
- **Elektrostatik meýdanyň güýjenmesi** meýdanyň berlen nokadynda ýerleşdirilen položitel birlik zarýada täsir edýän $\boldsymbol{F}$güýje san taýdan deň bolan ululykdyr, ýagny :

$$\boldsymbol{E} = \frac{\boldsymbol{F}}{q_0} \quad . \qquad (1.1.3)$$

• **Nokatlanç zarýadyň elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň** aňlatmasyny 1.1.3-nji deňlikde $\boldsymbol{F}$ Kulon özara täsir güýjüň 1.1.1-nji aňlatmadaky bahasyny goýup,

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r^2} \ , \qquad (1.1.4)$$

alarys.

Elektrik meýdanyň güýjenmesiniň superpozisiýa (wektorlaýyn goşulma) düzgüni ***iki tassyklamadan ybaratdyr:***

• Ulgama girýän her bir zarýadyň döredýän elektrik meýdany onuň töweregindäki ýerleşen beýleki zarýadlaryň döredýän elektrik meýdanlaryna bagly däldir.

• Nokatlanç zarýadlar ulgamynyň garalýan nokatda döredýän elektrik meýdanynyň güýjenmesi her bir zarýadyň şopl nokatda döredýän elektrik meýdanlarynyň güýjenmeleriniň wektorlaýyn jemine deňdir, ýagny :

$$\boldsymbol{E} = \boldsymbol{E}_1 + \boldsymbol{E}_2 + \boldsymbol{E}_3 + \ldots + \boldsymbol{E}_n = \sum \boldsymbol{E}_i \ . \qquad (1.1.5)$$

Bu ýere $\boldsymbol{E}_1$,$\boldsymbol{E}_2$, $\boldsymbol{E}_3$, $\boldsymbol{E}_i$ - aýry -aýry zarýadlaryň güyjenmesi kesgitlenýän nokatda döredýän elektrik meýdanynyň güýjenmeleri; i=1,2,3 …..n -nokatlanç zarýadlaryň sany.

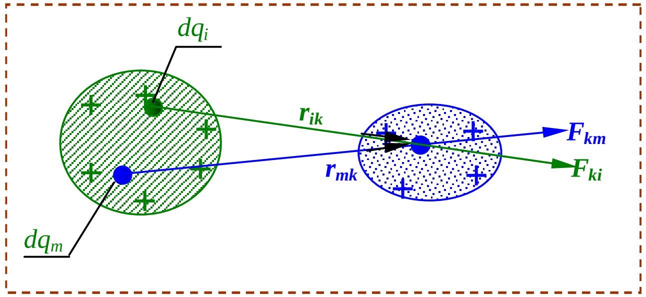
Eger täsir edişýän zarýadlar nokatlanç bolmasalar, onda olar nokatlanç hasaplanýança dq ülüşlere bölünýär we olaryň jübüt bölekleriniň arasyndaky özara täsir güýji:

$$dF_{ik} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{dq_i dq_k}{r_{ik}^2} \qquad (1.1.6)$$

tapylýar . Soňra netijeleýji güýç geometrik goşulyp tapylýar.

$$\boldsymbol{F}_{21} = \int \boldsymbol{dF}_{ik} \qquad (1.1.7)$$

bu ýerde $\boldsymbol{F}_{ik}$ -birinji jisimiň i-nji zarýadynyň 2-nji jisimiň k-njy zarýadyna täsir edýän güýji (1.1.2-nji çyzgy).



1.1.2-nji çyzgy. *Biratly zarýadlanan jisimleriň Kulon özara täsir güýçleriniň kesgitlenilişi.*

• **Elektrik zarýadlarynyň saklanma kanuny.** Daşky täsirlerden goragly (izolirlenen) ulgamda ähli bölejikleriň zarýadlarynyň algebraik jemi hemişelikdir.

$$\sum_{i=1}^{n} Q_i = const \quad . \qquad (1.1.8)$$

Bu ýerde Q_i- goralan ulgama girýän i-nji zarýadyň ululygy. n - zarýadyň sany.

başlap, togalagyň radiusy boýunça ugrugandyr. Zarýadlaryň geçirijiniň üstünde deňagramlaşma şerti boýunça zarýadlanan togalak ebonitiň elektrik meýdanynyň güýjenmesi onuň üştüne geçirilen $\boldsymbol{n}$ normalyň ugruna ugrukdyrylandyr $\boldsymbol{E} = \boldsymbol{E}_n$.

Ostrogradskiniň we Gaussyň teoremasy esasynda r_1 radiusly togalak üst boýunça elektrik süýşme wektoryň akymyny tapmak üçin (1.2.3-nji) aňlatmany ulanalyň.

Bu halda $\boldsymbol{D} = \varepsilon_0 \varepsilon \boldsymbol{E}$; $\sqrt{q_i} = (4/3)\rho \pi r_1^3$ we r_1 radiusly togalagyň üstüniň meýdany $S = 4\pi r_1^2$. Onda bu aňlatmalardan peýdalanyp, merkezi O nokatda bolan r_1 radiusly togalagyň üstündäki elektrik meýdanyň güýjenmesiniň aňlatmasyny alarys:

$$E_A = \frac{\rho r_1}{2\varepsilon_0 \varepsilon} \; . \qquad (1)$$

Bu aňlatma bilen geçirilen hasaplama laýyklykda E_A= 6,2 W/m .

Indi $r_2 > R$ radiusly B togalak üstdäki (1.2.3-nji b çyzgy) elektrik meýdanyň güýjenmesini hasaplalyň. Bu halda (1.2.3-nji) aňlatmadaky $\sum q = \rho \; V_R$, bu ýerde V_R R radiusly togalagyň göwrümi, ýagny $V_R = 4 \pi R^3/3$ we $S = 4\pi r_2^2$. Bu ululyklary hasaba alyp

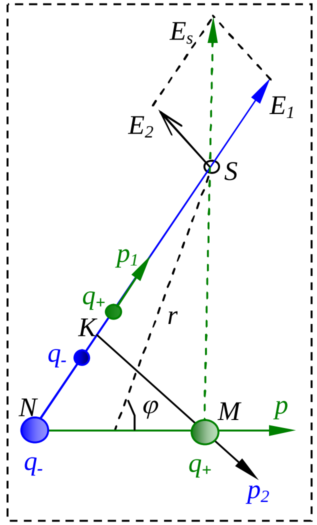
$$E_B = \frac{\rho R^3}{3\varepsilon_0 \varepsilon r_2^2} \quad . \qquad (2)$$

Diýmek, B nokadyň üstünden geçýän r_2 radiusly togalak üstdäki E_B üçin aňlatma alarys.Geçirilen hasaplama laýyklykda E_B=1,74 W/m.

***M e s e l e* 1.2.3.** Meýdany S, zarýadlary q_1 we q_2 ($q_1 > q_2$) bolan iki sany tükeniksiz uzynlykly geçiriji plastinalaryň A, B we C nokatlarda döredýän elektrik meýdanynyň güýjenmesini tapmaly (1.2.4-nji çyzgy).

MK perpendikulýar geçireliň. Geliň, K nokatda ululyklary boýunça deň, alamatlary boýunça bolsa garşylykly bolan $+q$ we $-q$ iki sany nokatlanç zarýady ýerleşdireliň. Bu zarýadlar biri-biriniň täsirini ýok edýärler we dipolyň elektrik meýdanyny ýoýmaýarlar. Çyzgydaky M, N we K nokatlarda ýerleşen dört zarýada NK we MK iki dipol hökmünde garamak bolýar. Şerte laýyklykda $l \ll r$ bolany üçin dipollaryň elektrik momentleri degişlilike:

$$p_1 = qlcos\varphi = pcos\varphi$$
$$p_2 = qlsin\varphi = psin\varphi \quad . \qquad (7)$$



1.1.6-njy çyzgy. *Dipolyň S nokatda döredýän elekrtik meýdanynyň güýjenmesi.*

Çyzgydaky S nokat NK dipolyň okunda MK dipolyň bolsa, okunyň ortasyndan galdyrylan perpendikulýarda ýerleşýär. Netijede 3-nji we 6-njy deňlemeler boýunça :

$$\boldsymbol{E}_1 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{2\boldsymbol{p}_1}{r^3}; \quad \boldsymbol{E}_2 = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\boldsymbol{p}_2}{r^3} \; .$$

Bu ýerde $\boldsymbol{p}_1$ we $\boldsymbol{p}_2$ wektorlar özara perpendikulýar bolandyklary üçin $\boldsymbol{E}_1$ we $\boldsymbol{E}_2$ wektorlar hem özara perpendikulýardyrlar. Onda S nokatda dipolyň döredýän elektrik meýdanynyň güýjenmesi san taýdan aşakdaky ýaly kesgitlener:

$$E_c = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0 r^3}\sqrt{(2p_1)^2 + (p_2)^2}\ .$$

Ýokardaky 7-nji deňlemeden **p_1**-iň we **p_2**-niň bahalaryny goýup alarys:

$$E_c = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{P_e}{r^3}\sqrt{4cos^2\varphi + sin^2\varphi};$$
$$E_c = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{P_e}{r^3}\sqrt{3cos^2\varphi + 1} = E_B\sqrt{3cos^2\varphi + 1}. \qquad (8)$$

Meselede berilen maglumatlardan peýdalanyp, $E_S = 14,27$ *W/m* -digine göz ýetireris.

***M e s e l e* 1.1.3.** Uzynlygy l_0=30 *sm* bolan inçe geçiriji steržen *τ=1mkKl / m* çyzykly zarýadlaryň dykyzlygy bilen zarýadlandyrylan. Geçiriji sterženiň ortasyna geçirilen perpendikulýarda sterženden r_0=20 *sm* daşlykda ýerleşdirilen *Q*=10 *nKl* nokatlanç zarýad bilen geçiriji sterženiň özara täsir güýjüni kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i : Meseläniň şertine laýýklykda uzynlyk birligine düşýän zarýadlar bilen zarýadlanan geçiriji sterženiň *Q* nokatlanç zarýadyň arasyndaky özara täsirini hasaplamaga Kulonyň kanunyny ulanmak üçin sterženiň *dl* örän kiçi uzynlygyny alyp, onuň $dQ = \tau\, dl$ zarýadyny hasaplamaly (1.1.7-nji çyzgy). Sebäbi Kulanyň kanuny nokatlanç zarýadlaryň özara täsirini kesgitlemeklige niýetlenendir. Indi *Q* we *dQ* nokatlanç zarýadlaryň özara täsir güýjini

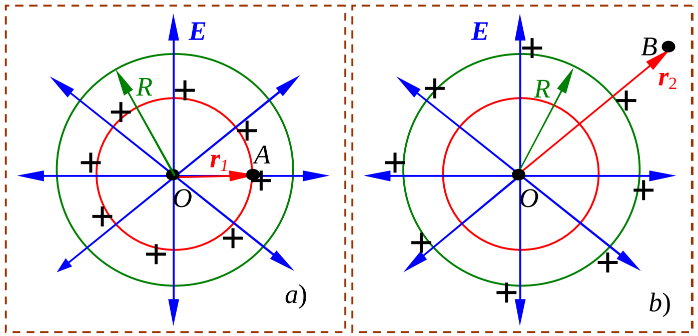
Meseläniň şerti boýunça $\sum q = \tau l$ bolany üçin

$$N = \varepsilon_0 \varepsilon E 2\pi r_0 l = \tau l\ ,$$

bu ýerden bolsa, $E = \tau / 2\pi\varepsilon_0\varepsilon r_0$. Berlen ululyklaryň san bahasyny ulanyp , *E*=1,89·10^6 *W/ m* deňdigini hasaplap bolar.

***M e s e l e* 1.2.2.** Radiusy *R*=5 *sm* bolan togalak ebonit *ρ*=10 *nKl / m*^{3} göwrümleýin dykyzlyk bilen deňölçegli zarýadlandyrylan. Togalak ebonitiň merkezinden r_1 =3 *sm* we r_2 = 10 *sm* uzaklykdaky nokatlarda elektrik meýdanyň güýjenmesini tapmaly.

Ç ö z ü l i ş i : Meseläniň şertine görä, zarýad togalak ebonitiň göwrümi boýunça deňölçegli paýlanandyr şol sebäpli onuň içinde elektrik meýdany noldan tapawutlydyr. Togalak ebonitiň içindäki *A* nokadyň üstünden geçýän merkezi *O* nokatda bolan r_1<*R* radiusly togalak üstdäki elektrik meýdanyň güýjenmesini tapalyň (1.2.3-nji *a*- çyzgy).

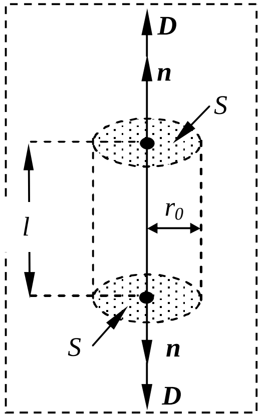


1.2.3-nji çyzgy. *Göwrüm dykyzlykly zarýadlanan togalak.*

Meselede berlen togalak ebonitiň döredýän elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň güýç çyzyklary onuň merkezinden

MESELELERIŇ ÇÖZÜLIŞINE MYSALLAR

***Mesele* 1.2.1.** Tükeniksiz uzyn, $\tau = 20 \; mKl/m$ uzynlyk birligindäki zarýadlaryň dykyzlygy bilrýen zarýadlanan göni geçirijiniň özünden 20 *sm* uzaklykda howada ýerleşen *O* nokatda döretýän elektrik meýdanynyň güýjenmesini kesgitlemeli.



1.2.2-nji çyzgy. *Tükeniksiz uzyn zarýadlryň çyzykly dykylykly bilen zarýadlndyrylan inçe geçiriji.*

Ç ö z ü l i ş i . Munuň ýaly zarýadlanan geçirijiniň döredýän elektrik meýdanyny hasaplamak üçin Ostrogradskiniň we Gaussyň teoremasyny ulanalyň. Munuň üçin geçirijiniň daşynda beýikligi *l* -e deň bolan r_0 radiusly silindr gurmaly (1.2.2-nji çyzgy). Soňra bu silindriň hemme daşky üstünden geçýän elektrik meýdanyň ***D*** süýşme wektorynyň akymyny kesgitlemeli. Bu üstüň içinde ýerleşen zarýadlaryň algebraik jemini tapmaly. Soňra Ostrogradskiniň we gaussyň teoremesyny ulanyp, ondan elektrik meýdanyň güýjenmesini tapmaly. Çyzgydan görnüşi ýaly, silindriň iki esasy boýunça-da onuň üstlerine geçirilen $\boldsymbol{n_1}$ we $\boldsymbol{n_2}$ normallar bilen ***D*** wektoryň döredýän burçlary $\alpha = \pi / 2$ deň bolany üçin $D_n = D\cos\alpha = 0$ bolýar. Diýmek, seredilýän halda elektrik süýşme wektorynyň *N* akymy silindriň diňe gapdal $S_{sl} = 2\pi r_0 l$ üsti boýunça geçer. Onda

$$N = D \cdot S = \varepsilon_0 \varepsilon E \cdot 2\pi r_0 l = \sum q \, .$$

$$dF = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{QdQ}{r^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q\,\tau\, dl}{r^2}\,, \qquad (1)$$

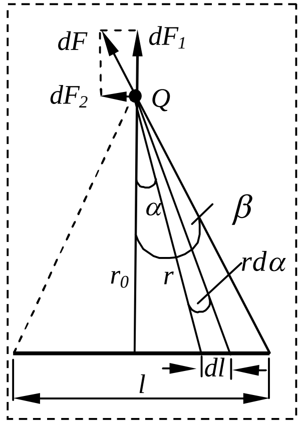
görnüşde aňladyp bolar. Bu ýerde *r* geçiriji sterženiň *dl* kiçi böleginden *Q* nokatlanç zarýada çenli aralyk.

Çyzgydan görnüşi ýaly

$$r = \frac{r_0}{\cos\alpha} \quad , \quad dl = \frac{r d\alpha}{\cos\alpha} \, . \qquad (2)$$

Ýokardaky 2-nji aňlatmalary 1-nji deňlikde ornuna goýup alarys:

$$dF = \frac{Q\tau}{4\pi\varepsilon_0\, r_0} d\alpha \, . \qquad (3)$$



1.1.7-nji çyzgy. *Uzynlyk birliginde zarýadlanan geçiriji steržen bilen nokatlanç zarýadyň özara täsir güýji.*

Bu *dF* güýjüň wektor ululykdygyny göz öňünde tutup, integrirlemezden öň ony geçiriji steržene perpendikulýar dF_1 we oňa parallel dF_2 düzüjilere dargadalyň. Çyzgydan görnüşi ýaly

$$dF_1 = dF\cos\alpha \quad , \qquad dF_2 = dF\sin\alpha \, . \qquad (4)$$

Indi 3-nji deňligi 4-nji deňliklerde ornuna goýup ýazyp bolar:

$$dF_1 = \frac{Q\tau\cos\alpha}{4\pi\varepsilon_0 r_0} d\alpha \, , \quad dF_2 = \frac{Q\tau\sin\alpha}{4\pi\varepsilon_0 r_0} d\alpha \, . \qquad (5)$$

Soňky aňlatmalary $-\beta$ we $+\beta$ çäkde integrirläp alarys:

$$F_1 = k\frac{Q\tau}{r_0}\int_{-\beta}^{\beta} \cos\alpha\, d\alpha = k\frac{Q\tau}{r_0}\left|\sin\alpha\right|_{-\beta}^{\beta}$$

$$= \frac{Q\tau}{4\pi\varepsilon_0 r_0}\left|\sin\beta - \sin(-\beta)\right| = k\frac{Q\tau}{r_0}2\sin\beta .$$

Nokantlanç zarýad geçiriji steržene simmetriki ýerleşendigi üçin soňky integral nola deňdir.

Şeýlelikde , nokatlanç zarýada täsir edýän güýç

$$F = F_1 = \frac{Q\,\tau}{2\pi\varepsilon_0 r_0}\sin\beta,$$

bolar. Ýokardaky 1.1.7-nji çyzgydan görnüşi ýaly

$$\sin\beta = \frac{l}{\sqrt{r_0^2 + \frac{l^2}{4}}} = \frac{l}{\sqrt{4r_0^2 + l^2}}.$$

Bu aňlatmany göz öňünde tutup, 6-njy deňligi ýazalyň

$$F = \frac{Q\,\tau}{4\pi\varepsilon_0 r_0}\frac{l}{\sqrt{4r_0^2 + l^2}} .$$

Meseläniň şertindäki ululyklardan peýdalanyp, özara täsir güýjüniň F= 0,54 mN -dygyny hasaplarys.

***M e s e l e* 1.1.4*.** Elektrik meýdanynyň güýç çyzygy nokatlanç $q_{(+)}$ položitel zarýaddan ony $q_{(-)}$ otrisatel nokatlanç zarýad bilen birikdirýän göni bilen α burçy emele getirip çykýar (1.1.8-nji çyzgysy). Haýsy burç bilen agzalan elektrik meýdanyň güýç çyzygy otrisatel zarýada girer?

$$E = \frac{\tau\sin\theta_1}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon a} \quad \text{ýa-da} \quad E = \frac{\tau\sin\theta_2}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon a}. \qquad (1.2.7)$$

- Deňölçegli zarýadlanan tükeniksiz tekiz geçiriji üstüň döredýän elektrik meýdanynyň güýjenmesi:

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0\varepsilon} . \qquad (1.2.8)$$

- Garşylykly alamatly σ üst dykyzlykly zarýadlanan, tükeniksiz uzyn, özara parallel geçiriji üstleriň döredýän elektrik meýdanynyň güýjenmesi :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0\,\varepsilon}. \qquad (1.2.9)$$

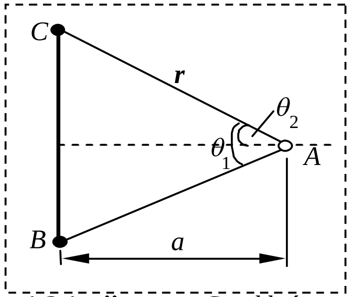
- Deňölçegli zarýadlanan geçiriji şaryň dielektrik syzyjylygy ε bolan gurşawda döredýän elektrik meýdanynyň güýjenmesi:

$$E = \frac{\rho\,R^3}{3\varepsilon_0\varepsilon\,r^2}. \qquad (1.2.10)$$

- Ýapyk geçiriji halka boýunça elektrostatik meýdanyň E wektorynyň aýlanmasy (sirkulýasiýasy) nola deňdir:

$$\oint_L \boldsymbol{E}\, d\boldsymbol{l} = 0 . \qquad (1.2.11)$$

- Kesgitli l uzynlykly we deňölçegli zarýadlanan göni geçirijiniň özünden *a* daşlykda döredýän (1.2.1- nji çyzgy) elektrk meýdanynyň güýjenmesi aşakdaky deňleme boýunça hasaplanylýar:



1.2.1-nji çyzgy. *Çyzyklaýyn dykylykly zarýadlanan inçe geçiriji.*

$$E = \frac{\tau\left(\sin\theta_1 + \sin\theta_2\right)}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon a} . \quad (1.2.4)$$

Bu ýerde τ zarýadyň çyzykly dykyzlygy (*Kl/m*), *a* göni geçirijiden güýjenmesi hasaplanylýan *A* nokada çenli uzaklyk (*m*), θ_1 we θ_2- degişlilikde göni geçirijiniň kesiminiň uçlarynyň radius wektorlarynyň garalýan nokatdan gönä geçirilen normal çyzyk bilen emele getirýän burçlary, gradiuslarda.

Hususy hallar:

- Geçirijiniň uzynlygy tükeniksizlige ymtylanda (1.2.1.-nji çyzgy) θ_1 we θ_2 $\pi/2$ – a ymtylýarlar. Bu halda

$$E = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon a} . \quad (1.2.5)$$

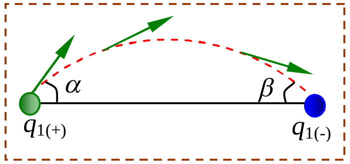
- Garalýan nokat kesgitli uzynlykly geçirijiniň simmetrik okunda ýerleşen. Bu halda $\theta_1 = \theta_2 = \theta$ onda

$$E = \frac{\tau\sin\theta}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon a} . \quad (1.2.6)$$

- Garalýan nokat kesgitli uzynlygy bolan göni geçirijiniň bir ujundan galdyrylan perpendikulýarda ýerleşende θ_1 ýa-da θ_2 nola deňdir, ýagny:

Ç ö z ü l i ş i :

Nokatlanç zarýadlaryň her biriniň golaýynda beýleki zarýadyň meýdanynyň umumy güýjenmesine goşandy hasaba alardan azdyr. Şonuň üçin hem elektrik meýdanyň güýjenme çyzyklary deňölçegli giňişlik desseleri görnüşinde çykýar (girýär). Olaryň umumy sany zarýadyň san bahasyna baglydyr. Zarýadyň golaýynda depesindäki burçy 2*a* bolan konusa çyzyklaryň diňe bir bölegi düşýär. Olaryň sanynyň zarýaddan çykýan elektrik meýdanynyň güýç çyzyklarynyň umumy sanyna bolan gatnaşygy degişli sferik segmentleriň meýdanlarynyň gatnaşygyna deňdir:



1.1.8-nji çyzgysy . *Nokatlanç zarýadlaryň elektrik meýdany*

$$\frac{2\pi RR\left(1-\cos\alpha\right)}{4\pi R^2} = \frac{1}{2}\left(1-\cos\alpha\right).$$

Güýjenme çyzyklary modullary deň bolan zarýadlary özara birikdirýär. Şonuň üçin zarýaddan *2a* burçuň çäginde çykýan çyzyklaryň sany q_2 otrisatel zarýada 2β burçuň çäginde girýän çyzyklaryň sanyna deňdir:

$$|q_1|\left(1-\cos\alpha\right) = |q_2|\left(1-\cos\beta\right) .$$

Bu ýerden $1-\cos\alpha = 2\sin^2\frac{\alpha}{2}$ we $1-\cos\beta = 2\sin^2\frac{\beta}{2}$ gatnaşyklary ulanyp taparys:

$$\sin\frac{\beta}{2} = \sin\frac{\alpha}{2}\sqrt{\frac{|q_1|}{|q_2|}} .$$

Eger $\sqrt{\frac{|q_1|}{|q_2|}} sin\frac{\alpha}{2} > 1$ bolsa güýjenme çyzygy otrisatel ($-q_2$) zarýada girmez.

***M e s e l e* 1.1.5*.** Ýuka diwarly zarýadlanmadyk sferik geçiriji iki bölege bölýän birhilli elektrik meýdanynyň iň kiçi güýjenmesi E_0 –a deň. Eger-de diwarlaryň galyňlygy üýtgemeýän bolsa, onda iki esse radiusly sferany iki bölege bölüp biljek elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň iň kiçi E_1 bahasyny kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i :

Elektrik meýdanyň täsiri astynda sferada döreýän zarýadlaryň üst dykyzlygy meýdanyň güýjenmesine baglydyr:

$$\sigma \sim E . \qquad (1)$$

Sferanyň böleklerine täsir edýän güýç güýjenmä baglydyr:

$$F \sim \sigma SE \sim R^2 E^2 . \qquad (2)$$

Çünki, $S \sim R^2$ bu ýerde $S = 2\pi R^2$ sferanyň ýarysynyň meýdany, R onuň radiusy.

Sferanyň radiusy n, meýdanyň güýjenmesini k esse üýtgedilse, F güýç $(kn)^2$ esse üýtgär. Meseläniň şertine görä, sferanyň diwarlarynyň galyňlygy hemişelik saklanylýar. Bu halda sferany ikä bölýän we onuň uzynlyk birligine düşýän güýç hem üýtgemez, ýagny

$$\frac{(kn)^2}{n^2} = 1; \quad k = \frac{1}{\sqrt{2}}.$$

Diýmek, radiusy iki esse uly bolan geçiriji gabygy ikä bölüp biljek elektrik meýdanyň güýjenmesiniň iň kiçi bahasy

$$E_1 = \frac{E_0}{\sqrt{2}}.$$

1.2. OSTROGRADSKIÝNIŇ WE GAUSSYŇ TEOREMASY

Esasy kesgitlemeler we aňlatmalar

• Elektrik zarýad giňişlikde üznüksiz paýlanan halynda zarýadyň τ uzynlyk, σ üst we ρ göwrüm birligindäki zarýad düşünjeler ulanylýar. Kesgitlemä görä:

$$\tau = \frac{dq}{dl}; \qquad \sigma = \frac{dq}{dS}; \qquad \rho = \frac{dq}{dV}. \qquad (1.2.1)$$

Bu ýerde dq - dl uzynlyga, dS- meýdana we dV -göwrüme düşýän zarýad.

• ***D* süýşme wektory.** Bu wektor elektrik meýdanyny häsiýetlendirýän ululyklaryň birisi bolup, ol islendik daşky gurşawda

$$\boldsymbol{D} = \varepsilon_0 \varepsilon \boldsymbol{E} , \qquad (1.2.2)$$

görnüşde aňladylýar. Bu ýerde $\varepsilon_0, \varepsilon$ degişlilikde elektrik hemişeligi we dielektrik syzyjylygy, $\boldsymbol{E}$ iş salyşylýan elektrik meýdanyň güýjenmesiniň wektory.

• **Ostrogradskiýniň we Gaussyň teoremesy** Elektrik meýdanda alnan islendik üst boýunça $\boldsymbol{D}$ süýşme wektoryň doly akymy bu üstüň içindäki zarýadlarynyň algebraik jemine deňdir:

$$\int_S D_n \, dS = \sum_{i=1}^{n} q_i . \qquad (1.2.3)$$

Bu ýerde $D_n = \varepsilon_0 \varepsilon E_n$ bolup, E_n $\boldsymbol{E}$ wektoryň dS üste geçirilen normalyň ugruna alnan proýeksiýasy.

nähili ululykly zarýad ýerleşdirmeli?. Sferanyň diametri *d*, massasy *m*.

1.1.15*. Deňölçegli zarýadlandyrylan *AB* kesim berlen. Bu kesimiň elektrik meýdanynyň *C* nokatdaky güýjenmesi *ABC* üçburçlygyň medianasynyň, bissektrissasynyň ýa-da onuň beýikliginiň haýsysy boýunça ugrukdyrylan ?

1.1.16*. Radiuslary 1,7 *sm* bolan iki sany birmeňzeş togalajyk geçirijiler uzynlygy 0,7 *sm* bolan nah sapaklar bilen bir nokatdan asylan. Geçiriji togalajyklaryň her birine $2{,}2\cdot10^{-6}\,Kl$ zarýad berlende, olaryň arasyndaky burç $\pi/2$-ä deň bolýar. Geçiriji togalajyklaryň dykyzlygyny kesgitlemeli.

TALYPLARYŇ ÖZBAŞDAK TAÝÝARLYKLARYNY BARLAMAK ÜÇIN SORAGLAR

1. Durmuşda duş gelýän jisimleriň elektriklenmegini, olaryň peýdaly we zyýanly hallaryny düşündiriň.
2. Elektrik zarýadlarynyň saklanma kanunyny düşündiriň.
3. Nähili jisimler zarýadlanan hasaplanylýar?
4. Elektrik zarýadlaryň nokatlanç hasaplanylýan şerti.
5. Grawitasiýa we elektrik täsir güýçleriň gatnaşygyny bahalandyrmaly.
6. HU-nda elektrik hemişeliginiň ululygynyň bahasyny getitip çykarmaly.
7. Nähili zarýad synag zarýady bolup biler?
8. Elektrik meýdanyň güýjenmesini düşündiriň.

ÖZBAŞDAK ÇÖZMEK ÜÇIN MESELELER

Gönükme 1.1.

1.1.1. Iki elektronyň arasyndaky elektrostatik we grawitasiýa özara täsir güýçleriň gatnaşygyny kesgitlemeli. Udel zarýadyň haýsy bahasynda bu güýçleriň absolýut ululyklary özara deň bolup bilerler?

1.1.2. Misden ýasalan geçiriji şaryň düzümine girýän atomlardaky elektronlaryň jemi ondaky hemme ýadrolaryň zarýadlarynyň jeminden 0,01 bölek tapawutlanýan bolsa, massalary 1*g* we biri-birinden 1*m* aralykda ýerleşen iki mis şar nähili güýç bilen özara täsir edişerler?

1.1.3. Radiusy 1 *sm*, massasy 9,81 *g* bolan iki şar uzynlygy 19 *sm* bolan ýüpek sapakdan asylan. Şarlar ululyklary boýunça deň, alamatlary boýunça garşylykly zarýadlandyrylan. Zarýadlar özara täsirleşende ýüpek sapaklaryň arasyndaky burç 90^0 deň bolar ýaly şarlara nähili ululykdaky zarýad bermeli?

1.1.4. Radiusy r bolan inçe sim halkanyň zarýady q –a deň. Halkanyň merkezinde q_0 -nokatlanç zarýad ýerleşdirilende simi süýndirýän güýç nähili ululyga üýtgär ?

1.1.5. Položitel 50 *mKl* nokatlanç zarýad *XOY* tekizligiň radius wektory $\boldsymbol{r_0}$=(2$\boldsymbol{i}$+3$\boldsymbol{j}$) *m* bolan nokadynda ýerleşdirilen. Bu ýerde ($\boldsymbol{i}$, $\boldsymbol{j}$) degişlilikde *OX* we *OY* oklaryň birlik wektorlary. Radius wektory $\boldsymbol{r}$ = (8$\boldsymbol{i}$ – 5$\boldsymbol{j}$) bolan nokatda elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň absolýut ululygyny we ugruny tapmaly.

1.1.6. Ululyklary q_1 =8 *nKl* we q_2 = -6 *nKl* bolan iki nokatlanç zarýady birleşdirýän çyzygyň merkezinde zarýadlaryň döredýän elektrik meýdanynyň güýjenmesini kesgitlemeli.

1.1.7. Üc sany biratly q zarýad deňtaraply üçburçlygyň depelerinde ýerleşen. Her bir zarýada täsir edýän güýçleriň deň täsir edijisi nola deň bolar ýaly üçburçlygyň merkezinde ýerleşdirmeli Q zaryadyň ululygny we alamatyny kesgitlemeli.

1.1.8. Tarapy a bolan kwadratyň depelerinde deň ululykly položitel nokatlanç zarýadlar ýerleşen. Kwadratyň depelerine simmetrik ýerleşen we onuň merkezinden b aralykdaky nokatda elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň modulyny tapmaly.

1.1.9. Ululygy q = 0,7 *nKl* zarýad bilen deňölçegli zarýadlanan radiusy R =20 *sm* bolan inçe ýarym halkanyň egrilik merkezinde elektrik meýdanyň güýjenmesini kesgitlemeli.

1.1.10. Položitel (q >0) zarýad a radiusly ýuka geçiriji disk boýunça deňölçegli paýlanan. Bu geçirijiniň oky boýunça onuň merkezinden Z aralykdaky elektrik meýdanyň güýjenmesiniň üýtgeýiş funksiýasyny tapmaly.

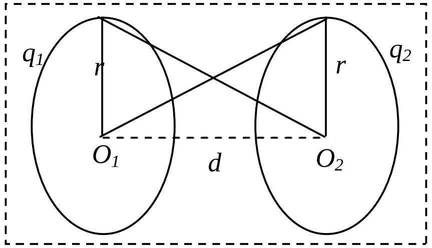
1.1.11. Uzynlygy 2l bolan inçe göni sapak q zarýad bilen deňölçegli zarýadlanan. Sapagyň merkezinden x aralykda we onuň uçlaryna görä simmetrik nokatda meýdanyň güýjenmesini tapmaly.

1.1.12. Radiuslary r ,2r, 3r bolan şarlar degişlilikde 3q, -2q, 3q zarýad bilen zarýadlanan we R>>r gapyrgaly tetraederiň 3 depesinde ýerleşdirilen.Tetraederiň 4-nji depesinde elektrik meýdanynyň güýjenmesini kesgitlemeli.

1.1.13. Iki sany položitel zarýad biri-irinden l aralykda ýerleşen. Bu zarýadlary birleşdirýän gönüniň ortasyndan geçýän dik çyzygyň üstünde elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň iň uly bolan nokadyny tapmaly.

1.1.14*. Sferanyň içine q zarýad bilen zarýadlandyrylan kiçijik togalajyk geçiriji girizilen. Togalajyk geçiriji sferanyň ýokarky çägindäki nokatda saklanar ýaly onuň aşaky çäginde tegelegiň merkezine q=3 nKl zarýady süýşürmek üçin ýerine ýetirmeli işi kesgitlemeli (1.3.3-nji çyzgy).

Ç ö z ü l i ş i : Meseläni çözmek üçin geçiriji tegelekleriň merkezindäki φ_{o1} we φ_{o2} potensiallary tapmaly. Şonuň üçin her bölegiň zarýady nokatlanç bolar ýaly geçiriji halkalary n sany deň bölege böleliň. Onda:



1.3.3-nji çyzgy.
Zarýadlanandyrylan geçiriji halkalar

$$q_1' = \frac{q_1}{n} \quad \text{we} \quad q_2' = \frac{q_2}{n}.$$

Onda q_1' nokatlanç zarýadyň elektrik meýdanynyň O_2 nokatdaky potensialy :

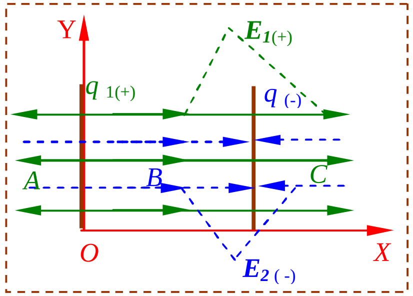
$$\varphi_1' = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0 r} q_1' \ .$$

Diýmek, q_1 zarýadyň ikinji geçiriji halkanyň O_2 merkezinde döredýän elektrik meýdanynyň $\varphi_{1(o2)}$ potensialy birinji halkadaky bar bolan hemme nokatlanç zarýadlaryň potensiallarynyň algebraik jemine deňdir:

$$\varphi_{1(o2)} = n\varphi' = \frac{q_1' n}{4\pi\varepsilon_0 r} = \frac{q_1}{4\pi\varepsilon_0 r} \ .$$

Şeýle usul bilen birinji geçiriji halkanyň O_1 merkezinde q_2 zarýadyň döredýän $\varphi_{2(o1)}$ potensialyny tapyp bolar:

Ç o z ü l i ş i : Zarýadlanan geçiriji plastinalaryň elektrik meýdanynyň güýjenmesi onuň üstüne geçirilen normal boýunça ugrukdyrylan. Başlangyjy birinji plstinada ýerleşen XOY koordinatlar ulgamyny alalyň (1.2.4-nji çyzgy). Agzalan nokatlarda elektrik meýdanyň güýjenmesini superpozisiýa düzgünine laýyklykda ýazyp bolar:



1.2.4-nji çyzgy. *Zarýadlandyrylan özara parallel geçirijileriň elektrik meýdany.*

$$\boldsymbol{E}_A = \boldsymbol{E}_1' + \boldsymbol{E}_2' \ ; \qquad \boldsymbol{E}_B = \boldsymbol{E}_1 + \boldsymbol{E}_2' \ ; \qquad \boldsymbol{E}_C = \boldsymbol{E}_1 + \boldsymbol{E}_2' \ . \quad (1)$$

Bu ýerde $\boldsymbol{E}_1$, $\boldsymbol{E}_1'$ *we* $\boldsymbol{E}_2$, $\boldsymbol{E}_2'$ - degişlilikde birinji we ikinji zarýadlanan plastinalaryň sagyndaky we çepindäki elektrik meýdanyň güýjenmeleri; plasyýtinanyň iki tarapynda hem elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň ululyklary özara deňdirler:

$$|\boldsymbol{E}_1| = |\boldsymbol{E}_1'| = \frac{\sigma_1}{2\varepsilon_0\,\varepsilon} = \frac{q_1}{2\varepsilon_0\,\varepsilon\, S} \ , \qquad (2)$$

$$|\boldsymbol{E}_2| = |\boldsymbol{E}_2| = \frac{\sigma_2}{2\varepsilon_0\,\varepsilon} = \frac{q_2}{2\varepsilon_0\,\varepsilon\, S} \ .$$

Indi berlen A, B we C nokatlarda elektrik meýdanyň güýjenmesini hasaplamak üçin 1-nji deňligi X koordinat oky boýunça proýektirläliň:

$$E_A = -\left(E_1' + E'\right) = -\left(\frac{q_1 + q_2}{2\varepsilon_0\,\varepsilon\, S}\right);$$

$$E_B = E_1 - E_2' = \frac{q_1 - q_2}{2\,\varepsilon_0\, \varepsilon\, S}\;;$$

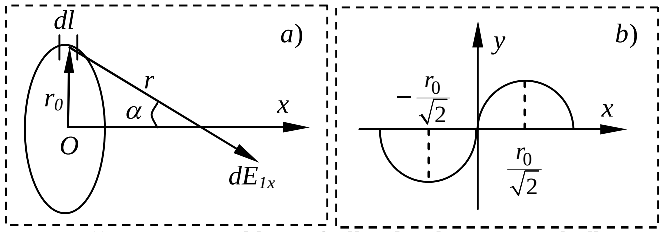
$$E_C = E_1 + E_2 = \frac{q_1 + q_2}{2\,\varepsilon_0\, \varepsilon\, S}\;. \qquad (3)$$

***M e s e l e* 1.2.4*.** Radiusy r_0 bolan geçiriji halka τ çyzykly dykyzlykly zarýadlanan. Halkanyň simmetriýa okunda elektrik meýdanynyň güýjenmesini (wakuumda) kesgitlemeli. Bu okuň haýsy nokadynda güýjenme iň uly (maksimal) baha eýe bolar?

Ç ö z ü l i ş i :

Geçiriji halkany kiçi *dl* böleklere bölüp, olaryň biri tarapyndan döredilýän elektrik meýdanynyň güýjenmesini (1.2.5-nji çyzgy)

$$dE_1 = \frac{\tau dl}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\,, \qquad (1)$$



1.2.5-nji çyzgy. *Çyzykly zarýadlandyrylan geçiriji halka we onuň elektrik meýdanynyň güýjenmesi.*

görnüşde aňladyp bolar. Bu ýerde $r^2 = r_0^2 + x^2$. Geçiriji halkanyň ähli *dl* bölejikleri tarapyndan döredilýän elektrik meýdanynyň güýjenmesi simmetriýa görä, şol okuň ugry boýunça gönükdirilendir we *x* oka perpendikulýar tekizlik boýunça alnan onuň proýeksiýalarynyň jemi nola deňdir.

Onda $dS=2r\theta\, dr$, $d\,r= - 2R\sin\theta\, d\theta$,

$$dS = 2r\theta\, R\cos\theta\ (-2R\sin\theta\, d\theta) = -4\theta\, R\sin\theta\, d\theta. \qquad (2)$$

Bu 2-nji aňlatma boýunça *dS*-iň bahasyny 1-nji deňlemede ornuna goýup alarys:

$$\varphi = -\frac{\sigma R}{\pi\varepsilon_0}\int_{\frac{\pi}{2}}^{0} \theta \sin\theta d\theta\,. \qquad (3)$$

Bölekleýin integrirlemek usulyny ýagny $\theta=U;\ \sin\theta\, d\theta=dV$; $V=-\cos\theta$; ulanyp,

$$\int \theta \sin\theta d\theta = -\theta\cos\theta + \int \theta\cos\theta d\theta = -\theta\cos\theta + \sin\theta\,,$$

we integralyn çäklerini goýulandan soň alarys:

$$\int_{\frac{\pi}{2}}^{0} \theta \sin\theta d\theta = -1\,.$$

Şeýlelikde , gutarnykly

$$\varphi = \frac{\sigma R}{\pi\varepsilon_0}\,, \qquad (4)$$

aňlatmany alarys.

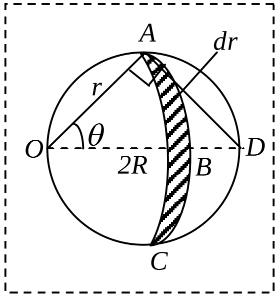
***M e s e l e* 1.3.4.** Radiusy r=5*sm* bolan iki sany geçiriji halka wakuumda umumy (O_1 O_2) okda ýerleşdirilen. Olaryň merkezleriniň arasyndaky uzaklyk 12 *sm*-e deň. Birinji tegelekde q_1=82 *mkKl*, ikinjisinde q_2=60 *mkKl* zarýad deňölçegli paýlanan. Birinji tegelegiň merkezinden ikinji

$$A = q_1(\varphi_1 - \varphi_2) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} q_1 q_2 \left(\frac{1}{l_1 + r} - \frac{1}{l_2}\right) =$$

$$= \frac{q_1 \sigma r^2}{\varepsilon_0}\left(\frac{1}{l_1 + r} - \frac{1}{l_2}\right),$$

ýazyp bolar. meseläniň şertindäki ululyklardan peýdalanyp, bu işiň A=0,51 J -a deňdigini bileris.

***M e s e l e* 1.3.3.** Ust dykyzlygy σ bolan deňölçegli zarýadlanan R radiusly ýuka tegelek geçiriji gapagyň gyrasyndaky potensialy kesgitlemeli.



1.3.2-nji çyzgy.
Zarýadlanan tegelek geçiriji diskiň *dr* bölegi

Ç ö z ü l i ş i : Meseläniň şertindäki geçiriji tegelek gapagyň üsti boýunça zarýad deňölçegli paýlanandygy üçin onuň elektrik meýdanynyň potensialy (1.3.12-nji)

$$\varphi_s = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int_s \frac{\sigma\, dS}{r}, \qquad (1)$$

görnüşdäki deňlige laýyk gelýär. Bu deňlikdäki integrirlemäni ýeňilleşdirmek üçin dS meýdan hökmünde r radiusly tegelek geçiriji gapagyň dr galyňlykdaky bölegini alalyň (1.3.2-nji çyzgy). Onuň meýdany $dS = ACdr$ -e deň , bu ýerde $AC=AB+BC=2AB$ sebäbi $AB=BC$. AOB üçburçlykdan $AB = r\theta$, $AC=2r\theta$ AOE göniburçly üçburçlykdyr. Ýagny $\angle OAD = \pi/2$. Bu üçburçlykdan:

$$r = OD\cos\theta = 2R\cos\theta .$$

Ýokardaky 1-nji aňlatma bilen kesgitlenýän ululygyň x ok boýunça proeksiýasy

$$dE_{1x} = \frac{\tau dl}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\cos\alpha \quad . \qquad (2)$$

Bu ýerde $\cos\alpha = x/r$, onda

$$dE_{1x} = \frac{\tau dl}{4\pi\varepsilon_0 r^3}\, x . \qquad (3)$$

Geçiriji halkanyň elektrik meýdanynyň netijeleýji güýjenmesi onuň ähli dl bölekleriniň güýjenmeleriniň uzynlyk boýunça x oka proeksiýalarynyň jemine deňdir:

$$E_{1x} = \int dE_{1x} = \frac{\tau x}{4\pi\varepsilon_0 r^3}\int_0^{2\pi r_0} dl = \frac{2\pi r_0 \tau x}{4\pi\varepsilon_0 r^3} = \frac{r_0 \tau x}{2\varepsilon_0\left(r_0^2 + x^2\right)^{3/2}} . \quad (4)$$

Ýokardaky 1.2.5-nji çyzgyda $E_x(x)$ baglylygyň grafigi getirilen. Bu aňlatmadan görnüşi ýaly $x=0$ ýa-da $x \to \infty$ şertde E_x nola deň bolýar.

Indi E_x maksimal baha eýe bolýan şertini tapalyň. Onuň üçin ekstremum şertini, $dE_x(x)/dx = 0$ birinji önümiň nola öwrülmegini ýazalyň:

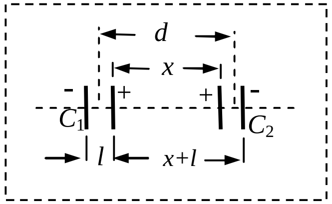
$$\frac{\tau r}{2\varepsilon_0}\,\frac{\left(r_0^2 + x^2\right)^{3/2} - x\left(\dfrac{3}{2}\right)\left(r_0^2 + x^2\right)^{1/2} 2x}{\left(r_0^2 + x^2\right)} = 0 ,$$

$$\left(r_0^2+2x^2\right)-x\left(\frac{3}{2}\right)\left(r_0^2+2x^2\right)^{1/2}2x=0 \quad ,$$

$$r_0^2+2x^2\text{-}3x^2=0 \ .$$

Soňky deňlemeden $x=\pm r_0/\sqrt{2}$ gelip çykýar.

M e s e l e 1.2.5[*]. Iki sany tekiz kondensatoryň her birisiniň plastinalarynyň arasyndaky uzaklyk l-e deň. Kondensatorlaryň biri-birine bakyp duran plastinalary d aralygykda ýerleşdirilen. Bu aralyk plastinalllaryň ölçeglerinden we olaryň arasyndaky l uzaklykdan köp esse uly $(d>>l)$.



1.2.6-njy çyzgy. *Özara ýakynlaşdyrylan.zarýadlanan iki kondensator.*

Kondensatorlaryň zarýadlary degişlilikde q_1 we q_2 (1.2.6-njy çyzgy). Kondensatorlaryň F özara täsir güýjüni tapmaly.

Ç ö z ü l i ş i :

Goý, kondensatorlaryň položitel zarýadlanan plastinalary biri-birine ýakyn ýerleşen bolsun (1.2.6-njy çyzgy). Birinji C_1 kondensatoryň ikinji kondensatoryň otrisatel plastinasynyň ýerleşen ýerinde döredýän elektrik meýdanynyň güýjenesi:

$$E(x)=E_{1(+)}-E_{1(-)}=\frac{q_1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{d^2}-\frac{1}{(d+l)^2}\right).$$

Meseläniň şertine görä $d>>l$,onda

$$\text{Şonuň üçin } a=\sqrt{1+3^3}=\sqrt{10} \ , \qquad (3)$$

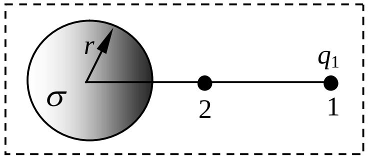
Ýokardaky 1-nji we 3-nji deňlikleri 2-nji deňlikde ornuna goýup gutarnykly alarys:

$$E_a=-\frac{-a(1+18)}{\sqrt{10}}=\frac{-19}{\sqrt{10}}a \ .$$

M e s e l e 1.3.2. Zarýadlarynyň üst dykyzlykly σ = 30 mKl/m^2 deňölçegli zarýadlanan radiusy r=20 sm bolan geçiriji şaryň üstünden l_1 = 1,4 m uzakllykda q=2 mKl zarýad ýerleşdirilen (1.3.1-nji çyzgy). Bu zarýady geçiriji şardan l_2 = 40 sm uzaklykda ýerleşen nokada süýşürmek üçin ýerine ýetirilen işi kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i :

Elektrostatik meýdanyň iki nokadynyň arasynda zarýad göçürilende edilen iş (1.24-nji) deňlik bilen hasaplanylýar. Onuň üçin biz göçüriljek zarýadyň başlangyç we ahyrky nokatlarynyň potensiallarynyň aňlatmalaryny meseläniň şertine laýyk



1.3.1.-nji çyzgy. *Zarýadlaryň üst dykyzlygy bilen zarýadlanan şar.*

$$\varphi_1=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{l_1+r}$$

ýazyp bolar. Bu ýerde $q=\sigma\cdot 4\pi r^2$ togalak geçirijiniň zarýady.

Togalak geçirijiniň döredýän elektrostatik meýdanynyň 1-nji we 2-nji nokatlarynyň arasynda q_1 zarýad göçürilende ýerine ýetirilýän işiň aňlatmasyny

MESELELERIŇ ÇÖZÜLIŞINE MYSALLAR

***M e s e l e* 1.3.1.** Elektrik meýdanyň potensialy $\varphi = a\left(xy - z^2\right)$ aňlatma bilen berlen. *M* (1,2,-3) nokatlarda elektrik meýdanyň güýjenmesiniň $\boldsymbol{a} = \boldsymbol{i} + 3\boldsymbol{k}$ wektora bolan proýeksiýasyny tapmaly.

Ç ö z ü l i ş i :

Elektrik meýdanyň güjenmesiniň wektoryny (1.3.8) we (1.3.9-njy) deňlikler boýunça tapalyň :

$$\boldsymbol{E} = \boldsymbol{i}\frac{\partial\varphi}{\partial x} - \boldsymbol{j}\frac{\partial\varphi}{\partial y} - \boldsymbol{k}\frac{\partial\varphi}{\partial z}.$$

Meseläniň şertine görä $\varphi = a\left(xy - z^2\right)$, onda

$$\boldsymbol{E} = -a\left(\boldsymbol{i}x + \boldsymbol{j}y - 2\boldsymbol{k}z\right) . \qquad (1)$$

Analitik geometriýadan belli boluşy ýaly elektrik meýdanyň güýjenmesiniň wektorynyň $\boldsymbol{a}$ wektora bolan proýeksiýasy

$$E_a = \boldsymbol{E}\frac{\boldsymbol{a}}{a} , \qquad (2)$$

deňlik boýunça tapyp bolar. Bu ýerde $a = |\boldsymbol{a}|$ wektoryň moduly. Onda $a = \sqrt{a_x^2 + a_z^2}$, emma meseläniň şertine görä $\boldsymbol{a} = \boldsymbol{i}\, a_x + \boldsymbol{k}\, a_z = \boldsymbol{i} + 3\boldsymbol{k}$. Onda ýokardaky deňlige görä a_x =1; a_z =3.

$$E(x) = -\left[\frac{q_2}{4\pi\varepsilon_0\left(x+l\right)^2} - \frac{q_1}{4\pi\varepsilon_0 x^2}\right],$$

tapawudy matematiki derňewden belli bolan

$$\Delta f\left(x\right) = f\left(x = \Delta x\right)' - f\left(x\right) \approx f'\left(x\right)\Delta x$$

aňlatmadan peýdalanyp, hem-de biziň ýagdaýymyzda $\Delta x = l$, $f\left(x\right) = q_1 / \left(4\pi\varepsilon_0 x^2\right)$ bolýandygyny hasaba alyp özgerdeliň:

$$f\left(x\right) = -\frac{2q_1}{4\pi\varepsilon_0 x^3},\ E\left(x\right) = -\left(-\frac{2q_1}{4\pi\varepsilon_0 x^3}\right)l = \frac{2q_1 l}{4\pi\varepsilon_0 x^3}.$$

Onda birinji kondensatordan *d* aralykda ýerleşýän ikinji kondensatora täsir edýän güýç

$$F = \left[E\left(d\right) - E\left(d+l\right)\right]q_2 = \frac{q_1 q_2 l}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{1}{d^3} - \frac{1}{\left(d+l\right)^3}\right],$$

deň bolar.

Ýa-da soňky aňlatmany aşakdaky ýaly ýönekeýleşdirip bolar:

$$F = \frac{q_1 q_2 l}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{1}{d^3} - \frac{1}{\left(d+l\right)^3}\right] \approx \frac{3q_1 q_2 l^2}{2\pi\varepsilon_0 d^4}.$$

Diýmek, bu ýagdaýda kondensatorlar itekleşerler.

Ýokardaky ýaly pikir ýöretmeleri kondensatorlaryň biri-birine tarap dürli atly zarýadlanan plastinalary arkaly gönükdirilen ýagdaýy üçin hem geçirmek bolar. Bu halda hem kondensatorlar şol bir

$$F \approx \frac{3q_1q_2l^2}{2\pi\varepsilon_0 d^4},$$

güýç bilen biri-birne dartylarlar.

TALYPLARYŇ ÖZBAŞDAK TAÝÝARLYKLARYNY BARLAMAK ÜÇIN SORAGLAR

1.Elektrik meýdanyň güýç çyzyklary we olaryň ol çyzgyda şekillendirilişi.
3.Elektrik meýdanyň süýşme wektory.
4.Elektrik meýdanyň ***E*** we ***D*** wektorlarynyň akymy.
5.Ostrogradskiýniň we Gaussyň teoremasy we onuň elektrik meýdanynyň güýjenmesini hasaplamakda ulanylyşy.
6.Elektrik meýdanyň ***E*** wektorynyň ***dl*** kontur (halka) boýunça aýlanmasynyň fiziki manysy.

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 = E_z^2} \ . \qquad (1.3.10)$$

aňlaymadan tapylýar.
Üznüksiz paýlanan zarýadlaryň döredýän elektrik meýdanynyň potensialy :

a) τ çyzykly dykyzlykly zarýadlaryň elektrik meýdanynyň berlen nokadynda

$$\varphi_l = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int_l \frac{\tau dl}{r}; \qquad (1.3.11)$$

b) σ üst dykyzlykly zarýadlaryň elektrik meýdanynyň berlen nokadynda

$$\varphi_s = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int_s \frac{\sigma\, dS}{r}; \qquad (1.3.12)$$

ç) ρ göwrüm dykyzlykly zarýadlaryň elektrik meýdanynyň berlen nokadynda

$$\varphi_v = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int_V \frac{\rho\, dV}{r}, \qquad (1.3.13)$$

görnüşlerde aňladylýar.

- Elektrostatik meýdanyň işi göçürilýän položitel birlik q_0 zarýadyň başlangyç we ahyrky nokatlarynyň potensial energiýalarynyň tapawudyna deňdir:

$$A = \Delta W_p = q_0\left(\varphi_1 - \varphi_2\right) = q_0 U \,. \qquad (1.3.5)$$

Bu ýerde $U = \varphi_1 - \varphi_2$ başlangyç we ahyrky nokatlaryň arasyndaky potensiallaryň tapawudy.

- Birhilli elektrostatik meýdanyň güýjenmesi bilen onuň dürli nokatlarynyň arasyndaky potensiallarynyň tapawudynyň arasyndaky baglanyşyk:

$$E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d}. \qquad (1.3.6)$$

Birhillidäl elektrik meýdan üçin bu baglanyşyk :

$$\boldsymbol{E} = -\boldsymbol{grad}\varphi \;. \qquad (1.3.7)$$

Elektrik meýdanyň güyjenmesiniň x,y,z koordinatalar oklaryna proýeksiýasy:

$$E_x = -\frac{d\varphi}{dx};\; E_y = -\frac{d\varphi}{dy};\; E_z = -\frac{d\varphi}{dz} \;. \qquad (1.3.8)$$

Elektrik meýdanyň güyjenmesiniň x,y,z koordinatalar ulgamynda wektor görnüşde :

$$\boldsymbol{E} = \boldsymbol{i}\, E_x + \boldsymbol{j}\, E_y + \boldsymbol{k}\, E_z \,, \qquad (1.3.9)$$

Bu ýerde ***i, j*** we ***k*** degişlilikde X,Y,Z koordinat oklarynyň birlik wektorlary ; Onuň moduly :

ÖZBAŞDAK ÇÖZMEK ÜÇIN MESELELER

Gönükme 1.2.

1.2.1. Uzyn göni sapak τ çyzykly, deňölçegli zarýadlanan. Sapaga inderilen perpendikulýaryň üstünde ondan *d* daşlykdaky nokatda elektrik meýdanynyň güýjenmesini kesgitlemeli.

1.2.2. Tükeniksiz uzynlykly σ üst zarýadlaryň dykyzlygy bilen zarýadlanan wertikal ýerleşdirilen geçiriji tekizlikden onuň bilen bir atly zarýady bolan togalak geçiriji asylan. Togalagyň massasy *m* we ol geçiriji tekizlik bilen α burçy döredýän bolsa, togalagyň zarýadyny hasaplamaga mümkünçilik berýän aňlatmany getirip çykarmaly.

1.2.3. Özara biri-biri bilen parallel ýerleşdirilen uzyn we inçe iki geçiriji $\tau_{(+)}$ we $\tau_{(-)}$ uzynlyk birligindäki zarýadlar bilen deňölçegli zarýadlandyrylan. Iki geçirijiden hem deň *h* daşlykda simmetrik tekizlikde ýerleşen nokatda elektrik meýdanyň güýjenmesini tapmaly.

1.2.4. Ýokardaky 1.2.3-nji meseläniň şertine laýyk gelýän nokatda olaryň döredýän elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň iň uly (maksimal) bahasyny kesgitlemeli.

1.2.5. Radiusy *R* bolan togalak geçiriji položitel merkeze çenli üýtgeýän $\rho = \rho_0\left(1\text{-}\frac{r}{R}\right)$ göwrüm zarýadlaryň dykyzlygy bilen zarýadlandyrylan. Bu ýerde ρ_0 hemişelik ululyk. Geçiriji togalagyň we onuň daşyndaky gurşawyň dielektrik syzyjylygyny bire deň hasaplap $\left(\varepsilon = 1\right)$:

a) Geçiriji togalagyň içinde we daşynda elektrik meýdanyň güýjenmesiniň *r*-e baglylygyny;

b) Elektrik meýdanyň güýjenmesiniň iň uly bahasyny we oňa degişli r_m aralygy tapmaly.

1.2.6. Radiusy r bolan inçe sim halka q zarýad bilen zarýadlandyrylan.

a) Halkanyň oky boýunça onuň merkezinden l daşlykdaky nokatda elektrik meýdanyň güýjenmesini we onuň $E = f(l)$ baglylygyny tapmaly. Alnan baglanyşygy $l >> r$ halda derňemeli;

b) Elektrik meýdanynyň E güýjenmesiniň l-e bagly maksimal bahasyny kesgitlemeli.

1.2.7. Wakuumda ýerleşen inçe göni $2a$ uzynlykly geçiriji steržen q zarýad bilen zarýadlandyrylan. Elektrik meýdanyň güýjenmesiniň ululygyny:

a)Geçiriji sterženiň üstüne geçirilen perpendikulýarnyň üstünde;

b) Geçiriji sterženiň okunuň dowamynda ýerleşen nokatlara çenli $(r>a)$ aralyga baglylygyny tapmaly.

Alnan aňlatmalary $r>>a$ şertde derňemeli.

1.3. ELEKTROSTATIKI MEÝDANYŇ POTENSIALY

Esasy kesgitlemeler we aňlatmalar

- Biri - birinden r uzaklykda ýerleşen iki sany nokatlanç zarýadyň özara täsiriniň potensial energiýasy:

$$W_p = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{\varepsilon r}. \qquad (1.3.1)$$

- Elektrik meýdanyň berlen nokadynyň potensialy diýilip, şol nokadyň W_p potensial energiýasynyň agzalan nokada getirilen q_0 birlik položitel zarýada bolan gatnaşygy bilen ölçenilýän ululyga düşünilýär:

$$\varphi = \frac{W_p}{q_0} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 \varepsilon r}. \qquad (1.3.2)$$

- Nokatlanç zarýadlar ulgamynyň doredýän elektrik meýdanynyň potensialy aýry -aýry zarýadlaryň şol nokatda döredýän elektrik meýdanlarynyň potensiallarynyň algebraik jemine deňdir:

$$\varphi = \sum_{i=1}^{N}\varphi_i . \qquad (1.3.3)$$

- Deňölçegli zarýadlanan R radiusly sferik üstüň döredýän elektrik meýdanynyň potensialy:

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 \varepsilon R} . \qquad (1.3.4)$$

$$\varphi(R)=\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R}+\frac{2Q}{4\pi\varepsilon_0 R}-\frac{3Q}{4\pi\varepsilon_0 3R}=\frac{3Q}{4\pi\varepsilon_0 R},$$

kanun boýunça üýtgär.

Eger R=3R_0 şertde daşky sferanyň potensialy

.

$$\varphi(R)=\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 3R_0}+\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 3R_0}-\frac{3Q}{4\pi\varepsilon_0 3R_0}=0.$$

Eger R >3R_0 bolanda bolsa, $\varphi(R)=0$.

Alnan netijeleriň esasynda $\varphi=f(R)$ baglylygyň grafigi 1.3.7-nji çyzgydaky ýaly bolar.

***M e s e l e* 1.3.12*.** Iki sany biratly q zarýady bolan uly bolmadyk m massaly geçiriji şar uzynlygy 2l bolan dielektrik özara berkidilen. Eger birikdiriji sapagyň merkezi başlangyç pursatyndaky ýerleşen halyna perpendikulýar ugurda hemişelik ϑ tizlik bilen hereket edip başlasa, geçiriji şarlaryň iň ýakyn özara golaýlaşma aralygyny kesgitlemeli.

Çö z ü l i ş i :

Sapagyň hereket edýän merkezi bilen baglanyşykly inersial hasaplama ulgamyna geçeliň. Hereketiň başlangyç pursatynda geçiriji şarlaryň tizlikleri deňdir. Ulgamyň başdaky doly energiýasy kinetik we potensial energiýalaryň jemine deňdir:

$$W_1=W_k+W_p=2\frac{m\vartheta}{2}+\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 2l}. \qquad (1)$$

Şarlar özara iň golaýlaşanlarynda ulgamyň doly energiýasy:

$$\varphi_{2(o1)}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_2}{\sqrt{d^2+r^2}}.$$

Onda birinji geçiriji tegelegiň merkezindäki q_1 we q_2 zarýadlaryň döredýän potensiallary:

$$\varphi_{01}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q_1}{r}+\frac{q_2}{\sqrt{d^2+r^2}}\right),$$

$$\varphi_{o2}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{q_2}{r}+\frac{q_1}{\sqrt{d^2+r^2}}\right].$$

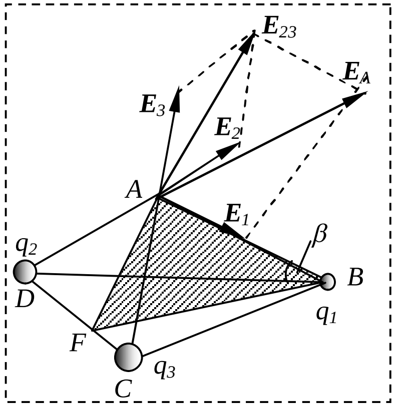
Şeýlelikde q zarýady O_1 nokatdan O_2 nokada süýşürmek üçin edilen işi (1.3.6) -njy deňligi ulanyp taparys:

$$A=q(\varphi_{o1}-\varphi_{o2})=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}q(q_1-q_2)\left(\frac{1}{r}-\frac{1}{\sqrt{d^2+r^2}}\right).$$

Meseläniň şertinde berlen ululyklaryň san bahasyny soňky aňlatmada ornuna goýup, A=7,3 · 10^5 J alarys.

***M e s e l e* 1.3.5.** Radiuslary r,2r,3r zarýadlary q_1=3q, q_2=2q, q_3 = -3q bolan geçiriji şarjagazlar R>>r gapyrgaly piramidanyň dörtburçly esasynyň B, D we C depelerinde ýerleşen. Dörtburçlygyň dördünji A depesinde elektrik meýdanyň güýjenmesini we potensialyny hem-de depelerdäki şarjagazlaryň merkezindäki potensialy kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i : Geçiriji şarjagazlar piramidanyň esasynyň depelerinde ýerleşen diýip kabul edeliň (1.3.4-nji çyzgy). Meseläniň şertine görä *B, C* we *D* nokatlarda ýerleşdirilen zarýadlandyrylan şarjagazlaryň A nokatda döredýän elektrik meýdanynyň güýjenmesini, şonuň ýaly hem bu zarýadlaryň ýerleşdirilen nokatlarynyň merkezindäki potensiallaryny tapalyň. Bu $3q$ $-2q$, $3q$ zarýadlaryň döredýän elektrik meýdanynyň güýjenmeleri degişlilikde $\boldsymbol{E}_B = \boldsymbol{E}_1$, $\boldsymbol{E}_D = \boldsymbol{E}_2$, $\boldsymbol{E}_C = \boldsymbol{E}_3$ bilen belgiläliň. Meseläniň şertine we çyzga laýyklykda $\boldsymbol{E}_1$ we $\boldsymbol{E}_3$ wektorlaryň ululyklary deňdirler$\left(\boldsymbol{E}_1 = \boldsymbol{E}_2\right)$. Sebäbi elektrik meýdany kesgitlenýän *A* nokat özlerini döredýän zarýadlardan deň daşlykda ýerleşendirler. Elektrik meýdanyň güýjenmesiniň goşulma düzgünine görä $\boldsymbol{E}_A$:



1.3.4-nji çyzgy. *Depeleri zarýadly piramidanyň esasy*

$$\boldsymbol{E}_A = \boldsymbol{E}_1 + \boldsymbol{E}_2 + \boldsymbol{E}_3 \,. \qquad (1)$$

Bu $\boldsymbol{E}_1$ we $\boldsymbol{E}_3$ wektorlaryň arasyndaky burç 60° deňdir. Onda agzalan wektorlaryň dentäsiredijisi piramidanyň esasynyň diagonalyna deňdir.

$$\boldsymbol{E}_{13} = 2\,\boldsymbol{E}_1\, cos30^\circ \,. \qquad (2)$$

Indi $\boldsymbol{E}_A$ wektory tapmak üçin $\boldsymbol{E}_{13}$ we $\boldsymbol{E}_2$ wektorlary goşmaly. Bu iki wektor *ABF* tekizlikde ýatýarlar (*AF* deňtaraply üçburçlygyň beýikligi) kosinuslar teoremasy boýunça:

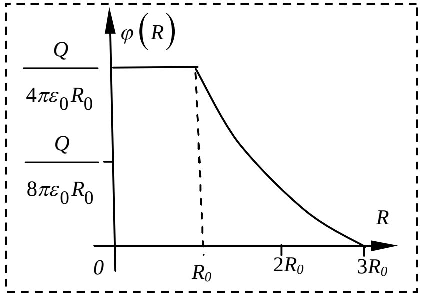
sferanyň potensialyny kesgitlemeli we olar üçin $\varphi = f\left(R\right)$ baglylygynyň grafigini gurmaly.

Ç ö z ü l i ş i :

Radiusy R_0 bolan geçiriji sferanyň potensialy üç sferanyň potensiallarynyň jeminden ybarat. Sferalaryň içindäki potensial onuň üstüniň potensialyna deňdir. Şeýlelikde:

$$\varphi_1 = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R_0} + \frac{2Q}{4\pi\varepsilon_0 2R_0} - \frac{3Q}{4\pi\varepsilon_0 3R_0} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R_0}\,.$$

Eger $R_0 < R < 2R_0$ bolan halatynda R_0 radiusly sferanyň daşyndaky elektrik meýdanyň potensilynyň bahasy:



1.3.7-nji çyzgy. *Geçiriji sferalaryň potensiallarynyň olaryň radusyna baglylygy*

$$\varphi\left(r\right) = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R_0}\,.$$

Ikinji sferanyň potensialy onuň özüniň, daşky we içki sferanyň elektrik meýdanynyň potensialy (R=2R_0 halatyndaky) bilen kesgitlenýär:

$$\varphi_2 = \frac{2Q}{4\pi\varepsilon_0 2R_0} - \frac{3Q}{4\pi\varepsilon_0 3R_0} + \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 2R_0} = \frac{Q}{8\pi\varepsilon_0 R_0}\,.$$

Eger $2R_0 < R < 3R_0$ bolan halatynda potensial

Bu ýerde R uly damjanyň radiusy, Q uly damjanyň zarýady. Kiçi damja üstüniň potensialyny :

$$\varphi_i = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 \varepsilon r}, \tag{2}$$

deňlik bilen aňladalyň. Bu ýerde q kiçi damjanyň zarýady, r onuň radiusy. Uly damjanyň zarýady

$$Q = Nq\ , \tag{3}$$

bolar.

Ýokardaky 1- 3-nji deňliklerden :

$$\frac{\varphi}{\varphi_i} = N\frac{r}{R}\ . \tag{4}$$

Uly damjanyň göwrümi kiçi damjalaryň göwrümleriniň jemine deňdir

$$\frac{4}{3}\pi R^3 = N\frac{4}{3}\pi r^3$$

Bu deňlikden $\frac{r}{R} = \frac{1}{\sqrt[3]{N}}$ alnar. Soňky aňlatmany 4-nji deňlikde ornuna goýup taparys:

$$\varphi = \frac{N}{\sqrt[3]{N}}\varphi_i\ . \tag{5}$$

***M e s e l e* 1.3.11*.** Radiuslary R_0, $2R_0$ we $3R_0$ bolan üç sany biri-birine geýdirilen (konsentrik) geçiriji sferalaryň degişlilikde Q , $2Q$, $-3Q$ zarýadlary bar. Her bir geçiriji

$$E_A = \sqrt{E_{13}^2 + E_2^2 - 2E_{13}E_2 cos\beta}\ . \tag{3}$$

Ýokardaky 1.3.4-nji çyzgydan görnüşi ýaly $\beta = \angle ABD$, ABF üçburçlyk deňýanly bolany üçin $AF{=}BF$ çyzgy boýunça :

$$\cos\beta = 0{,}5\ cos30^\circ\ . \tag{4}$$

Bu 2-nji we 4-nji deňlikleri göz öňünde tutup, birnäçe özgertmelerden soňra:

$$E_A = \sqrt{3E_1^2 + E_2^2 - 2E_1E_2}\ , \tag{5}$$

aňlatmany alyp bolar.

Zarýadly şarjagazlar tarapyndan emele getirilýän elektrik meýdany olaryň merkezinde jemlenen hemme zarýadlar bilen döredilýär. Şonuň üçin hem

$$E_1 = E_3 = \frac{3q}{4\pi\varepsilon_0 R^2},\quad E_2 = \frac{2q}{4\pi\varepsilon_0 R^2}\ . \tag{6}$$

Bu aňlatmalary 5-nji deňlelikde ornuna goýup, alarys:

$$E_A = \frac{\sqrt{19}}{4\pi\varepsilon_0 R^2}q\ . \tag{7}$$

Indi A nokadyň potensialyny kesgitläliň. Ol üç sany zarýadly şarjagazlaryň şol nokatda döredýän potensiallarynyň jemine deňdir:

$$\varphi_A = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3\ . \tag{8}$$

Ýokardaky 1.3.4-nji çyzga laýyklykda $\varphi_1 = \varphi_3$ we olaryň ululyklary:

$$\varphi_1 = \varphi_3 = \frac{3q}{4\pi\varepsilon_0 R} \ . \qquad (9)$$

Bu 8-nji we 9-njy deňliklerden :

$$\varphi_A = \frac{1}{\pi\varepsilon_0}\frac{q}{R}. \qquad (10)$$

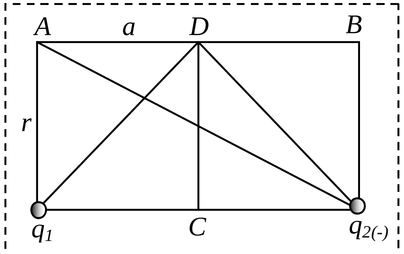
Geçiriji şarjagazlaryň merkezindäki meýdanyň potensialy şar üstüniň potensialyna deňdir. Şar üstüniň potensialy bolsa hususy meýdanynyň potensialynyň we beýleki iki şarjagaşlaryň potensiallarynyň jemine deňdir.

Onda $R>>r$ şerti göz öňünde tutup alarys:

$$\varphi_A = \varphi_D = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{3q}{r} + \frac{3q}{R} - \frac{2q}{R}\right) = \frac{3q}{4\pi\varepsilon_0 r} \ , \qquad (11)$$

$$\varphi_B = 2\frac{3q}{4\pi\varepsilon_0 R} - \frac{2q}{4\pi\varepsilon_0 R} = -\frac{q}{2\pi\varepsilon_0 r} \ . \qquad (12)$$

M e s e l e 1.3.6. Ululygy q= 1 nKl bolan zarýady A nokatdan B nokada we C nokatdan D nokada süýşürmek üçin edilýän işi kesgitlemeli (1.3.5-nji çyzgy). Çyzgydaky ululyklar: r= 6 sm; q_1=3,33 nKl; q_2=-3,33 nKl.



1.3.5-nji çyzgy. *Zarýadlaryň elektrik meýdany*

$$W_n = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q^2(\sqrt{2}-4)}{a\varepsilon}. \qquad (3)$$

2) $q_1 = q_2 = -q$. Bu halda

$$W_{34}=W_{12}=\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 a}; \qquad W_{14}=W_{23}=-\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 a};$$

$$W_{24} = W_{13} = -\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 a\sqrt{2}}.$$

Soňky aňlatmalary 1-nji deňlikde ornuna goýup, özgertmeden soňra

$$W_n = -\frac{q^2\sqrt{2}}{4\pi\,\varepsilon_0 a} \ , \qquad (4\ )$$

ulgamyň potensial energiýany kesgitlemäge mümkinçilik berýän aňlatmany alarys.

M e s e l e 1.3.10. Her birisiniň potensialy φ_i - e deň bolan N =1000 sany birmeňzeş zarýadlandyrylan suw damjalarynyň birikmeginden dörän uly damjanyň potensialyny kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i :

Adatça suw damjalary üst dartylma güýjüniň täsiri netijesinde şar görnüşe eýedirler. Uly şar şekilli damjanyň φ potensialy 1.3.4-nji deňlige laýyklykda:

$$\varphi = \frac{Q}{4\pi\,\varepsilon_0 R} \ . \qquad (1)$$

$$W_n=W_{12}+W_{13}+W_{14}+W_{23}+W_{24}+W_{34}\,. \qquad (1)$$

Bu ýerde W_{12}, W_{13}, W_{14}, W_{23}, W_{24}, we W_{34} ululyklar özleriniň kiçi belliklerinde görkezilen zarýadlaryň özara täsir energiýalarydyr. Eger kwadratyň depelerindäki zarýadlar özara deň $q_1 = q_2 = q_3 = q_4$ bolsa, olaryň energiýaalary:

$$W_{12} = W_{23} = W_{34} = W_{12} = W_{23} = W_{34} = \frac{1}{4\pi\,\varepsilon_0}\frac{q^2}{a};$$

$$W_{13} = W_{24} = \frac{1}{4\pi\,\varepsilon_0}\frac{q^2}{a\sqrt{2}} \quad ,$$

bolar. Soňky aňlatmalary 1-nji deňlikde ornuna goýup alarys:

$$W_n = \frac{1}{4\pi\,\varepsilon_0}\frac{q^2}{a}\left(1+1+1+\frac{1}{\sqrt{2}}+\frac{1}{\sqrt{2}}+1\right) = \\ = \frac{1}{4\pi\,\varepsilon_0}\frac{q^2}{a}\left(4+\sqrt{2}\right) \quad . \qquad (2)$$

b) haldaky şertde zarýadlar özara iki hili ýerleşip bilerler:

1) $q_1 = q_3 = -q$. Bu halda

$$W_{12} = W_{14} = W_{23} = W_{34} = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q^2}{\varepsilon a};$$

$$W_{13} = W_{24} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q^2}{\varepsilon\, a\sqrt{2}}.$$

Şeýlelikde soňky aňlatmalary 1-nji deňlikde ornuna goýup, käbir özgertmeden soňra alarys:

Ç ö z ü l i ş i :

Zarýady A nokatdan B nokada süýşürmek üçin edilýän iş 1.3.6-njy deňlik boýunça

$$A_{AB} = q\left(\varphi_A - \varphi_B\right), \qquad (1)$$

kesgitlenilýär. Bu ýerde:

$$\varphi_A = \varphi_{A1} - \varphi_{A2};\ \ \varphi_B = \varphi_{B1} - \varphi_{B2};\ \ \varphi_B = \varphi_{B1} - \varphi_{B2},$$

çyzgydaqky A we B nokatlaryň potensialy. Olar q_1 we q_2 zarýadlaryň potensiallarynyň algebraik jemine deňdir hem-de degişlikde şeýle aňladylýar:

$$\varphi_{A1} = \frac{q_1}{4\pi\varepsilon_0 r_1}; \qquad \varphi_{A2} = \frac{q_2}{4\pi\varepsilon_0 r_2};$$

$$\varphi_{B1} = \frac{q_1}{4\pi\varepsilon_0 r_1}; \qquad \varphi_{B2} = \frac{q_2}{4\pi\varepsilon_0 r_2}.$$

Bu ýerde $r_1 = r$; $r_2 = r_2 = \sqrt{r^2 + a^2}$.

Bu aňlatmalar boýunça φ_A, φ_B, r_1 we r_2 ululyklaryň bahalaryny (1)-nji deňlikde ornuna goýup alarys:

$$A_{AB} = \left[\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q_1}{r} + \frac{q_2}{\sqrt{r^2+a^2}}\right) - \left(\frac{q_1}{\sqrt{r^2+a^2}} + \frac{q_2}{r}\right)\right]. \qquad (2)$$

Ýa-da bu ýerden :

$$A_{AB} = \frac{\sqrt{r^2+a^2}-r}{4\pi\varepsilon_0 r\sqrt{r^2+a^2}} q(q_1-q_2) \ . \qquad (3)$$

Berlen ululyklaryň san bahalaryny goýup hasaplanylsa $A_{AB}=8\cdot10^{-7}$ *J* -dygyny kesgytläp bolar.

Meseläniň şertindäki *q* zarýady *C* nokatdan *D* nokada süýşürmek üçin edilen iş

$$A_{CD} = q(\varphi_C - \varphi_D) \ , \qquad (4)$$

aňlatma deňdir. Bu ýerde

$$\varphi_C = \varphi_{C1} + \varphi_{C2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q_1}{r_3}+\frac{q_2}{r_3}\right),$$

$$\varphi_D = \varphi_{D1} + \varphi_{D2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q_1}{r_4}+\frac{q_2}{r_4}\right).$$

Bu deňliklerde φ_C we φ_D degişlilikde q_1 we q_2 zarýadlaryň döredýän elektrik meýdanlarynyň *C* we *D* nokatlardaky potensiallary. Indi $r_3=a/2$, $r_4=\sqrt{r^2+\frac{a^2}{4}}$ we φ_C, φ_D, r_3, r_4 ululyklaryň aňlatmalaryny 2-nji deňlikde ornuna goýup taparys:

$$A_{CD} = q\left[\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q_1}{\frac{a}{2}}+\frac{q_2}{\frac{a}{2}}\right)-\left(\frac{q_1}{\sqrt{a^2+\frac{a^2}{4}}}+\frac{q_2}{\sqrt{a^2+\frac{a^2}{4}}}\right)\right].$$

Ýa-da

Koordinatalaryň başlangyç *O* nokadynda elektrik meýdanyň $d\varphi$ potensialyny tapalyň:

$$d\varphi = \frac{\tau\, dl}{4\pi\varepsilon_0 r} \ . \qquad (6)$$

Bu deňlikdäki *r*-i *R*-iň üsti bilen aňladyp, integrirläliň we

$$\varphi = \frac{\tau}{4\pi\varepsilon_0 R}\int_0^l dl = \frac{rl}{4\pi\varepsilon_0 R}; \quad l = \frac{2\pi R}{3},$$

hasaba alyp,

$$\varphi = \frac{\tau}{6\varepsilon_0} \ , \qquad (7)$$

potensialy gutarnykly hasaplap bolar. Şeýlelikde meseläniň şerti esasynda $\varphi = 188$ *W* alarys.

***M e s e l e* 1.3.9.** Tarapy *a* bolan kwadratyň depelerinde ýerleşen ululyklary boýunça deň nokatlanç zarýaddan ybarat ulgamyň potensial energiýasyny : a) zarýadlaryň dördüsi biratly; b) zarýadlaryň ikisi položitel beýleki ikisi bolsa otrisatel alamatly bolan halatynda kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i :

Zarýadlar ulgamynyň potensial energiýasy bu ulgama girýän zarýadlaryň jübüt-jübütden özara täsir energiýasynyň jemine deňdir. Ýagny alarys.Ýaý boýunça zarýadlaryň simmetrik paýlanandygy sebäpli X ok boýunça elektrik meýdanyň güýjenmesiniň proýeksiýasy $\int_l dE_x$ nola deň . Onda

$$\boldsymbol{E} = \boldsymbol{j}\int_l dE_y \ . \qquad (3)$$

Bu ýerde :

$$dE_y = dEcos\theta = \frac{\tau dl}{4\pi\ \varepsilon_0 r^2} cos\theta . \qquad (4)$$

Şerte görä $r = R$ we $dl=Rd\theta$ bolandygy üçin

$$dE_y = \frac{\tau R\, d\theta}{4\pi\varepsilon_0 R^2} cos\theta = \frac{\tau}{4\pi\varepsilon_0 R} cos\,\theta\ d\theta .$$

dE_y-giň bahasyny 1-nji deňlikde ornuna goýup, OY oka ýaýyň simmetrik ýerleşendigini göz öňünde tutup we integralyň çäklerini 0-dan $\pi/3$ -e deň kabul edip alarys :

$$\boldsymbol{E} = \boldsymbol{j}\frac{2\tau}{4\pi\varepsilon_0 R}\int_0^{\pi/3} cos\theta\, d\theta = \boldsymbol{j}\frac{\tau}{2\pi\ \varepsilon_0 R}\left| sin\theta \right|_0^{\pi/3} .$$

Integralyň çäklerini ornuna goýup, R-i ýaýyň uzynlygy bilen $3l=2\pi R$ aňladyp,

$$\boldsymbol{E} = \boldsymbol{j}\frac{\tau}{6\varepsilon_0 l}\sqrt{3} \ , \qquad (5)$$

alarys. Bu aňlatmadan görnüşi ýaly $\boldsymbol{E}$ wektoryň ugry OY okuň položitel ugry bilen gabat gelýär.

$$A_{CD} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{2q\left(q_1+q_2\right)\sqrt{r^2+\frac{a^2}{4}}-\frac{a}{2}}{a\sqrt{r^2+\frac{a^2}{4}}} . \qquad (5)$$

Meseläniň şerti boýunçaq $q_1+q_2=0$. Onda $A_{CD}=0$ bolar.

Mesele 1.3.7. Elektron 10 *sm* radiusly zarýadlanan sferanyň merkezinden 12 *sm* we 15 *sm* uzaklykda ýerleşen nokatlaryň arasynda radius boýunça hereket edende onuň tizligi $2\cdot10^5$ *m/s*-dan $2\cdot10^6$ *m/ s*-a çenli üýtgeýär. Sferanyň zarýadynyň üst dykyzlygynykes kesgitlemeli.

Çözülişi:

Eelektrik meýdanynda elektron hereket edende meýdanyň ýerine ýetiren işi elektronyň kinetik energiýasynyň üýtgemegine deňdir:

$$A = \Delta W = W_2 - W_1 = \frac{m}{2}(\vartheta_2^2 - \vartheta_1^2) \ . \qquad (1)$$

Bu ýerde m elektronyň massasy, ϑ_1 we ϑ_2 degişlikde elektronyň hereketiniň başlangyç we ahyrky pursatyndaky tizligi. Elektrik meýdany tarapyndan elektrona täsir edýän güýç :

$$\boldsymbol{F} = e\boldsymbol{E} \ . \qquad (2)$$

Bu ýalňyz zarýadyň özünden r daşlaydaky nokatda döredýän elektrik meýdanyň güýjenmesi:

$$E = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \ . \qquad (3)$$

Bu halda elektrik meýdanynyň ýerine ýetiren işini:

$$A=\int_{r_1}^{r_2} Fcos\alpha\, dr\ , \qquad (4)$$

ýaly aňladyp bolar. Onda 2-nji we 3-nji deňliklerden peýdalanyp 4-nji aňlatmadaky $cos\alpha$=1 we sferanyň zarýadynyň $q=4\pi\, r^2\, \sigma$ deňdigini göz öňünde tutup,

$$A=\int_{r_1}^{r_2} \frac{\sigma\, 4\pi\, R^2 \left| e \right| dr}{4\pi\varepsilon_0 r^2}=\frac{\sigma\, R^2 \left| e \right| (r_2-r_1)}{\varepsilon_0\ r_1 r_2} \qquad (5\ )$$

ýazyp bolar. Bu ýerde σ zarýadlaryň üst dykyzlygy, $|\ e\ |$ elektronyň zarýadynyň moduly. Soňra 1-nji we 5-nji deňlikleriň sag taraplaryny deňläp, alarys:

$$\frac{m(\vartheta_2^2-\vartheta_1^2)}{2}=\frac{\sigma R^2 \left| e \right| (r_2-r_1)}{\varepsilon_0 r_1 r_2}\ .$$

Bu ýerden bolsa

$$\sigma=\frac{\varepsilon_0 r_1 r_2\, m(\vartheta_2^2-\vartheta_1^2)}{2R^2 \left| e \right| (r_2-r_1)}\ , \qquad (6)$$

zarýadlaryň üst dykyzlygyny meseläniň şertine laýyk hasaplamaga mümkünçilik berýän 6-njy aňlatmany alarys. Hasaplamalara görä σ =5,96 $nKl\ /\ m^2$.

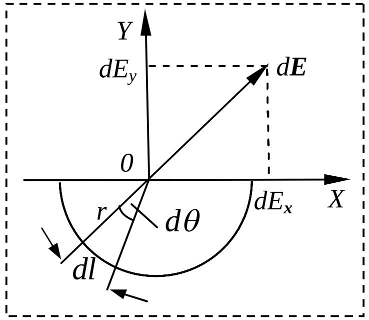
***M e s e l e* 1.3.8.** Radiusy R bolan töweregiň ýaýy (dugasy) boýunça egreldilen inçe geçiriji τ =10 nKl/m uzynlyk birligindäki zarýadlar bilen deňölçegli zarýadlanan. Geçirijiniň l uzynlygy töweregiň 1/3 uzynlygyna barabardyr we 15 *sm*-e

deň. Bu geçirijiniň döredýän elektrik meýdanynda ýaýyň egriliginiň merkezi bilen gabat gelýän O nokatda elektrik meýdanyň güýjenmesini we potensialyny tapmaly.

Ç ö z ü l i ş i :

Koordinatlar ulgamynyň Y okyny ýaýyň uçlaryna simmetrik we onuň merkezi bilen gabat geler ýaly çyzalyň (1.3.6-njy çyzgy). Geçirijiniň dl bölegini alalyň we ondaky $dQ=\tau dl$ zarýady nokatlanç zarýad hökmünde kabul edip,O nokatda bu zarýadyň döredýän elektrik meýdanynyň $\boldsymbol{dE}$ güýjenmesini tapalyň:

$$\boldsymbol{dE}\ =\frac{\tau\, dl}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\frac{\boldsymbol{r}}{r}\ . \qquad (1)$$



1.3.6-njy çyzgy. *Çyzykly zarýadlanan ýaý şekilli geçiriji sapagyň elektrik meýdany*

Bu ýerde $\boldsymbol{r}$ ýaý şekilli geçirijiniň dl böleginden güýjenmesi kesgitlenilýän nokada geçirilen radius wektor. $\boldsymbol{dE}$ wektory X we Y koordinatlar oky boýunça dE_x we dE_y proýeksiýalary bilen

$$\boldsymbol{dE}=\boldsymbol{i}dE_x+\boldsymbol{j}dE_y\ ,$$

görnüşde aňladyp bolar.Bu ýerde $\boldsymbol{i}$ we $\boldsymbol{j}$ birlik wektorlar. Ýa-da l boýunça integrirläp,

$$\boldsymbol{E}\ =\int_l dE=\boldsymbol{i}\int_l dE_x+\boldsymbol{j}\int_l dE_y\ , \qquad (\ 2\ )$$

1.5 . ELEKTRIK DIPOL

Esasy kesgitlemeler we aňlatmalar

• **Elektrik dipoly** diýip, ululyklary boýunça özara deň, alamatlary garşylykly, biri beýlekisinden uly bolmadyk dipolyň egni diýip atlandyrylýan ***l*** aralykda ýerleşen we özara berk baglanyşykly bolan iki zarýadyň toplumyna düşünilýär.

• **Dipolyň *p* elektrik (dipol) momenti** onuň položitel zarýadynyň dipolyň ***l*** egnine köpeltmek hasylyna deňdir ***p*** = *q* ***l***. Dipolyň ***l*** egni wektor ululyk bolup, ol onuň otrisatel zarýadyndan položitel zarýadyna ugrukdyrylandyr. Diýmek, dipolyň ***p*** elektrik momenti hem ***l*** bilen ugurdaşdyr.

• ***E*** güýjenmeli elektrik meýdanynda elektrik dipola ***M*** = ***p·E*** mehaniki moment täsir edýär. Bu momentiň ylulygy

$$M = p\,E\,\sin\alpha \quad , \tag{1.5.1}$$

aňladylýar. Bu ýerde α ***p*** we ***E*** wektorlaryň arasyndaky burç.

Eger elektrik dipol birhilli däl daşky elektrik meýdanynda ýerleşdirilse , oňa mehaniki momentden başga-da ***F*** güýç täsir edýär. Koordinatalaryň *X* okuna görä simmetriýasy bolan elektrik meýdanynda bu güýç

$$F_x = p\left(\frac{\partial E}{\partial x}\right)\cos\alpha \quad , \tag{1.5.2}$$

görnüşde aňladylýar. Bu ýerde $\frac{\partial E}{\partial x}$ elektrik meýdanyň güýjenmesiniň *X* oka görä hususy önümi bolup, ol meýdanyň

$$W_2 = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 d}. \tag{2}$$

Energiýanyň saklanma kanunyna görä $W_1 = W_2$, onda 1-nji we 2-nji aňlatmalaryň essynda :

$$m\vartheta^2 + \frac{q^2}{8\pi\varepsilon_0 l} = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 d}. \tag{3}$$

Bu deňlemeden bolsa:

$$d = \frac{2lq^2}{q^2 + 8\pi\varepsilon_0 m\vartheta^2 l}. \tag{4}$$

TALYPLARYŇ ÖZBAŞDAK TAÝÝARLYKLARYNY BARLAMAK ÜÇIN SORAGLAR

1. Elektrostatik meýdanyň potensial meýdandygynyň subudy.
2. Iki nokatlanç zarýadyň potensial energiýasynyň deňlemesini getirip çykarmaly.
3. Potensiallaryň tapawudy bilen elektrik meýdanyň güýjenmesiniň baglanyşygyny kepillendirmeli.
4. Ekwipotensial üstleriň nirede döreýändigini we çyzgysyny düşündirmeli.
5. Skalýar potensial näme?
6. Göwrüm boýunça zarýadlanan geçiriji şaryň içindäki iki nokadynyň potensiallarynyň tapawudyny getirip çykarmaly.
7. Üznüksiz paýlanan zarýadlaryň elektrik meýdanynyň potensialynyň aňlatmasy.

ÖZBAŞDAK ÇÖZMEK ÜÇIN MESELELER

Gönükme 1.3.

1.3.1. Deňýanly göniburçly üçburçlygyň esasynyň depelerinde iki sany özara deň $q_1=q_2=2{,}0\cdot10^{-7}$ *Kl* zarýadlar ýerleşdirilen. Zarýadlaryň arasyndaky uzaklyk 0,60 *m*, üçburçlygyň göniburçynyň depesinde we beýikliginiň esasy bilen kesişýän nokadynda elektrik meýdanynyň güýjenmesini , potensialyny a) zarýadlar biratly; b)dürli atly bolan halatlary üçin kesgitlemeli.

1.3.2. Dielektrik syzyjylygy 2,0 bolan gurşawda elektrik meýdany q=5,00 10^{-7} *Kl* zarýad bilen döredilýär. Zarýaddan 5,0 *sm* we 0,20 *sm* uzaklykda ýerleşen nokatlaryň arasyndaky potensiallaryň tapawudyny tapmaly. Eger q=0.30·10^{-7} *Kl* zarýad berlen nokatlaryň arasynda süýşürilende elektrik meýdany tarapyndan nähili işýerine ýetiriler?

1.3.3. Elementar α - bölejik 1,6·10^{-7} *m/s* tizlik bilen hereketsiz duran uran ýadrosyna nähili aralyga çenli golaýlaşyp biljekdigini kesgitlemeli. Zarýadlary nokatlanç hasaplamaly. Protonyň we neýtronyň massasyny deň diýip hasaplamaly.

1.3.4. Radiuslary 5,0 *sm* bolan parallel ýerleşdirilen iki inçe halkanyň umumy O_1 we O_2 oklary bar. Olaryň merkezleriniň arasy 12 *sm*-e deň. Birinji halkada 8,2·10^{-7} *Kl*, ikinji halkada bolsa 6,0·10^{-7} *Kl* zarýadlar deňölçegli paýlanan. Ululygy 3,0·10^{-7} *Kl* zarýady birinji halkanyň merkezinden ikinji halkanyň merkezine süýşürmek üçin nähili iş ediler? Halkalar wakuumda ýerleşdirilen.

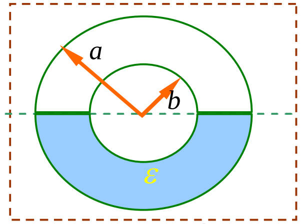
1.3.5. Iki sany položitel zarýad q_1=3 *mKl* we q_2=20 *nKl* wakuumda biri-birinden 1,5 *m* aralykda ýerleşdirilen. Zarýadlary biri-birinden 1*m* aralyga süýşürmek üçin ýerine ýetirmeli işi kesgitlemeli.

doldurylan. Bu tekiz kondensatoryň: a) elektrik sygymyny; b) kondensatoryň napryaženiýesi *U*-a deň bolan halatynda we kondensatoryň elektrik meýdanynyň ***E*** güýjenmesiniň dielektrikleriň birinji gatlagyndan ikinji gatlagyna ugrugan şertinde olaryň araçägindäki zarýadlaryň τ' çyzykly dykyzlygyny kesgitlemeli. Kondensatoryň plastinalarynyň meýdany S.

1.4.11. Plastinalarynyň radiuslary degişlilikde R_1 we R_2 bolan *l* uzynlykly silindr şekilli kondensatoryň içindäki :

a) birhilli dielektrigiň ε dielektrik syzyjylygyny ;

b) dielektrik syzyjylygy kondensatoryň okuna çenli uzaklyga otnositel $\varepsilon = a/r$ baglanyşykda (*a* hemişelik) üýtgeýän dielektrik bilen doldurylan halatynda kondensatoryň elektrik sygymyny tapmaly.



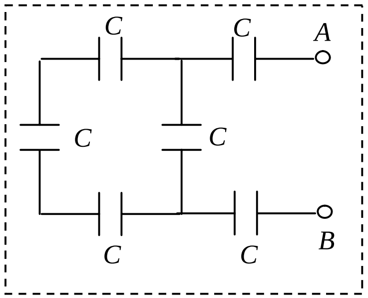
1.4.5-nji çyzgy. *Ýarysyna çenli suwuk dielektige batyrylan sferik kondensator*

1.4.12. Degişlilikde içki we daşky radiuslary *a* we *b* bolan sferik kondensator berlen. Bu kondensatoryň plastinalarynyň arasy ýarysyna çenli ε dielektrik syzyjylykly suwuk dielektige batyrylan (1.4.5-nji çyzgy). Kondensatoryň sygymyny kesgitlemeli.

1.4.13. Howada özara parallel ýerleşdirilen iki sany uzyn simiň uzynlyk birligine düşýän elektrik sygymyny $b>>a$ şertde kesgitlemeklige mümkinçilik berýän aňlatmany getirip çykarmaly. Simleriň kese kesiginiň radiuslary *a*, olaryň oklarynyň arasyndaky uzaklyk *b*.

1.4.5. Shemanyň *A* we *B* nokatlarynyň arasynda C_1=2 *mkF* we C_2=1 *mkF* bolan kondensatorlardan (1.4.3-nji) çyzgydaky ýaly toplum döredilen. Toplumyň sygymyny kesgitlemeli.

1.4.6. Elektrik sygymlary *C*=11*mkF* bolan kondensatorlar toplumynyň elektrik sygymyny kesgitlemeli (1.4.4.-nji çyzgy).



1.4.4-nji çyzgy. *Kondensatorlar toplumy*

1.4.7. Radiusy 2 *sm* bolan geçiriji şar 30 *W* potensiala çenli zarýadlandyrylan we ol elektrik sygymy *C*=3 *pF*, zarýady $q=6\cdot10^{-10}$ *Kl* bolan ikinji geçiriji şar bilen uzyn inçe sim arkaly birikdirilen.

a) Statistik deňagramlaşmadan soňra olaryň zarýadlarynyň üst dykyzlygy nähili bolar?

b) Eger birinji geçiriji şar radiusy 3 *sm* bolan geçiriji gatlagyň (gabagyň) merkezinde ýerleşdirise onuň zarýadlary nähili bolar?

1.4.8. Plastinalarynyň radiuslary *r*=2 *sm* we *R*= 6 *sm* bolan togalak kondensator berlen. Bu kondensatorlaryň içki togalak plastinalary özüniň her 1 sm^2 üstünden sekuntda $\vartheta_0 = 10\,m/s$ başlangyç tizlikli elektronlary bölüp çykarýar. Bu ýagdaý başlanandan soňra näçe wagtdan soňra kondensatoryň zarýadynyň köpelmegi kesiler?

1.4.9. Kese kesiginiň radiusy *a*=1,00 *mm* bolan iki sany göni sim howada biri-birinden *b*=50 *mm* aralykda parallel ýerleşdirilen. Simleriň özara elektrik sygymyny kesgitlemeli.

1.4.10. Plastinalarynyň arasy d_1 we d_2 galyňlykly we degişlilikde ε_1 we ε_2 dielektrik syzyjylykly iki gat dielektrik bilen

1.3.6. Elektrik meýdany radiusy 1*sm* bolan τ=20 *nKl / m* uzynlyk birligindäki zarýadlar bilen deňölçegli zarýadlanan uzyn silindr tarapyndan döredilýär. Bu meýdanyň orta böleginde silindriň üstünden a_1=0,5 *sm* we a_2=2 *sm* aralyklarda ýerleşdirilen nokatlaryň arasyndaky potensiallaryň tapawudyny kesgitlemeli.

1.3.7. Elektrik meýdany τ*=0,1 mkKl / m* bolan uzynlyk birligindäki zarýadlar bilen geçiriji steržen bilen döredilýär. Onuň uçlaryndan geçiriji sterženiň uzynlygyna deň bolan daşlykdaky nokatda elektrik meýdanyň potensialyny kesgitlemeli.

1.3.8. Deňtaraply üçburçlygyň her tarapynyň uzynlygy *a*=10 *sm* bolup, onuň depelerinde Q_1=10 *nKl*, Q_2=20 *nKl* we Q_3=30 *nKl* ululykly zarýadlar ýerleşdirilen. Bu zarýadlar ulgamynyň potensial energiýasyny kesgitlemeli.

1.3.9. Tarapynyň uzynlygy 10 *sm* bolan kwadratyň her bir depesinde ululygy *q*=10 *nKl* bolan zarýad ýerleşen. Bu zarýadlar ulgamynyň potensial energiýasyny bahalandyrmaly.

1.3.10. Potensialy φ = 20 *W* bolan 100 sany simap damja birleşip, bir damja emele getirýärler. Emele gelen damjanyň potensialyny hasaplamaly?

1.3.11. Esaslarynyň radiuslary R_1 we R_2 bolan we bir umumy okda ýerleşdirilen iki silindr Q_1 we Q_2 zarýadlar bilen zarýadlanan. 1) $r<R_1<R_2$; 2) $R_2>r>R_1$; 3) $r>R_2$ şertlerde $\varphi(r)$ potensialy tapmaly.

1.3.12. Deňölçegli *q* zarýad bilen zarýadlanan halkanyň merkezinden onuň oky boýunça *h* aralykda elektrik meýdanyň potensialyny tapmaly.

1.3.13. Potensialy *a*) $\varphi = a\,(x^2-y^2)$; *b*) $\varphi = axy$ kanun boýunça *x* -a we *y* -ga bagly bolan elektrik meýdanynyň güýjenmesini kesgitlemeli. Bu ýerde *a* hemişelik ululyk. Bu meýdanlary ***E*** wektor çyzyklar bilen *xy* tekizlikde takmynan şekillendirmeli.

1.3.14. Güýjenmesi 10 *W/m* bolan birhilli elektrik meýdany biri-birinden 2 *sm* aralykda howada ýerleşen zarýadlanan parallel geçiriji plastinalar döredýär. Geçiriji plastinalaryň arasyndaky potensiallaryň tapawudy nähili? Olaryň arasynda 0,5*sm* galynlykly bölek metal geçiriji ýerleşdirilende potensiallaryň tapawudy nähili bolar?

1.3.15. Deňölçegli σ üst dykyzlykly zarýadlanan R radiusly ýuka geçiriji diskiň okunyň dowamynda onuň merkezinden a daşlykda ýerleşen O nokatda elektrik meýdanynyň potensialyny kesgitlemeli.

1.3.16. Deňölçegli σ üst dykyzlykly zarýadlanan R radiusly ýuka geçiriji diskiň gyrasyndaky elektrik meýdanynyň potensialyny kesgitlemeli.

1.3.17. Zarýadlanan geçiriji şarlaryň içindäki elektrik meýdanyň potensialy onuň merkezine çenli aralykda $\varphi = a^2+b$ kanun boýunça üýtgeýär (a we b hemişelik ululyklar). Geçiriji şaryň içinde zarýadlaryň ρ göwrümleýin paýlanylyşyny kesgitlemeli.

1.3.18. Elektrik meýdanyny τ = 0,4 *mkKl/m* uzynlyk birligindäki deňölçegli zarýadlar bilen zarýadlanan tükeniksiz uzyn göni geçiriji sapak döredýär. Eger ikinji nokat birinji nokatdan geçiriji sapaga görä η =2,0 esse daşlykda ýerleşen bolsa, bu nokatlaryň arasyndaky potensiallaryň tapawudyny kesgitlemeli.

1.3.19. Zarýadlanmadyk geçiriji sferanyň daşynda, onuň merkezinden l uzaklykda q nokatlanç zarýad ýerleşdirilen. Berlen sferanyň potensialyny tapmaly.

1.3.20. Radiuslary R_1=5 *sm*; R_2=8 *sm* bolan zarýadlanmadyk geçiriji togalak gatlagyň merkezinden r=2,5 *sm* uzaklykda q=3,4 *nKl* nokatlanç zarýad ýerleşdirilen. Togalak gatlagyň merkezinde elektrik meýdanyň potensialyny tapmaly.

ÖZBAŞDAK ÇÖZMEK ÜÇIN MESELELER

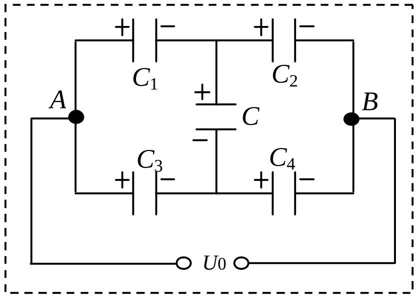
Gönükme 1.4.

1.4.1. Tekiz kondensator üçin uzynlygy 157 *sm*, ini 90,0 *mm* bolan ýuka alýumin plastina we 0,1 *mm* galynlykda parafin çaýylan kagyz ulanyldy. Bu kondensatoryň sygymyny kesgitlemeli.

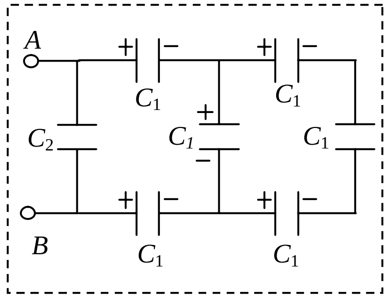
1.4.2. Elektrik sygymy C_1=3 *mkF* bolan kondensator U_1=300 *W* naprýaženiýä çenli, sygymy C_2=2 *mkF* bolan kondensator bolsa, U_2=200 *W* naprýaženiýä çenli zarýadlandyrylan. Kondensatorlaryň a) biratly; b) dürli atly plastinalary özara birikdirilen halatlarynda olaryň plastinalarynyň arasyndaky naprýaženiýäni kesgitlemeli.

1.4.3. Kondensatorlar toplumy U_0 elektrik naprýaženiýesine birikdirilende (1.4.2-nji çyzgy) ortaky C kondensatoryň zarýady nola deň boldy. Eger C_2=2C_1 we C_3=3C_1 deň bolsa C_4 kondensatoryň elektrik sygymyny kesgitlemeli.

1.4.4. Plastinalarynyň aralygy 5 *sm* bolan tekiz howa



1.4.2-nji çyzgy. *Kondensatorlaryň yzygider we parallel birikdirilişi*



1.4.3-nji çyzgy. *Kondensatorlaryň yzygider we parallel birikdirilişi*

kondensotary 200 *W* naprýaženiýä çenli zarýadlandyrylan we soňra tok çeşmesinden ýazdyrylan. Eger onuň plastinalary biri-birinden 10 *sm*-e çenli daşlaşdyrylsa kondensatordaky naprýaženiýe nähili bolar?

$$k(d_0 - d_2) = q\left(\frac{q_0/2}{2\varepsilon_0 S}\right), \qquad (6)$$

gatnaşykdan tapylýar. Munuň üçin 5-nji we 6-njy aňlatmalardan alarys:

$$4k(d_0 - d_2) = (d_0 - d_1)k,$$

$$(d_0 - d_2) = \frac{1}{4}(d_0 - d_1).$$

Ýa-da $d_1 = d_0/2$ hasaba alyp, soňky aňlatmadan gözlenilýän ululygy taparys:

$$d_2 = \frac{7}{8}d_0.$$

TALYPLARYŇ ÖZBAŞDAK TAÝÝARLYKLARYNY BARLAMAK ÜÇIN SORAGLAR

1. Geçirijiniň elektrik sygymy diýip nämä aýdylýar?
2. Nähili şertlerde geçirijiniň üstünde uly elektrik zarýadyny toplap bolar?
3. Kondensatorlar nähili maksatlar üçin ulanylýar?
4. Kondensatoryň dürli görnüşleriniň elektrik sygymynyň aňlatmasyny getirip çykarmaly.
5. Elektrik sygymyň Halkara we Gays ulgamlardaky ölçeg birlikleri.
6. Kondensatorlaryň yzygider we parallel birikdirilmeginden emele gelen toplumyň umumy sygymynyň aňlatmasyny getirip çykarmaly.

1.4 . ÝALŇYZ GEÇIRIJINIŇ ELEKTRIK SYGYMY. KONDENSATORLAR

Esasy kesgitlemeler we aňlatmalar

- Ýalňyz geçirijiniň elektrik sygymy diýip, geçirijiniň potensialyny bir birlik artdyrmak üçin zerur bolan q zarýada san taýdan deň bolan ululyga aýdylýar:

$$C = \frac{q}{\varphi}. \qquad (1.4.1)$$

- Kondensatoryň elektrik sygymy onuň plastinalarynyň arasyndaky $(\varphi_1 - \varphi_2)$ potensiallaryň tapawudyny bir birlik artdyrmak üçin zerur bolan q zarýada san taýdan deň bolan ululyga düşünilýär:

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2}. \qquad (1.4.2)$$

- Tekiz kondensatoryň sygymy:

$$C = \frac{\varepsilon_0 S}{d}, \qquad (1.4.3)$$

bu ýerde S kondensatoryň bir plastinasynyň meýdany, d olaryň arasyndaky uzaklyk.

- Geçiriji şaryň elektrik sygymy:

$$C = 4\pi\,\varepsilon_0 r. \qquad (1.4.4)$$

- Kondensatorlaryň elektrik zynjyryna birikdirilişi :

a) yzygider birikdirilen kondensatorlar toplumynyň umumy naprýaženiýesi aýry-aýry kondensatoryň naprýaženiýeleriniň algebraik jemine deňdir:

$$U = \sum_{i=1}^{N} U_i \ . \qquad (1.4.5)$$

Bu birleşmede her bir konedensatoryň we toplumyň umumy zarýady özara deňdirler:

$$q_1 = q_2 = ... = q_N = q_0. \qquad (1.4.6)$$

Yzygider birikdirilen kondensatorlaryň toplumynyň umumy sygymynyň ters ululygy bu birleşmä girýän aýry -aýry kondensatorlaryň sygymlarynyň ters ululyklarynyň jemine deňdir:

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^{N} \frac{1}{C_i} \qquad (1.4.7)$$

Kondensatorlar parallel birikdirilende umumy toplumyň zarýady bu topluma girýän aýry- aýry kondensatorlaryň zarýadlarynyň jemine deňdir

$$q_o = \sum_{i=1}^{N} q_i \ . \qquad (1.4.8)$$

Bu halda her bir kondensatoryň plastinalarynyň arasyndaky naprýaženiýe özara deňdirler:

$$U_1 = U_2 = U_3 = \ldots = U_N = U_0. \qquad (1.4.9)$$

Bu güýç kondensatoryň plastinalarynyň elektrostatik çekişme güýji bilen deňagramlaşýar:

$$F = q\frac{E}{2}. \qquad (2)$$

Bu ýerde q we E degişlilikde kondensatoryň bir plastinasynyň zarýady we onuň elektrostatiki meýdanynyň güýjenmesi. Bu aňlatmadaky $1/2$ köpeldiji doly güýjenmäniň her bir plastinanyň döredýän elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň jemine deňdiginden gelip çykýar. Kondensatoryň plastinalaryndaky potensiallaryň tapawudy

$$U = Ed = \frac{q}{C}. \qquad (3)$$

Bu ýerde $C = \varepsilon_0 S/d$ içi howaly tekiz kondensatoryň sygymy. Onda

$$k\left(d_0 - d\right) = q\left(\frac{E}{2}\right) = \frac{q^2}{2dC}. \qquad (4)$$

Kondensatoryň zarýady q_0-a deň bolan halatynda onuň plastinalarynyň arasyndaky uzaklyk d_1-e deň bolar, ýagny

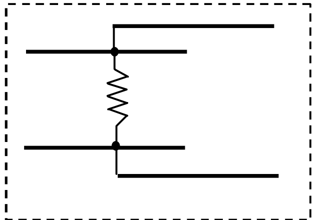
$$k\left(d_0 - d\right) = q\frac{q_0}{2dC}. \qquad (5)$$

Bu kondensator ikinji zarýadlandyrylmadyk kondensatora birikdirilende birinji kondensatoryň zarýady $q_0/2$-ä çenli, ýagny iki esse azalar. Bu halda kondensatorlaryň plastinalarynyň arasyndaky d_2 uzaklygy

$$U=\int_a^b Edr=\int_a^b \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\frac{\alpha}{r}}\frac{dr}{r^2}=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0\alpha}\int_a^b\frac{dr}{r}=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0\alpha}ln\frac{b}{a};$$

$$C=\frac{q}{U}=\frac{q}{\dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0\alpha\, ln\frac{b}{a}}}=\frac{4\pi\varepsilon_0\alpha}{ln\frac{b}{a}}. \qquad (4)$$

***M e s e l e* 1.4.3*.** Tekiz kondensatoryň plastinalary özara dielektrikden ýasalan pružin bilen birikdirilipdir (1.4.1-nji çyzgy). Başda kondensatorlaryň arasyndaky uzaklyk d_0 , kondensator zarýadlandyrylandan soňra onuň plastinalarynyň aralygy $d_1 = d_0/2$ ölçege çenli kiçelýär. Eger indi kondensatora edil öňki seredilen haldaky ýaly, zarýadlandyrylmadyk kondensator parallel birikdirilse, onda onuň plastinalarynyň arasy nähili bolar?



1.4.1-nji çyzgy. *Dielektrik pružin bilen özara birikdirilen tekiz kondensatorlar*

Ç ö z ü l i ş i :

Kondensatoryň haýsy hem bolsa bir plastinasynyň q zarýadynyň absolýut ululygy bilen onuň plastinalarynyň arasyndaky d uzaklygyň özara baglanyşygyny tapalyň. Munuň üçin kondensatoryň plastinalaryna dakylan pružiniň plastinalara edýän täsir güýjüni ýazalyň:

$$F=k(d_0-d). \qquad (1)$$

Bu ýerde k pružiniň maýyşgaklyk koeffisiýenti.

Parallel birikdirilen kondensatorlardan ybarat toplumyň sygymy aýry - aýry kondensatorlaryň sygymlarynyň jemine deňdir:

$$C_0=\sum_{i=1}^{N}C_i. \qquad (1.4.10)$$

MESELELERIŇ ÇÖZÜLIŞINE MYSALLAR

***M e s e l e* 1.4.1.** Radiuslary R_1 we R_2, potensiallary φ_1 we φ_2 bolan 2 sany zarýadlanan geçiriji şar berlen. Bu şarlar sim bilen özara birleşdirilenden soňra olaryň potensialyny we birinden beýlekisine geçen zarýadyň mukdaryny kesgitlemeli

Ç ö z ü l i ş i : Zarýadlanan geçiriji şarlaryň elektrik sygymlary 1.4.5-nji deňlige laýyklykda

$$C_1=4\pi\varepsilon_0R_1; \quad C_2=4\pi\varepsilon_0R_2 \;, \qquad (1)$$

kesgitlenilýär. Geçiriji şarlar sim bilen birikdirilmänkä olaryň zarýadlary degişlilikde

$$q_1=C_1\varphi_1=4\pi\varepsilon_0R_1\varphi_1\;; \quad q_2=C_2\varphi_2=4\pi\varepsilon_0R_2\varphi_2, \qquad (2)$$

aňladylýar. Togalak geçirijiler özara birikdirilmänkä olardaky umumy zarýadyň ululygy

$$q_1+q_2=C_1\varphi_1+C_2\varphi_2=4\pi\varepsilon_0\left(R_1\varphi_1+R_2\varphi_2\right)_1. \qquad (3)$$

Geçirijiler özara birikdirilenden soňra, olaryň arasynda zarýadlaryň paýlanyşy bolup geçer. Ýagny potensialy uly bolan geçiriji şardan beýlekisine zarýad geçer we netijede olaryň potensiallary deňleşer. Birikdirilenden soň 2-nji we 3-nji aňlatmalary

$$q_1' = 4\pi\varepsilon_0 R_1\varphi \quad ; \quad q_2' = 4\pi\varepsilon_0 R_2\varphi ;$$

$$q_1' + q_2' = 4\pi\varepsilon_0\varphi\left(R_1 + R_2\right) \quad , \qquad (4)$$

görnüşde ýazyp bolar.

Zarýadlaryň saklanma kanunyna laýyklykda özbaşdak geçiriji şarlardaky zarýadlaryň jemi olar özara birikdirilenden soňky zarýadlaryň jemine deňdir, ýagny $q_1 + q_2 = q_1' + q_2'$. Ýa-da munuň esasynda

$$4\pi\varepsilon_0\left(R_1\varphi_1 + R_2\varphi_2\right)_1 = 4\pi\varepsilon_0\varphi\left(R_1 + R_2\right) , \qquad (5)$$

deňligi ýazyp bolar. Bu ýerde R_1, R_2 geçiriji şarlaryň radiuslary, φ özara birikdirilenden soňra geçiriji şarlaryň potensialy. Indi bu deňlikden netijeleýji potensialy

$$\varphi = \frac{R_1\varphi_1 + R_2\varphi_2}{R_1 + R_2} , \qquad (6)$$

aňladyp bolar.

Bir geçiriji şarlaryň birinden beýlekisine geçen Δq zarýadyň mukdaryny

$$\Delta q = q_1 - q_1' = 4\pi\varepsilon_0 R_1\left(\varphi_1 - \varphi\right),$$

aňladylýar.

***M e s e l e* 1.4.2 .** Plastinalarynyň radiuslary degişlilikde a we b bolan sferik kondensatoryň içini doldurýan dielektrigiň:

a) ε dielektrik syzyjylygy birhilli; b) dielektrik syzyjylygy kondensatoryň merkezine çenli $\varepsilon = \alpha/r$ baglanyşyga laýyklykda (α hemişelik ululyk) üýtgeýän dielektrik bilen doldurylan halatlarynda onuň sygymyny kesgitlemeli.

***Ç ö z ü l i ş i* :** Radiuslary degişlilikde a we b bolan sferik kondensatorlaryň plastinalarynyň arasyndaky elektrostatik meýdanyň güýjenmesi

$$E = \frac{q}{4\pi\,\varepsilon\,\varepsilon_0 r^2} \quad , \qquad (1)$$

görnüşde aňladylýar.

Kondensatoryň plastinalarynyň arasyndaky potensiallaryň tapawudy elektrik meýdanyň güýjenmesi bilen:

$$dU = E\cdot dr \quad , \qquad (2)$$

baglanyşykdadyr. Ýa-da 1-nji aňlatmany 2-nji aňlatmada ornuna goýup, we ony a hem-de b çäkde integrirläp taparys:

$$U = \int_a^b E dr = \int_a^b \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r^2} dr = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon}\int_a^b \frac{dr}{r^2} =$$

$$= \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon}\left(-\frac{1}{r^2}\right)\Bigg|_a^b = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon}\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b}\right) .$$

Şeýlelikde elektrik sygymyň kesgitlemesine laýyklykda, sferik kondensatoryň sygymy:

a) $a<b$ şertde

$$C = \frac{q}{U} = \frac{q}{\frac{q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b}\right)} = \frac{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 ab}{b-a} \; ; \qquad (3)$$

b) $\varepsilon = \alpha/r$ şertde bolsa,

***M e s e l e* 2.2.2.** Nokatlanç q zarýad birhilli däl izotrop dielektrikden sferanyň merkezinde ýerleşdirilen. Bu dielektrigiň syzyjylygy $\varepsilon = \alpha / r$ kanuna laýyklykda üýtgeýär. Bu ýerde α hemişelik ululyk, r sferanyň radiusy. Gatlagyň içinde baglanyşykly (polýarlanan) zarýadlaryň göwrümleýin dykyzlygyny r-iň funksiýasy görnüşde kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i : Meseläni çözmek üçin Ostrogradskiýniň we Gaussyň teoremasyny $\boldsymbol{P}$ wektor üçin peýdalanalyň ýagny

$$\oint \boldsymbol{P}\, d\boldsymbol{S} = -q' \quad . \qquad (1)$$

Polýarlanma $\boldsymbol{P}$ wektoryň S ýapyk üst boýunça akymy bu üstüň içindäki baglanyşykly zarýadyň ters alamatyna deň. Ýapyk üst hökmünde ulgamyň merkezi bilen gabat gelýän r radiusly sfera saýlap alalyň. Bu halda 1 –nji deňligi

$$4\pi r^2 P_r = -q'(r) \ , \qquad (2)$$

görnüşde ýazyp bolar. Bu ýerde $q'(r)$ sferanyň içindäki baglanyşykly zaryad. Bu deňligi differensirläp

$$4\pi d\left(r^2 P\right)_r = -dq' \ , \qquad (3)$$

alarys. Bu ýerde dq' radiuslary r we $r+dr$ bolan sferanyň arasyndaky ýuka gatlakdaky baglanyşykly zarýad. Ol zarýady

birhilli dälliginiň derejesini häsiýetlendirýär. Eger $\alpha > \dfrac{\pi}{2}$ bolsa, F_x güýç položitel hasaplanylýar. Bu güýjüň täsiri bilen elektrik dipoly güýçli meýdana dartylýar, ýagny elektrik meýdanynda özüniň agyrlyk merkeziniň töwereginde ýerleşişini üýtgedýär.

MESELELERIŇ ÇÖZÜLIŞINE MYSALLAR

***M e s e l e* 1.5.1.** Elektrik momentleri $\boldsymbol{p}_1$ we $\boldsymbol{p}_2$ bolan iki nokatlanç elektrik dipolyň özara täsir güýjüni kesgitlemeli. Dipollaryň arasyndaky uzynlyk l-e deň $\boldsymbol{p}_1$ we $\boldsymbol{p}_2$ wektorlar dipollary birleşdirýän göni boýunça ugrugan.

Ç ö z ü l i ş i : Meseläniň şertine görä $\boldsymbol{p}_1$ we $\boldsymbol{p}_2$ wektorlar biri-birine paralleldirler. Elektrik momenti $\boldsymbol{p}_2$ bolan dipolyň elektrik meýdanynyň güýjenmesi

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{2P}{l^3} \ , \qquad (1)$$

bolsa , onda dipola täsir edýän güýji 1.5.1-nji deňlikden tapyp bolar, ýagny

$$F = P_1\left|\frac{\partial E}{\partial l}\right| \ , \qquad (2)$$

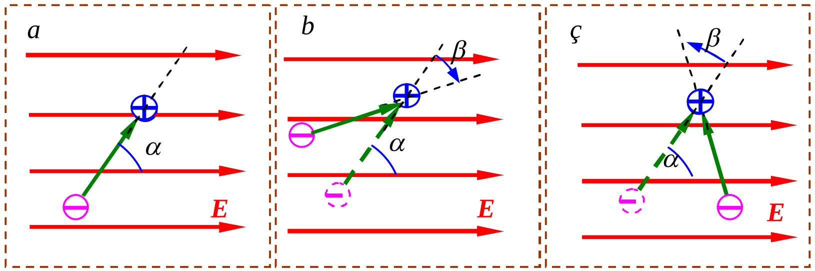
Bu 1-nji we 2-nji deňlikleriň esasynda

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{6P_1P_2}{l^4} \ , \qquad (3)$$

dipollaryň özara täsir güýjüni taparys.

***M e s e l e* 1.5.2.** Elektrik momenti $\boldsymbol{p}$=*2 nKl·m* bolan dipol *E*=30 *kW/m* güýjenmeli birhilli elektrik meýdanda ýerleşdirilen. Dipolyň $\boldsymbol{p}$ elektrik momentiniň wektory meýdanyň $\boldsymbol{E}$ wektorynyň güýç çyzyklary bilen $\alpha_0 = 60^\circ$ burç emele getirýär. Dipoly $\beta = 30^\circ$ burça öwürmek üçin daşky güýçleriň ýerine ýetiren işini kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i . Dipoly başlangyç ýagdaýyndan (1.5.1-nji *a*çyzgy) $\beta = 30^\circ$ burça iki hili, sagadyň diliniň (peýkamynyň)



1.5.1-nji çyzgy. *Birhilli elektrik meýdanyndaky dipol*

aýlanma ugruna $\alpha_1 = \alpha_0 - \beta = \frac{\pi}{3} - \frac{\pi}{6} = \frac{\pi}{6}$ (1.5.1-nji *b* çyzgy)

we onuň garşylykly ugruna $\alpha_2 = \alpha_0 + \beta = \frac{\pi}{3} + \frac{\pi}{6} = \frac{\pi}{2}$ (1.5.1-nji *ç* çyzgy) üýtgedip bolar.

Birinji halda daşky elektrik meýdanyň hut özi dipoly öwürýär. Bu iş otrisatel hasaplanylýar.

Ikinji halda bolsa, dipoly diňe daşky güýçler öwürip bilýärler. Bu şertde daşky güýçleriň ýerine ýetiren işi položiteldir.

Ýerine ýetirilýän işi iki usulda ýagny :

1) ýönekeý (elementar) işiň aňlatmasyny ýazyp, ony gös-göni integrirlemek bilen ýa-da

- Kristalyň atomynda täsir arkaly döredilen elektrik momenti

$$\boldsymbol{p} = \alpha\varepsilon_0 \boldsymbol{E} . \qquad (2.2.9)$$

Bu ýerde α atomyň polýarlanma koeffisiýenti.

MESELELERIŇ ÇÖZÜLIŞINE MYSALLAR

***M e s e l e* 2.2.1.** Alfa bölejikden *r =1 nm* daşlykda ýerleşen ýodyň atomynda $\boldsymbol{p}$ = $1{,}5 \cdot 10^{-32}$ *Kl·m* elektrik momenti döredilýär. Ýodyň atomynyň α polýarlanma koeffisiýentini kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i : Atomyň polýarlanma koeffisiýentini 2.2.10-njy aňlatmadan

$$\alpha = \frac{\boldsymbol{p}}{\varepsilon_0 \boldsymbol{E}} , \qquad (1)$$

ýazyp bolar. Bu ýerde $\boldsymbol{p}$ atomda täsir arkaly döredilen elektrik moment, $\boldsymbol{E}$ atomyň ýerleşdirilen elektrik meýdanynyň güýjenmesi.

Meseläniň şerti boýunça alfa bölejigiň döredýän elektrik meýdany lokal meýdandyr. Bu meýdanyň güyjenmesi

$$E = \frac{2e}{4\pi\varepsilon_0 r^2} , \qquad (2)$$

aňladylýar. Ýokardaky 1-nji we 2-nji deňlikleriň esasynda

$$\alpha = \frac{2\pi r^2 p}{e} = 5{,}9 \cdot 10^{-30}\ m ,$$

deňdigini hasaplarys.

aňladylýar. Ýa-da

$$N = \int_S (\varepsilon_o E + P) dS = \sum q_{erk} \quad , \qquad (2.2.4)$$

ýazyp bolar. Bu 2.2.2-nji we 2.2.5-nji deňlikleriň esasynda

$$D_n = \varepsilon_0 E + \varepsilon_0 \chi E = (1+\chi)\varepsilon_0 E = \varepsilon_0 \varepsilon E\, , \qquad (2.2.5)$$

alarys. Bu ýerde

$$\varepsilon = 1+\chi\, , \qquad (2.2.6)$$

gurşawyň dielektrik syzyjylygy.

• Güýjenmesi E_0 bolan elektrik meýdana dielektrik girizilse meýdanyň güýjenmesi ε esse azalýar, ýagny:

$$\varepsilon = \frac{E_0}{E}\, . \qquad (2.2.7)$$

Diýmek, ε dielektrik syzyjylygy bu meýdanda dielektrik ýerleşdirilende meýdanyň güýjenmesiniň wakuumdaky elekektrik meýdanyň güýjenmesinden näçe esse azalandygyny görkezýän ululykdyr.

• Kub şekilli kristallarda we suwuk dielektriklerde döredilýän lokal elektrik meýdanyň $\boldsymbol{E}_{lok}$ güýjenmesi

$$\boldsymbol{E}_{lok} = \boldsymbol{E} + \frac{1}{3}\frac{\boldsymbol{P}}{\varepsilon_0} \qquad \boldsymbol{E}_{lok} = \frac{\varepsilon + r}{2\varepsilon}\boldsymbol{E}_0 \qquad (2.2.8)$$

deňlikler bilen aňladylýar.

2) dipolyň potensial energiýasynyň üýtgemegi bilen işiň arasyndaky baglanyşykdan kesgitlenip bilner.

Ýagny birinji usul boýunça dipoly α burça öwürmek ücin ýönekeý ýerine ýetirilen iş

$$dA = M \cdot d\alpha = PEsin\alpha \cdot d\alpha \qquad (1)$$

görnüşde, ýa-da doly iş bolsa,

$$A = \int_{\alpha_0}^{\alpha} PEsin\alpha\, d\alpha = PE\int_{\alpha_0}^{\alpha} sin\alpha\, d\alpha$$

aňladylýar. Integrirlemäni amala aşyryp,

$$A = -PE(cos\alpha - cos\alpha_0) = PE(cos\alpha_0 - cos\alpha)\ , \qquad (2)$$

aňlatmany alarys.

Daşky güýçleriň işi bilen dipolyň potensial energiýasynyň arasyndaky

$$A = \Delta W_p = W_{p_2} - W_{p1}\ , \qquad (3)$$

baglanyşykdan peýdalanalyň. Bu ýerde W_{p_2} we W_{p1} degişlilikde ulgamyň başlangyç we ahyrky hallaryndaky potensial energiýalary.

Dipolyň elektrik meýdanyndaky potensial energiýasy $W=PEcos\alpha$. Oňda

$$A=PE(cos\alpha_0\text{-}cos\alpha)\ . \qquad (4)$$

Görşümiz ýaly bu işleriň ikisiniň hem ululyklary özara dendir 2-nji we 4-nji deňlikler .

TALYPLARYŇ ÖZBAŞDAK TAÝÝARLYKLARYNY BARLAMAK ÜÇIN SORAGLAR

1.Elektrik dipol diýip nämä aýdylýar?
2.Dipolyň elektrik momentini we onuň ugruny düşündiriň.
3.Dipolyň döredýän elektrik meýdanynyň güýjeňmesi nähili kesgitlenýär?
4.Elektrik meýdanyndaky dipola täsir edýän güýç nähili aňladylýar?

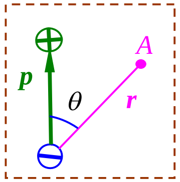
ÖZBAŞDAK ÇÖZMEK ÜÇIN MESELELER

Gönükme 1.5.

1.5.1. Biri-birinden d aralykda ýerleşen nokatlanç q zarýad bilen $\boldsymbol{p}$ elektrik momentli dipolyň arasyndaky özara täsir güýjüni kesgitlemeli. Dipolyň elektrik momentiniň $\boldsymbol{p}$ wektory dipol bilen nokatlanç zarýady birikdirýän göni boýunça ugrugan .

1.5.2. Elektrik momenti $\boldsymbol{p}$ bolan dipol $\boldsymbol{E}$ güýjenmeli elektrik meýdanynda ýerleşen. Dipolyň $\boldsymbol{p}$ we elektrik meýdanyň $\boldsymbol{E}$ wektorlary ozara parallel bolan ýagdaýynda dipoly gurşaýan deň potensially tekizlikleri sferik şekilli hasaplap, olaryň birisiniň radiusyny kesgitlemeli.

1.5.3. Elektrik momenti $\boldsymbol{p}$ bolan dipolyň döredýän elektrik meýdanynyň potensialynyň $\varphi = p{\cdot}r\ /\ 4\pi\varepsilon_0 r^3$ aňlatma deňdigini subut etmeli. Bu ýerde r radius wektor. Şu aňlatmanyň kömegi bilen dipolyň meýdanynyň güýjenmesiniň san bahasynyň r -e we θ-ä baglydygyny görkezmeli (1.5.2-nji çyzgy).



1.5.2-nji çyzgy.*Elektrik dipol*

2.2. ELEKTRIK MEÝDANYNDAKY DIELEKTRIKLER

Esasy kesgitlemeler we aňlatmalar

- Dielektrik daşky elekrik meýdanynda ýerleşdirilende onuň düzümine girýän elektrik dipollar daşky meýdanyň güýjenmesiniň ugruna tertipleşýärler. Bu hadysa dielektrikleriň polýarlanmagy diýilýär.
- **Polýarlanma wektory** göwrüm birligindäki dipol momentleriň jemine deňdir:

$$\boldsymbol{P} = \frac{\sum \boldsymbol{p}_i}{\Delta V}\ , \qquad (2.2.1)$$

- $\boldsymbol{P}$ Polýarlanma wektory bilen daşky elektrik meýdanyň $\boldsymbol{E}$ güýjenmesi

$$\boldsymbol{P} = \varepsilon_0 \chi \boldsymbol{E}\ , \qquad (2.2.2)$$

deňlik bilen baglanyşyklydyr. Bu ýerde χ dielektrik kabul edijilik koeffisiýent.

- Elektrik meýdanda ýerleşdirilen dielektrigiň üstünde döreýän polýarlanan q^{pol} zarýadlar polýarlanma wektoryň ddielektrigiň üstüne geçirilen perpendikulýaryň ugruna alnan P_n proýeksiýasy bilen

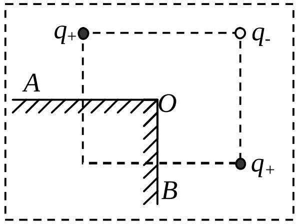
$$p_{pol} = -\oint_S P_n dS\ , \qquad (2.2.3)$$

baglanyşyklydyr.

- Içinde dielektrik bar bolan gurşaw üçin Ostrogradskiýniň we Gaussyň teoremasy

2.1.3. Iki sany q_+ we q_- ululykly nokatlanç zarýad biri-birinden l, geçiriji tekizlikden bolsa $l/2$ uzaklykda ýerleşdirilen. Her bir zarýada täsir edýän güýjüň ululygyny kesgitlemeli.

2.1.4. Üç sany dürli atly nokatlanç zarýadlar diogonaly d=50 *sm* bolan kwadratyň depelerinde (2.1.5-nji) çyzgyda görkezilişi ýaly ýerleşdirilen. Bu ýerde O nokat kwadratyň merkezi. AOB iki sany ýarym geçiriji tekizlikleriň depesindäki göni burç. Eger zarýadyň ululygy q=11*mkKl* bolanda $q_{(-)}$ zarýada täsir edýän güýji kesgitlemeli.



2.1.5-nji çyzgy. *Üst dykyzlykly zarýadyň elektrik meýdany*

2.1.5. Radiusy R bolan, q zarýad bilen zarýadlanan inçe geçiriji halka tükeniksiz geçiriji tekizlikden l uzaklykda oňa parallel ýerleşdirilen. Tekizlikde ýerleşdirilen halkada täsiri arkaly döredilen zarýadlaryň üst dykyzlygyny we halkanyň merkezinde elektrik meýdanyň potensialyny kesgitlemeli.

1.5.4. Elektrik momenti $\boldsymbol{p}$ *=100 nKl· m* bolan dipol $\boldsymbol{E}$*=150 kW/m* güýjenmeli birhilli elektrik meýdanynda erkin ýerleşdirilen. Dipoly 180^o burça öwürmek üçin ýerine ýetirilmeli işi kesgitlemeli.

1.5.5. Elektrik momenti $\boldsymbol{p}$ *=200 nKl·m* bolan dipol birhilli däl elektrik meýdanynda ýerleşdirilen. Meýdanyň birhilli dällik derejesi dipolyň okunyň ugry boýunça alnan $\partial E/\partial X$ *=1MW/m*^{2} ululyk bilen häsiýetlendirilýär. Bu ugur boýunça dipola täsir edýän güýji kesgitlemeli.

1.5.6. Elektrik momenti $\boldsymbol{p}$=5*nKl·m* bolan dipol q=100 *nKl* nokatlanç zarýadyň meydanynda, ondan r =10 *sm* uzaklykda erkin saklanylýar. Şol nokat üçin güýç çyzygynyň ugry boýunça meýdanyň birhilli dällik derejesini häsiýetlendirýän $|\partial E/\partial r|$ ululygy we dipola täsir edýän F güýji kesgitlemeli.

1.5.7. Elektrik momenti p = 4 *nKl·m* bolan dipol τ =500 *nKl / m* çyzykly zarýad bilen zarýadlanan tükeniksiz göni geçiriji sapagyň meýdanynda ondan r=10 *sm* uzaklykda erkin ýerleşdirilen. Şol nokat üçin güýç çyzygyň ugry boýunça meýdanyň birhilli dällik derejesini häsiýetlendirýän $|\partial E/\partial r|$ ululygy we dipola täsir edýän F güýji kesgitlemeli.

II. ELEKTRIK MEÝDANYNDAKY MADDALAR

2.1 ELEKTRIK MEÝDANYNDAKY GEÇIRIJILER

Esasy kesgitlemeler we aňlatmalar

- Geçirijilerdäki erkin elektronlaryň hereket ediş ukybynyň uly bolany üçin olar ujypsyzja güýjüň täsiri bilen herekete gelýärler. Geçirijidäki erkin zarýadlar deňagramlylykda bolmaklary üçin onuň içinde elektrik meýdanynyň güýjenmesi ***E***=0 bolmalydyr

$$\boldsymbol{E} = -\,\boldsymbol{grad}\,\varphi\,, \qquad (2.1.1)$$

deňlige laýyklykda geçirijiniň ähly ýeinde (üstünde-de) potensial hemişelikdir *(φ=const).*

- Elektrostatik meýdanda ýerleşdirilen geçirijiniň çäklerinde alnan islendik üst deň potensiallydyr. Islendik deň potensial üst elektrik meýdanyň güýç çyzyklaryna perpendikulýardyr.

Elektrostatik meýdanynda ýerleşdirilen geçirijilerdäki zarýadlar onuň üstünde kristallardaky iki goňşy atomyň aradaşlygynyň 2-3 uzaklygy ýaly gatlakda ýerleşýärler.

- Ostrogradskiýniň we Gausyň teoremasyna laýyklykda geçirijiniň içinde alnan islendik üst boýunça elektrik meýdanyň güýjenmesiniň wektorynyň akymy $\left(N = \int E_n ds = \sum q_i / (\varepsilon_0 \varepsilon)\right)$ nola deňdir:

$$N = \frac{\sum q_i}{\varepsilon_0 \sum \varepsilon} = 0. \qquad (2.1.2)$$

Bu ýerde $\varepsilon_0, \varepsilon$ degişlilikde elektrik hemişeligi we gurşawyň dielektrik syzyjylygy. Geçirijileriň içinde elektrik meýdanynyň

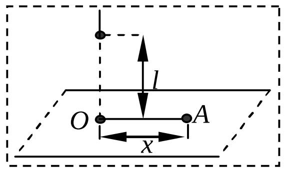
TALYPLARYŇ ÖZBAŞDAK TAÝÝARLYKLARYNY BARLAMAK ÜÇIN SORAGLAR

1.Elektrik meýdanynda ýerleşdirilen geçirijilerde bolup geçýän hadysany düşündiriň.
2.Geçirijileriň golaýynda elektrik meýdanynyň güýjenmesi nämä bagly?
3.Zarýadlaryň üst dykyzlygy geçirijiniň daşky görnüşine baglymy?
4.Elektrik şemaly barada näme bilýärsiňiz ?

ÖZBAŞDAK ÇÖZMEK ÜÇIN MESELELER

Gönükme 2.1.

2.1.1. Deňölçegli τ çyzykly zarýadlar bilen zarýadlanan örän uzyn sapak tükeniksiz geçiriji tekizlige perpendikulýar ondan l daşlykda ýerleşdirilen. Goý,O nokat sapagyň tekizlikdäki kölegesi bolsun. Tekizlikde täsir bilen döredilen zarýadlaryň σ üst dykyzlygyny: *a*) O nokatda; *b*) O nokada görä X daşlykda (2.1.4-nji çyzgy) kesgitlemeli.



2.1.4 -nji çyzgy.*Tükeniksiz geçirijiniň golaýyndaky zarýadlanan sapak*

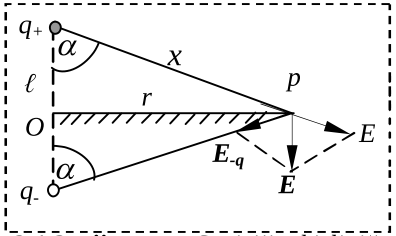
2.1.2. Geçiriji tekizlikden l =1,5 *m* uzaklykda q =100 *nKl* nokatlanç zarýad ýerleşdirilen. Bu zarýady tekizlikden örän uly uzaklyga asuwdalyk bilen süýşürmek üçin nähili iş etmeli?

Tekizlikde täsir esasynda döredilen zarýadlaryň σ üst dykyzlygyny nokatlanç zarýaddan tekizlige inderilen perpendikulýaryň esasyndan *r* aralyga baglylygyny tapmaly.

Ç ö z ü l i ş i : Meseläniň şertinde berlen geçiriji tekizlik nokatlanç zarýadyň döredýän elektrik meýdanynda bolýar we onuň üstünde bu meýdanyň täsiri netijesinde zarýadlaryň bölünişigi bolup geçýär. Geçiriji tekizligiň üstündäki bu zarýadlaryň σ üst dykyzlygyny

$$\sigma = \varepsilon_0 E_n \,, \tag{1}$$

görnüsde aňladyp bolar. Bu ýerde E_n nokatlanç zarýadyň wakuumda döredýän elektrik meýdanynyň güýjenmesi. Mesele çözmek üçin *P* nokatdaky netijeleýji elektrik meýdanyň güýjenmesini tapyp, 1-nji aňlatmada goýmaly. Munuň üçin aýna şekil usulyndan peýdalanmak zerurdyr. Aýna şekil usulyna laýyklykda *P* nokatda (2.1.3-nji çyzgy) elektrik meýdanyň güýjenmesi:



2.1.3-nji çyzgy. *Geçiriji tekizligiň golaýyndaky nokatlanç zarýad*

$$E=2E_q\cos\alpha=2\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 x^2}\frac{l}{x} \tag{2}$$

deňdir. Ýokrdaky 2-nji) we 1-nji deňliklerden

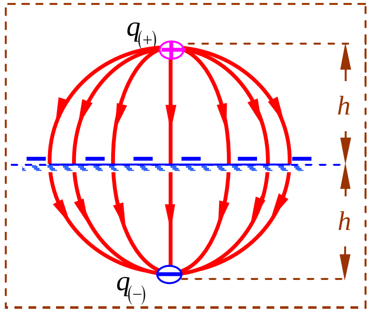
$$\sigma = -\frac{ql}{2\pi(l^2+r^2)^{3/2}} \,, \tag{3}$$

alarys. Bu 3-nji aňlatmadaky otrisatel alamat geçiriji tekizlikdäki täsir bilen döredilen zarýadlaryň *q* zarýada garşylykly alamatlydygyny aňladýar.

çeşmesi bolan zarýadlaryň ýoklugy $\left(\sum q_i = 0;\right)$ E_n=0 döredýär. Diýmek, geçirijiniň içinde alnan islendik ýapyk üstüň gabap alýan elektrik zarýadynyň algebraik jemi nola deňdir. Emma bu geçirijiniň içinde zarýad asla ýok diýildigi däl-de, olar geçirijiniň daşky üstünde ýerleşýär diýildigidir.

- **Aýna şekil usuly** elektrik meýdanyň potensialyny, güýjenmesini we ş.m.-leri kesgitlemekligi ýönekeýleşdirýän usuldyr. Mysal üçin,goý,biz +*q* zarýad bilen ondan *h* uzaklyda ýerleşen tükeniksiz ölçegli tekiz geçiriji üstüň özara täsir güýjüni hasaplamaly diýeliň. Bu zarýad geçirijide özündäki zarýadlara garşylykly alamatly zarýadlary döredýär (2.1.1-nji çyzgy).

Netijeleýji elektrik meýdany $q_{(+)}$ we geçiriji üste täsir zerarly peýda bolan $q_{(-)}$ zarýadlar tarapyndan döredilýär. Geliň $q_{(+)}$ zarýadyň geçiriji üstde edil tekiz aýnadaky uly şekilini alalyň. Ol alamaty boýunça $q_{(+)}$ zarýada ters bolar we geçiriji üstüň beýleki tarapynda ondan *h* aralykda ýerleşer. Elektrik güýç çyzyklary hemme nokatlarda geçiriji üste perpendikulýardyrlar. Indi geçiriji üst aýrylsa-da elektrik meýdanyň ululygy üýtgemez. Onda (+*q*) zarýad bilen geçiriji üstüň arasyndaky özara täsir güýjüni hasaplamak üçin bu zarýadyň geçiriji üstde alnan şekili bolan (-*q*) zarýad bilen özara täsirini hasaplamak ýeterlikdir. Bu usula aýna şekil usuly diýilýär.

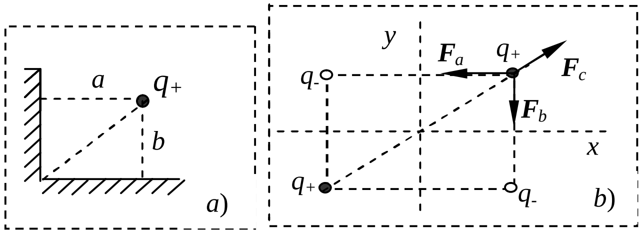


2.1.1.-nji çyzgy. *Elektrik meýdanyndaky geçiriji tekizlik*

MESELELERIŇ ÇÖZÜLIŞINE MYSALLAR

M e s e l e* 2.1.1.** Öz aralarynda göni burç emele getirýän iki sany tükeniksiz geçiriji ýarym tekizliklerden *a* we *b* daşlykda ýerleşen *q* zarýada (2.1.2-nji *a* çyzgy) täsir edýän ***F güýji kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i : Meseläniň şertinde berlen *q* zarýada täsir edýän ***F*** güýji kesgitlemek üçin geçiriji tekizliklerde agzalan zarýadyň elektrik meýdanynyň täsiri netijesinde zarýadlaryň σ üst birligi bilen paýlanylyşyny bilmeli. Soňra *q* zarýadyň ýerleşen ýerinde geçiriji tekizlikleriň döredýän elektrik meýdanynyň güýjenmesini tapmaly we agzalan ***F*** güýji kesgitlermeli. Bu usul juda kyn, sebäbi tükeniksiz geçiriji tekizlikde zarýadlaryň üst birligindäki bölünişini meseläniň şerti boýunça takyklamak mümkin däl.



2.1.2-nji çyzgy. *Golaýynda göni burç bilen kesişýän geçiriji tekizlikler bolan nokatlanç zarýad*

Aýna şekil usulyny ulanyp talap edilýän ***F*** güýji tapmak üçin *xy* koordinat oklaryň başlangyjyny geçiriji tekizlikleriň emele getirýän $\pi/2$ burçunyň depesinde ýerleşdirip, olary geçiriji tekizlik hasaplalyň. Soňra olarda *q* zarýadyň aýna şekilini (2.1.2-nji) *b* çyzgydaky ýaly edip guralyň. Bu halda geçiriji tekizliklerdäki alnan şekil zarýadlaryň döredýän elektrik meýdanlary *q* zarýadyň täsiri bilen geçiriji tekizliklerdäki σ üst dykyzlykly zarýadlaryň bölünişigi bilen döreýän elektrik meýdanyna barabardyr. Indi iş bu şekil

zarýadlaryň üçüsiniň bilelikde meseläniň şertinde berlen *q* zarýada edýän täsirini hasaplamaklyga syrykdyrylýar.

Şeýlelikde biz üç güýjiň deňtäsiredijisini tapmaly.Ýagny

$$\boldsymbol{F} = \boldsymbol{F}_a + \boldsymbol{F}_b + \boldsymbol{F}_c$$

Bu güýçleriň absolýut ululyklary degişlilikde Kulonyň kanuny boýunça:

$$F_a = \frac{q^2}{16\pi\varepsilon_0 a^2}; \qquad F = \frac{q^2}{16\pi\varepsilon_0 b^2}; \qquad F_c = \frac{q^2}{16\pi\varepsilon_0\left(a^2+b^2\right)}.$$

Bu güýçleriň *x* we y oklar boýunça proýeksiýalaryny

$$F_x = \left[-\frac{q^2}{4a^2} + \frac{q^2}{4(a^2+b^2)}\cos\alpha\right]\frac{1}{4\pi\varepsilon_0},$$

$$F_y = \left[-\frac{q^2}{4b^2} + \frac{q^2}{4(a^2+b^2)}\sin\alpha\right]\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}, ,$$

tapyp bolýar. Çyzgydan görnüşi ýaly

$$cos\alpha = \frac{a}{\sqrt{a^2+b^2}}; \qquad sin\alpha = \frac{b}{\sqrt{a^2+b^2}}.$$

Onda

$$F_x = \left[-\frac{q^2}{4a^2} + \frac{q^2 a}{4(a^2+b^2)^{3/2}}\right]\frac{1}{4\pi\varepsilon_0},$$

$$F_y = \left[-\frac{q^2}{4b^2} + \frac{q^2 b}{4(a^2+b^2)^{3/2}}\right]\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}.$$

***M e s e l e* 2.1.2.** Tükeniksiz geçiriji tekizligiň üstüne perpendikuar ℓ daşlykda *q* nokatlanç zarýad ýerleşdirilen.

$$I = \frac{dq}{dt}, \qquad (3.1.1)$$

bu ýerde *dq* geçirijiniň kese kesinden *dt* wagtda akyp geçýän zarýadlaryň mukdary.

- **Tok güýjüniň dykyzlygy (*j*)** diýip, geçirijiniň kese kesiginiň üst birliginden wagt birliginde geçýän zarýadlaryň mukdaryna aýdylýar:

$$j = \frac{dq}{dt \cdot dS} = \frac{dI}{dS} \,. \qquad (3.1.2)$$

- **Üznüksizlik teoremasy:**

Geçirijiniň *S* üsti boýunça tok güýjüniň dykyzlyk wektorynyň $\oint \boldsymbol{j}d\boldsymbol{S}$ akymy bu üst bilen çäklenen göwrümden wagt birliginde daşyna çykýan zarýadlaryň *dq* mukdaryna deňdir. Bu teorema umumy görnüşde şeýle aňladylýar:

$$\oint \boldsymbol{j}d\boldsymbol{S} = -\frac{dq}{dt}. \qquad (3.1.3)$$

Hemişelik tok üçin *dq/dt=0* bolany sebäpli agzalan teorema:

$$\oint \boldsymbol{j}d\boldsymbol{S} = 0 \,, \qquad (3.1.4)$$

görnüşe eýe bolýar.

- **Birhilli (özünde EHG-ni saklamaýan) elektrik zynjyrynyň bölegi üçin Omuň kanuny**. Özünde EHG-ni saklamaýan elektrik zynjyryň bölümindäki *I* elektrik toguň güýji geçirijiniň uçlaryndaky *U* napryaženiýä göni we geçirijiniň bu böleginiň *R* garşylygyna ters baglydyr:

$$dq' = \rho' 4\pi r^2 dr \,, \qquad (4)$$

görnüşde ρ' göwrüm zarýadlarynyň dykyzlygynyň üşti bilen aňladyp bolar. Bu deňligi göz öňünde tutup, 3 -nji aňlatmany

$$r^2 dP_r + 2rP_r dr = -\rho' r^2 dr \,.$$

Bu ýerden bolsa

$$p' = \left(\frac{dP_r}{dr} + \frac{2}{r} P_r \right). \qquad (5)$$

Meseläniň şertine görä $P_r = \chi\varepsilon_0 E_r = \frac{\varepsilon\text{-}1}{\varepsilon} D_r = \frac{\varepsilon\text{-}1}{\varepsilon} \frac{q}{4\pi r^2}$.

Degişli özgertmelerden soňra meselede talap edilýän göwrümleýin zarýadyň *r* radiusa baglylykda üýtgeýşini görkezýän aňlatmany alarys:

$$\rho' = \frac{1}{4\pi\alpha} \frac{q}{r^2} \,. \qquad (6)$$

M e s e l e **2.2.3.** Plastinalarynyň arasyndaky potensiallarynyň tapawudy 1*kW*- a deň bolan tekiz kondensatoryň içine 3*mm* galyňlykly aýna ýerleşdirilen. Aynanyň üstündäki polýarlanan zarýadlaryň dykyzlygyny tapmaly.

Ç ö z ü l i ş i : Polýar zarýadlaryň σ^p üst dykyzlygyny 2.2.3 -nji aňlatma laýyklykda:

$$\sigma^p = P_n \,. \qquad (1)$$

Ýokarda getitilen 2.2.2-nji we 2.2.4-nji deňlikleriň esaasynda

$$\boldsymbol{D} = \varepsilon_0 \boldsymbol{E} + \boldsymbol{P} \,. \qquad (2)$$

Bu ýerden bolsa,

$$P_n = D_n - \varepsilon_0 E_n \quad . \qquad (3)$$

Kondensatoryň içindäki elektrik meýdanyň ***D*** süýşme we ***E*** güýjenme wektorlary onuň içindäki aýna böleginiň we kondensatoryň plastinalarynyň üstüne normal ugrugandyklary üçin $D_n = |\boldsymbol{D}|$, $E_n = |\boldsymbol{E}|$. Wektorlaryň bu häsiýetlerini göz öňünde tutup, 3-nji we 1-nji deňliklerden $\sigma^p = D - \varepsilon_0 E$ alarys:

$$D = \varepsilon_0 \varepsilon E \quad \text{we} \quad E = \frac{\Delta\varphi}{\Delta d} \ ,$$

baglanşyklary göz öňünde tutup, gutarnykly ýazyp bolar:

$$\sigma^p = \varepsilon_0 (\varepsilon - 1) E = \varepsilon_0 (\varepsilon - 1) \frac{\Delta\varphi}{\Delta d} = 1,77 \cdot 10^{-5} \frac{Kl}{m} .$$

TALYPLARYŇ ÖZBAŞDAK TAÝÝARLYKLARYNY BARLAMAK ÜÇIN SORAGLAR

1. Polýar we polýar däl dielektrikleri häsiýetlendirmeli.
2. Dielektrikleriň polýarlanma şertlerini düşündirmeli.
3. Polýar zarýadlaryň üst dykyzlygy bilen polýarlanma wektorynyň arasyndaky baglanyşyk.
4. Izotrop dielektrikler üçin ***D*** we ***E*** wektorlaryň arabaglanyşygy we aýratynlyklary.
5. Dielektrik syzyjylygyň manysy.

III. HEMIŞELIK ELEKTRIK TOGY

Bu bölümde metallardaky, suwuklyklardaky gazlardaky, ýarymgeçirijilerdäki we wakuumdaky hemişelik elektrik togynyň kanunlary öwrenilýär. Hemişelik elektrik togunyň kanunlary bolup, elektrik toguny häsiýetlendirýän ululyklar (tok güýji, onuň dykyzlygy), dürli hilli geçirijileriň elektrik geçirijiligi, olaryň aýratynlyklary napryýaženiye, elektrik hereketlendiriji güýji (EHG) we hemişelik elektrik togunyň işi we küwwaty baradaky maglumatlar hyzmat edýärler.

Hemişelik toguň esaslaryny öwrenmeklik 2 çeşmelerden:

- Hemişelik toguň esasy kanunlarynyň nazaryýetini;
- Bu kanunlary ulanyp, dürli çylşyrymlylykdaky meseleleri çözmekligi başarmakdan ybaratdyr.

3. HEMIŞELIK TOGUŇ ESASY KANUNLARY

Esasy kesgitlemeler we aňlatmalar

• **Elektrik toguň güýji** (*I*) geçirijileriň kese kesiginden wagt birliginde akyp geçýän zarýadlaryň mukdaryna deňdir:

Gönükme 2.3.

2.3.1. Taraplary a, b we c bolan parallellopipediň göwrüminde elektrostatik meýdanyň energiýasyny tapmaly. Elektrik meýdanyň guýjenmesi $\mathbf{E} = \{0, 6x, 0\}\ W/m$ -e deň.

2.3.2. Ululygy q=5,0 nKl zarýad bilen deňölçegli zarýadlanan sferik gatlagyň merkezinde q_0=1,5 $mkKl$ nokatlanç zarýad ýerleşdirilen. Sferik gatlagy R_1=50 mm - den R_2 =100 mm - e çenli giňeltmek üçin elektrik güýçleriniň ýerine ýetirmeli işini kesgitlemeli.

2.3.3. Radiusy boýunça kiçijik ýarçygy bolan zarýadlanmadyk togalak sferik gatlagyň merkezinde (O nokatda) q nokatlanç zarýad ýerleşdirilen. gatlagyň içki we daşky radiuslary degişlilikde a we b - e deň. Bu q zarýady O nokatdan tükeniksizlige endigan süýşürmek üçin elektrik güýçleriň garşysyna nähili iş ýerine ýetirmeli?

2.3.4. Plastinalarynyň meýdany S bolan tekiz howa kondensatory berlen. Kondensatoryň plastinalarynyň zarýady we onuň naprýaženiýesi hemişelik bolan ýagdaýda onuň plastinalaryny X_1 - den X_2 aralyga süýşürmek üçin elektrik güýçleriniň garşysyna nähili iş etmeli?

2.3.5. Radiuslary R_1 we R_2 , zarýadlary q_1 we q_2 bolan iki sany inçe umumy okda ýerleşdirilen tegelek gatlakdan ybarat ulgamyň her gatlagynyň W_1 we W_2 hususy energiýasyny , gatlaklaryň W_{12} özara täsir energiýasyny we ulgamyň doly energiýasyny tapmaly.

2.3.6. Radiusy R bolan togalak geçirijiniň göwrümi boýunça q zarýad deňölçegli paýlanan. Togalak geçirijiniň hususy elektrik energiýasyny we onuň içindäki W_1 energiýanyň ony gurşap alan giňişligiň W_2 energiýasynya bolan gatnaşygyny tapmaly.

Gönükme 2.2.

2.2.1. Galyňlygy $2l$ bolan dielektrik ρ göwrüm dykyzlykly zarýad bilen zarýadlanan. Dielektrigiň içindäki we üştündäki potensialy kesgitlemeli.

2.2.2. Tekiz kondensatoryň plastinalarynyň arasynda olara parallel edilip a $=8$ mm galyňlykdaky tekiz metal bölegi ýerleşdirilen. Eger kondensatoryň plastinalarynyň meýdany $S=100\ sm^2$ we olaryň arasyndaky uzaklyk d=10mm bolsa, onda kondensatoryň elektrik sygymyny kesgitlemeli.

2.2.3. Tekiz kondensator U=200 W –a çenli zarýadlanan. Bu kondensatoryň plastinalarynyň arasyna galyňlygy l=2 mm, dielektrik syzyjylygy ε =2 bolan aýna ýerleşdirilen. Kondensatoryň plastinalaryndaky erkin we aýna bölegindäki polýar zarýadlaryň üst dykyzlyklaryny kesgitlemeli.

2.2.4. Tekiz kondensatoryň arasy onuň plastinalaryna parallel ýerleşdirilen iki gat dielektrik bilen doldurylan. Dielektrikleriň galyňlygy l_1, l_2 we dielektrik syzyjyklary $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ -a deň. Eger, kondensator U potensiala çenli sarýadlanan bolsa, dielektrigiň we kondensatoryň plastinalarynyň arasyndaky boşlukda elektrik meýdanynyň güýjenmesini kesgitlemeli.

2.2.5. Basyşy P=10 MPa bolan kriptonyň temperaturasy T=200 K . Onuň dielektrik syzyjylygyny, daşky elektrik meýdanyň güýjenmesi $E_{daş}$=1 MW/m bolanda polýarlanma wektoryny kesgitlemeli. Kriptonyň dielektrik kabuledijilik koeffisiýenti α = 4,5·10^{-20}-ä deň.

2.2.6. Suwuk benzolyň dykyzlygy d = 899 Kg/m^3, döwülme görkezijisi n=1,5. a) Benzolyň molekulalarynyň dielektrik kabul edijiligini; b) Kadaly (normal) şertlerde benzolyň buglarynyň dielektrik syzyjylygyny kesgitlemeli.

2.2.7. Tekiz kondensatoryň plastinalarynyň arasy deňölçegli iki dürli syzyjylykly dielektrik bilen doldurylan kondensatoryň sygymynyň $C = \frac{\varepsilon_0 S}{d} \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{2}$ deňdigini subut etmeli.

2.2.8. Geliý gazynyň 0^0 S temperaturada we 1 atom basyşynda syzyjylygy 1,000074 -e deň. Bu parametrli geliý gazy güýjenmesi 100 $W/\ sm$ bolan birhilli elektrik meýdanynda ýerleşdirilse, onuň atomynyň dipol momentini kesgitlemeli.

2.2.9. Seredilýän giňişligi dolduryan birhilli tekiz üstden l uzaklykda q nokatlanç zarýad ýerleşdirilen. Dielektrigiň syzyjylygy ε-a deň bolsa, onuň polýar zarýadlarynyň üst dykyzlygynyň nokatlanç zarýaddan r uzaklyga baglylygyny kesgitlemeli.

Kondensatoryň plastinalarynyň gysga utgaşdyrylan geçiriji köýen pursatyndan ulgamdan bölünip çykýan ýylylyk mukdary:

$$Q = W_0 - W_1 = \frac{q_0^2}{2C} - \frac{q_0^2}{6C} = \frac{q_0^2}{3C} = \frac{q_0 I_0^2 R^2}{3}.$$

Ýa-da bu ýylylyk energiýasyny

$$Q = \frac{q I_0 R}{3},$$

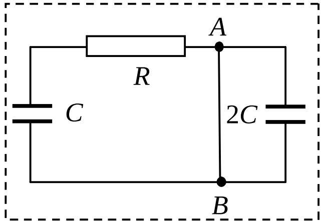
görnüşde aňladyp bolar.

TALYPLARYŇ ÖZBAŞDAK TAÝÝARLYKLARYNY BARLAMAK ÜÇIN SORAGLAR

1. Nokatlanç zarýadlar ulgamynyň özara täsir energiýasynyň aňlatmasyny getirip çykarmaly.
2. Zarýadlanan geçirijiniň we kondensatoryň energiýasynyň aňlatmasyny getirip çykarmaly.
3. Elektrostatik meýdanyň energiýasyny we onuň nirede jemlenýändigini düşündirmeli.
4. Energiýanyň göwrümleýin dykyzlygy barada maglumat.

Eger indi kondensatoryň plastinalaryndaky gysga utgaşdyrylan sim aýrylsa-da zynjyrda gysga wagtlaýyn tok (zarýadlaryň orun üýtgetmesi) ýüze çykmaz. Diýmek, zynjyrda ýylylyk mukdary hem bölünip çykmaz.

***M e s e l e* 2.3.5.** Elektrik sygymy C bolan kondensator R garşylyk we AB geçiriji arkaly zarýadsyzlandyrylýar (2.3.3-nji çyzgy). Zarýadsyzlanmada elektrik toguň güýji I_0 baha ýetende geçiriji köýýär. Şu pursatdan başlap, zynjyrda böiünip çykýan ýylylyk mukdaryny hasaplamaly.



2.3.3-nji çyzgy. *Kondensatorlardan we garşylykdan düzülen elektrik zynjyry*

Ç ö z ü l i ş i : Toguň güýji I_0 baha ýetende C kondensatoryň zarýady

$$q_0 = CU = CI_0R\,,$$

deňdir. Başlangyç halda elektrostatik meýdanyň energiýaasy

$$W_0 = \frac{q_0^2}{2C},$$

deň bolar. Bu energiýa iki kondensatoryň arasynda deňagramlaşma haly döreýänçä paýlanar. Kondensatorlarda energiýanyň durnuklaşandan soňky ulgamyň energiýasy:

$$W_0 = \frac{q_0^2}{2C_{u\lg}} = \frac{q_0^2}{6C},$$

görnüşde aňladyp bolar.

2.3 . ELEKTRIK MEÝDANYŇ ENERGIÝASY

Esasy kesgitlemeler we aňlatmalar

- Nokatlanç zarýadlar ulgamynyň özara täsiriniň energiýasy bu zarýadlary biri-birine görä tükeniksizlige göçürmek üçin ýerine ýetirilen işe

$$W = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{N} Q_i\varphi_i\,, \qquad (2.3.1)$$

deňdir. Bu ýerde φ_i i-nji zarýaddan başga N-1 zarýadlaryň hemmesi bilen döredilýän elektrik meýdanyň Q_i-nji zarýadyň ýerleşen nokadyndaky potensialy.

- Üznüksiz paýlanan zarýadlaryň özara täsiriniň doly energiýasy

$$W = \frac{1}{2}\int \rho\ \varphi\ dV\ , \qquad (2.3.2.)$$

bilen aňladylýar. Bu ýerde φ ulgamdaky hemme zarýadlarynyň dV göwrümdäki potensialy. Zarýadlanan geçirijiniň hemme nokatlarynyň potensialy deň bolandygy üçin soňky aňlatmadaky φ -ni integralyň daşýna çykarsak, galan integral geçirijiniň q zarýadyny aňladýar. Netijede zarýadlanan geçirijiniň energiýasy üçin

$$W = \frac{q\varphi}{2}, \qquad (2.3.3)$$

aňlatma alarys.

- Zarýadlanan kondensatoryň energiýasy

$$W = \frac{qU}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2}, \qquad (2.3.4.)$$

aňladylýar. Bu ýerde q kondensatoryň bir plastinasyndaky zarýad, U plastinalaryň arasyndaky potensiallaryň tapawudy, C kondensatoryň elektrik sygymy.

Zarýadlanan jisimleriň özara täsir energiýasy şol jisimiň elektrik meýdanynda jemlenendir. Diýmek,elektrik meýdanynyň energiýasy meýdanyň güýjenmesi bilen hem aňladylyp biliner. Munuň üçin (2.3.4-nji) aňlatmadaky C sygymyň deregine tekiz kondensatoryň $C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{h}$ aňlatmasyny ulanyp,

$$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{h} \frac{E^2 d^2}{2} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} Sh ,$$

ýazyp bolar. Ýa-da $Sh=V$ -digini göz öňünde tutup, bu deňligi

$$W = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \varepsilon E^2 V, \qquad (2.3.5.)$$

görnüşde aňladyp bolar. Umumy hal üçin bolsa bu aňlatmany

$$W = \int \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} dV = \int \frac{E D}{2} dV , \qquad (2.3.6.)$$

ýazyp bolar. Bu deňligiň iki tarapyny hem dV bölup, meýdanyň energiýasynyň göwrüm birligindäki gymmatyny ýazyp bolar:

$$\omega = \frac{dW}{dV} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} . \qquad (2.3.7.)$$

Ç ö z ü l i ş i : Kondensator ulgamynyň başlangyç energiýasy:

$$W_1 = C_{\text{um}} \frac{U_0^2}{2} = \frac{2}{3} C \frac{U_0^2}{2} = \frac{1}{3} C U_0^2 .$$

Kiçi sygymly kondensatoryň plastinalary özara utgaşdyrylandan soňra, diňe $2C$ kondensator zynjyra birikdirilgi bolýar we ulgamyň energiýasy:

$$W_2 = 2C \frac{U_0^2}{2} = C U_0^2 .$$

Bu halda zynjyr boýunça

$$\Delta q = 2CU_0 - C_{um} U_0 = 2CU_0 - \frac{2}{3} CU_0 = \frac{4}{3} CU_0 ,$$

goşmaça zarýad geçer. Şunlukda tok çeşmesi

$$A = \Delta q U_0 = \frac{4}{3} C U_0^2 ,$$

işi ýerine ýetirýär. Indi energiýanyň saklanma kanuny boýunça

$$W_1 + A = W_2 + Q .$$

Bu ýerden bolsa,

$$Q = W_1 + A - W_2 = \frac{1}{3} CU_0^2 + \frac{4}{3} CU_0^2 - CU_0^2 = \frac{2}{3} CU_0^2 .$$

Soňky deňlik C kondensatoryň plastinalary özara gysga utgaşdyrylanda zynjyrdan bölünip çykýan ýylylyk mukdarynyň aňlatmasydyr.

$$W_1 = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 l_1} + \frac{k(l_1 - l_2)^2}{2}.$$

Togalak geçirijileriň arasyndaky uzaklygyň iň uly bahasynda ulgamyň energiýasy

$$W_2 = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 l_2} + \frac{k(l_2 - l_0)^2}{2},$$

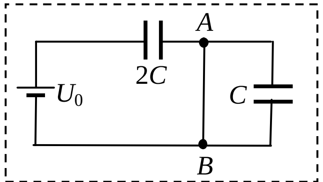
görnüşde aňladylýar. Energiýanyň saklanma kanunyna görä $W_1 = W_2$, ýa-da

$$\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 l_1} + \frac{k(l_1 - l_2)^2}{2} = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 l_2} + \frac{k(l_2 - l_0)^2}{2}.$$

Bu ýerden bolsa,

$$q = \sqrt{2\pi\varepsilon_0 k\left[(l_2 - l_0)^2 - (l_1 - l_0)^2\right] \cdot \frac{l_1 l_2}{(l_2 - l_1)}}.$$

Meseläniň şertindäki degişli ululyklardan peýdalanyp, $q = 1,4 \cdot 10^{-7} Kl$ -a deňdigini hasaplap bolar.



2.3.2-nji çyzgy. *Tok çeşmesiniň zynjyryna birikdirilen kondensatorlar*

***M e s e l e* 2.3.4*.** Çyzgyda görkezilen elektrik shemadaky C kondensatoryň plastinalary A,B nokatda geçiriji sim bilen özara birikdirilen (2.3.2-nji çyzgy). Bu halda zynjyrda näçe mukdarda ýylylyk bölünip çykar?

MESELELERIŇ ÇÖZÜLIŞINE MYSALLAR

***M e s e l e* 2.3.1.** Elektrik sygymy C_1 bolan kondensatoryň plastinalarynyň arasyndaky potensialyň tapawudy U_1 bolýança zarýadlandyrylyp, elektrik toguň çeşmesinden ýazdyrylýar. Soňra ol sygymy C_2 bolan zarýadlanmadyk kondensator bilen parallel birikdirilýär. Ikinji kondensator birikdirilende emele gelýän uçguna harç bolan energiýany tapmaly.

Ç ö z ü l i ş i : Uçgun emele gelmegine harç edilýän energiýa

$$\Delta W = W_1 - W_2, \qquad (1)$$

görnüşde aňladylýar. Bu ýerde W_1 zarýadlanan birinji kondensatoryň başdaky energiýasy, W_2 ikinji kondensator birikdirilenden soňra kondensatorlaryň energiýasy.

Indi 1-nji deňligi 2.3.4-nji aňlatmanyň esasynda ýazyp bolar:

$$\Delta W = \frac{CU_1^2}{2} - \frac{(C_1 + C_2)U_2^2}{2}. \qquad (2)$$

Bu ýerde U_2 iki kondensatoryň arasyndaky potensiallaryň tapawudy. ikinji kondensator birikdirilenden soňra zarýadyň üýtgemegini göz öňünde tutup,

$$U_2 = \frac{Q}{C_1 + C_2} = \frac{C_1 U_1}{C_1 + C_2}, \qquad (3)$$

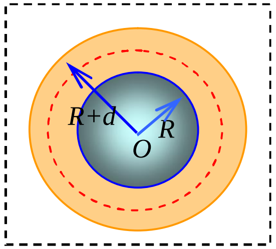
iki kondensatoryň arasyndaky potensiallaryň tapawudynyň aňlatmasyny alarys. Ýa-da bu deňligi göz öňünde tutup ýayp bolar:

$$\Delta W = \frac{C_1U^2}{2} - \frac{(C_1+C_2)C_1^2U_1^2}{2(C_1+C_2)}.$$

Ýönekeý özgertmelerden soňra meseläniň şertinde talap edilýän energiýnyň aňlatmasyny gutarnykly ýazyp bolar:

$$\Delta W = \frac{1}{2}\frac{C_1C_2}{C_1+C_2}U_1^2.$$

***M e s e l e* 2.3.2.** Radiusy R bolan togalak metal Q zarýad bilen zarýadlandyrylan. Agzalan togalak metal d galyňlykdaky parafin dielektrik gatlagy bilen gurşalan bolsa, bu gatlakdaky jemlenen elektrik meýdanyň energiýasyny tapmaly.



2.3.1-nji çyzgy. *Daşy parafin bolen örtülen zarýadly geçiriji togalak*

Ç ö z ü l i ş i : Zarýadlanan geçiriji togalak geçirijiniň döredýän elektrik meýdanynyň birhilli däldigi üçin meýdanyň energiýasy deňölçegsiz paýlanandyr. Emma zarýadlanan togalagyň simmetriýa eýe bolýandygy üçin togalagyň merkezinden deň uzaklykdaky nokatlarda energiýanyň göwrümleýin dykyzlygy birmeňzeşdir. Dielektrik gatlagyň kiçi dV göwrümindäki (2.3.1-nji çyzgy) energiýany

$$dW = \omega\, dV\ , \qquad (1)$$

görnüşde aňladalyň. Ýa-da 2.3.1-nji çyzga laýyklykda 1-nji aňlatmany integrirläp,

$$W = \int \omega\, dV = 4\pi \int_R^{R+r} \omega\, r^2\, dr\ , \qquad (2)$$

alarys. Bu ýerde r kiçi togalak gatlagyň radiusy, dr bolsa onuň galyňlygy.

Bu 2.3.5-nji deňligiň esasynda we elektrik meýdanyň güýjenmesiniň

$$E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0\, \varepsilon\, r^2}$$

deňligini hasaba alsak energiýanyň göwrüm birligindäki dykyzlygy:

$$\omega = \frac{Q^2}{32\pi^2\, \varepsilon_0 \varepsilon\, r^2}. \qquad (3)$$

Bu deňligi ulanyp, 2-nji aňlatmadan gatlakda jemlenen elektrik meýdanyň energiýasynyň aňlatmasyny gutarnykly taparys :

$$W = \frac{Q^2}{8\pi\varepsilon_0\varepsilon}\int_R^{R+d}\frac{dr}{r^2} = \frac{Q^2}{8\pi\varepsilon_0\varepsilon}\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{R+d}\right) =$$

$$\frac{Q^2 d}{8\pi\varepsilon_0\varepsilon\, R(R+d)}.$$

***M e s e l e* 2.3.3.** Ululyklary deň we biratly zarýadlandyrylan iki togalak geçiriji gatylygy $k = 20\ N/m$, uzynlygy l =4 *sm* bolan pružin bilen özara birikdirilen. Togalak geçirijiler yrgyldyly hereketde bolup, olaryň arasyndaky uzaklyk 3 *sm*-den 6 *sm* - e çenli üýtgeýär. Togalak geçirijileriň zarýadyny tapmaly.

Ç ö zü l i ş i : Meseläni energiýanyň saklanma kanunyny ulanyp çözmek amatlydyr. Togalak geçirijiler özara maksimal ýakynlaşanlarynda ulgamyň Kulon we maýyşgak güýçleri bilen şertlenen energiýasy :

•Kondensatoryň zarýadsyzlanma haly

Zarýadsyzlanma pursaty kondensatoryň üsti boýunça elektrik akym öz ugruny üýtgedýär, U_C bolsa üýtgemän galýar. Bu hal üçin Kirhgofyň deňlemeleri aşakdaky görnüşi alarlar:

$$\left.\begin{array}{l} I = I_{çy} - I_C \\ IR + U_ç = e \\ I_{çy} r = U_C \end{array}\right\}. \tag{7}$$

Bu 7- nji deňlemeler ulgamyndan 4 - nji deňligi peýdalanyp alarys:

$$I = I_{cy} - I_C = \frac{U_C}{r} - C\frac{dU_C}{dt}.$$

Bu ululygy 7 - nji deňlemeler ulgamynyň ikinji deňliginden ulanyp taparys:

$$R\left(\frac{U_C}{r} - C\frac{dU_C}{dt}\right) + U_C = e .$$

Ýa-da $t = 0$ bolanda $U_c = U_z$ we $t = \tau_{ZS}$ bolanda bolsa $U_C = U_{ZS}$. Başlangyç we ahyrky şertlerini özünde saklaýan bolan

$$-RC\frac{dU_C}{dt} = e - U_C\left(1 + R/r\right) \tag{8}$$

täze deňleme alarys.

Alnan 8 -nji deňligi integrirläp, zarýadsyzlanma wagtyny taparys:

$$I = \frac{U}{R}. \tag{3.1.5}$$

Bu aňlatma elektrik zynjyrynyň birhilli bölegi üçin Omuň kanunynyň integral görnüşidir.

•Uzynlygy l, kese kesiginiň meýdany S bolan birhilli silindr şekilli geçirijiniň garşylygy

$$R = \rho\frac{l}{S}, \tag{3.1.6}$$

deňlik bilen kesgitlenýär. Bu ýerde ρ geçirijiniň udel garşylygy. Eger geçiriji tükeniksiz uzyn bolan halatynda başda onuň dl kiçi böleginiň garşylygy $dR = \rho \cdot dl/S$ alynýar. Soňra ony geçirijiniň l uzynlygy boýunça integrirlenýär:

$$R = \frac{\rho}{S}\int_l dl . \tag{3.1.7}$$

• Udel γ geçirijilik geçirijiniň udel garşylygyna ters bolan ululykdyr:

$$\gamma = \frac{1}{\rho}. \tag{3.1.8}$$

• Geçirijiniň udel garşylygy onuň temperaturasyna baglydyr:

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t). \tag{3.1.9}$$

Bu ýerde ρ_0 geçirjiniň 0 ^0S temperaturadaky garşylygy, α garşylygyň temperatura koeffisiýenti, t geçirijiniň temperaturasy.

• Elektrik zynjyryň bölegi üçin Omuň kanunynyň differensial görnüşde aňladylyşy:

$$\boldsymbol{j} = \gamma\boldsymbol{E}. \tag{3.1.10}$$

• **Geçirijiler yzygider birikdirilende** toplumyň umumy garşylygy aýry-aýry garşylyklaryň jemine deňdir:

$$R = \sum_{i=1}^{N} R_i . \qquad (3.1.11)$$

Bu ýerde R_i - yzygider birikdirilen garşylyklar toplumynyň düzümine girýän i-nji geçirijiniň her bir iniň aýry-aýrylykdaky garşylygy, N toplumyň düzümindäki garşylyklaryň sany.

•**Geçirijiler parallel birikdirilende** olaryň umumy geçirijiligi aýry-aýry geçirijileriň geçirijiliginiň jemine deňdir:

$$\gamma_{par.} = \sum_{i=1}^{N} \gamma_i \ . \qquad (3.1.12)$$

Ýa-da başgaça geçirijilik garşylygyň ters ululygy bolany üçin, parallel birikdirmede umumy garşylygyň ters ululygy parallel birikdirilen toplumdaky geçirijileriň aýry- aýry garşylyklarynyň ters ululyklarynyň jemine deňdir:

,

$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^{N} \frac{1}{R_i} . \qquad (3.1.12')$$

•**Zynjyryň bir hilli däl, ýagny özünde EHG-ni saklaýan bölegi üçin Omuň kanuny.** Düzüminde tok çeşmesini saklaýan dakylan shemalara zynjyryň birhilli däl bölegi diýilýär. Bu bölekdäki toguň güýji onuň uçlaryndaky U napryaženiýe bilen bu bölege girýän EHG-leriň birikdirilişine baglylykda jemine ýa-da tapawudyna göni we seredilýän bölekdäki içki we daşky garşylyklaryň jemine bolsa ters proporsionaldyr:

Zarýadlanma we zarýadsyzlanma hallary üçin 2-nji we 3 -nji deňlikler ulgamynyň çözgudi dürli bolar.

•**Kondensator zarýadlanma haly.**
Bu halda $r_{çy} = \infty$, $I_ç = 0$ we 2- nji deňligiň esasynda $I = I_c$; öz gezeginde kondensatoryň zynjyryndaky tok güýji:

$$I_C = C \frac{dU_C}{dt} . \qquad (4)$$

Bu hal üçin 3 -nji deňlikler ulgamynyň birinji deňlemesine laýyklykda

$$RC\frac{dU_C}{dt} + U_C = e . \qquad (5)$$

Eger $t = 0$ bolsa, $U_C = U_{ZS}$, eger-de $t = \tau_Z$ bolsa, onda $U_C = U_Z$. Bular başlangyç we ahyrky şertlerdir. Indi 5-nji deňligi

$$\frac{dU}{e - U_C} = \frac{dt}{RC} ,$$

görnüşe getirip, integrirläp alarys:

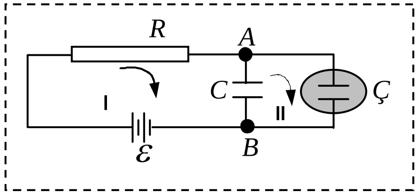
$$ln(e - U_C)\Big|_{U_{ZS}}^{U_C} = -\frac{t}{RC} .$$

Bu ýerden bolsa, zarýadlanma şerti üçin

$$\tau_Z = RC\, ln\frac{e - U_{ZS}}{e - U_Z} , \qquad (6)$$

bolar.

Ç ö z ü l i ş i : Elektrik generatoryň çyzgysy 3.1.2-nji çyzgyda görkezilen. Kadalaşan iş halynda kondensatorlaryň plastinalaryndaky U_c potensiallaryň tapawudy $U_ý > U_c > U_s$ çäkde üýtgeýär. Bu ýerde U_s çyranyň sönme potensialy. Kondensatoryň zarýady diňe ululygy boýunça üýtgeýär, alamaty bolsa hemişelik bolup galýar.



3.1.2-nji çyzgy. Elektrik zynjyry

Elektrik generatordaky signalyň τ yrgyldy periodyny kondensatoryň τ_Z zarýadlanma we τ_{ZS} zarýadsyzlanma wagtlary bilen aňladyp bolar:

$$\tau = \tau_Z + \tau_{ZS} \qquad (1)$$

Zynjyrdaky toguň takmyn üýtgemeýänligi sebäpli $U_C = (t)$ kondensatoryň napryaženiýesiniň wagta baglylygyny kesgitlemek üçin Kirhgofyň dužgünlerini peýdalanalyň. Bu zynjyrda A we B iki düwün bolandygy üçin Kirhgofyň birinji düzgüni boýunça bir deňleme ýazalyň:

$$I = I_c + I_{çy} . \qquad (2)$$

Bu ýerde I çeşmeden gelýän toguň güýji, I_c kondensatoryň, $I_{çy}$ bolsa, neonly çyranyň zynjyrlaryndan geçýän toguň güýçleri.

Çyzgyda görkezilen I we II ýapyk kontura seredeliň. Kontur boýunça aýlanmanyň položitel ugry hökmünde sagat peýkamjygynyň aýlanma ugruny kabul edeliň. Onda I we II konturlar üçin:

$$\left.\begin{aligned} IR + U_C &= e \\ I_{çr} r + U_C &= 0 \end{aligned}\right\} \qquad (3)$$

$$I = \frac{U \pm \sum_{i=1}^{N} e_i}{\sum R_i}. \qquad (3.1.13)$$

Eger zynjyryň bölümindäki EHG geçirijidäki položitel zarýadlaryň hereketine päsgelçilik döretmeýän, bolsa onda 3.1.13-nji deňlikdäki e-niň alamaty položitel, tersine eger-de bölümdäki EHG geçirijidäki položitel zarýadlaryň tertipli hereketine päsgelçilik döredýän bolsa, onda onuň alamaty otrisatel edilip alynýar.

•**Ýapyk zynjyr üçin Omyň kanuny.** Ýapyk zynjyrdaky I tok güýjüniň ululygy zynjyrda bar bolan e EHG-leriniň algebraik jemine göni, zynjyryň R_g daşky we r içki garşylyklarynyň jemine bolsa, ters proporsionaldyr:

$$I = \frac{\sum_{t=1}^{N} e_i}{R_g + r}, \qquad (3.1.14)$$

• **Tok çeşmesiniň EHG-si diýip,** birlik položitel zarýady göçürmek üçün tebigaty elektrostatik bolmadyk, ýagny gaýry meýdanlaryň ýerine ýetirýän A^* işine san taýdan deň bolan ululyga düşünilýär:

$$e = \frac{A^*}{q}. \qquad (3.1.15)$$

Kirhgofyň düzgünleri:

1.Şahalanan elektrik zynjyryň düwünine girýän we ondan çykýan tok güýçleriniň algebraik jemi nola deňdir:

$$\sum_{i=1}^{N} I_i = 0 . \qquad (3.1.16)$$

Elektrik zynjyryň düwüni diýip, iki we köp geçirijileriň birigýän nokadyna düşünilýär.

2.Ýapyk konturyndaky napryýaženiýäniň IR pese düşmekleriniň jemi bu konturdaky täsir edýän e EHG-leriň algebraik jemine deňdir:

$$\sum_{i=1}^{N} I_i R_i = \sum_{\kappa=1}^{N} e_\kappa . \qquad (3.1.17)$$

• **Lensiň we Joulyň kanuny. Elektrik toguň işi.** Zynjyrdan tok akyp geçende onuň ýerine ýetirýän, işi geçirijiden bölünip çykýan ylylyk mukdaryna deňdir ($A=Q_{L\,J.}$). Bu ýylylyk mukdary bolsa, geçirjiden akyp geçýän I elektrik toguň güýjüniň kwadratyna, geçirjiniň R garşylygyna we toguň akýan wagtynyň t dowamlylygyna baglydyr:

$$A = Q_{L.J.} = I^2 R t = IUt = \frac{U^2}{R} t . \qquad (3.1.18)$$

• **Elektrik toguň kuwwaty.** Elektrik toguň kuwwaty onuň wagt birliginde eden işine deňdir :

$$P = \frac{A}{t} = \frac{qU}{t} = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R} . \qquad (3.1.19)$$

• **Tok çeşmesiniň işi.**

$$A = e I t = I^2 R t = \frac{e^2}{R} t . \qquad (3.1.20)$$

Položitel alamatly zarýad bilen zarýadlandyrylan geçirijiniň üstüni jebis gurşap alan S bütewi üst bilen örteliň . Indi aýratynlykda ulgamyň R garşylygyny we C sygymyny hasaplalyň.

Zynjyryň bölegi üçin Omuň kanunyndan:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{U}{\oint j_n dS} = \frac{U}{\gamma \oint E_n dS} \quad , \qquad (1)$$

bu ýerde $j_n = \gamma E_n$. Ulgamyň sygymy $C = q / U$, indi Ostrogradskiýniň we Gaussyň teoremasyndan $q = \oint D_n dS = \varepsilon_0 \varepsilon \oint E_n dS$ bolany üçin

$$C = \frac{q}{U} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon \oint E_n dS}{U} , \qquad (2)$$

indi 1-nji we 2-nji deňlikleriň esasynda

$$RC = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon}{\gamma} = \varepsilon_0 \varepsilon \rho \qquad (3)$$

Diýmek, RC ýagny ulgamyň durnuklaşma (relaksasiýa) wagty ulgamyň ε dielektrik syzyjylygyna we ρ udel garşylygyna baglydyr.

***M e s e l e* 3.1.5*.** Ýanma potensialy $U_ý$ bolan neonly çyradan, C sygymly kondensatordan, neonly çyranyň ýanma potensialyndan sähelçe uly bolan e EHG-li elektrik tok çeşmesinden we R garşylykdan ybarat elektrik generatoryň (3.1.2-nji çyzgy) durnuklaşan iş haly üçin yrgyldynyň bir periodyny kesgitlemeli. Zarýadsyzlanma bolmadyk pursaty çyranyň garşylygy tükeniksiz, zarýadlanma halynda bolsa, ol r-e deň. Zynjyrdan geçýän tok takmyn durnukly (kwazistasionar).

ýazyp bolar. Bu deňlikden görnüşi ýaly seredilýän hal üçin *I*-niň *t* wagta baglylygy çyzykly däldir. Şonuň üçin hem bu ýerde 1-nji deňligi ulanyp bolmaz. Elektrik toguň güýjüniň wagta baglylygyny *dq=Idt* ulanyp, *t* wagt aralygyndaky doly zarýady $q = \int_0^t Idt$ görnüşde aňladyp bolar. Ÿa-da 3-nji deňligi ulanyp,

$$q = \int_0^t \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R_0 + kt} dt = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{k} ln \frac{R_0 + kt}{R_0}$$

alarys. $R=(\varphi_1-\varphi_2)/I$, $R_0=(\varphi_1-\varphi_2)/I_0$ gatnaşyklary we 2-nji deňligi göz öňünde tutup, zarýad üçin ýazylan aňlatmany

$$q = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2)t}{R - R_0} ln \frac{R}{R_0} = \frac{I_0 It}{I_0 - I} ln \frac{I_0}{I}$$

görnüşe getirip bolar. Bu deňlikdäki ululyklaryň san bahasyny ýerine goýup, q=69 *Kl* -dygyny kesgitläris.

***M e s e l e* 3.1.4.** Erkin görnüşli iki geçiriji çäksiz , birhilli, ρ udel garşylykly we ε dielektrik syzyjylygy bolan gowşak geçiriji gurşawda ýerleşdirilen. Bu ulgam üçin *RC* köpeltmek hasylyny kesgitlemeli (*R* geçirijileriň arasyndaky gurşawyň garşylygy, *C* gurşaw bar halatynda geçirijileriň döredýän ulgamynyň sygymy).

Ç ö z ü l i ş i : Hyýalymyzda geçirijileriň birini $q_{(+)}$ beýlekisini bolsa, $q_{(-)}$ zarýad bilen zarýadlandyralyň. Zarýadlandyrylan geçirijileriň arasyndaky gurşaw gowşak geçiriji bolany üçin geçirijileriň üsti deňpotensiallydyrlar we meýdanyň güýç çyzyklarynyň daşky görnüşi gurşawa bagly däldir.

Bu ýerde e tok çeşmesiniň EHG-si, *R* zynjyryň doly garşylygy (daşky we içki garşylyklarynyň jemi).

Tok çeşmeleriniň birikdirilişi:

•Birmeňzeş e_i ululykly EHG - si bolan *N* sany elektrik tok çeşmesiniň **yzygider birikdirilen toplumynyň** umumy EHG – si onuň duzumine girýän tok çeşmeleriniň birisiniň EHG – sinden *N* esse köpdür:

$$e_g = N e_i . \qquad (3.1.21)$$

•Birmeňzeş e_1 EHG- li *N* sany tok çeşmesiniň **parallel birikdirilen toplumynyň** umumy EHG – si olaryň birisiniň EHG- sine deňdir:

$$e = e_1 . \qquad (3.1.22)$$

•Tok çeşmesiniň η peýdaly täsir koeffisiýenti (PTK) onuň daşky zynjyrda bölüp çykarýan P_p peýdaly kuwwatynyň çeşmäniň P_d doly (içki we daşky zunjyrdaky) kuwwatyna bolan gatnaşygyna deňdir :

$$\eta = \frac{P_p}{P_g} 100\% = \frac{U}{e} 100\% . \qquad (3.1.23)$$

Bu ýerde $P_p = UI$ tok çeşmesiniň daşky zynjyrdaky peýdaly kuwwaty , $P_g=I^2(R+r)=e\,I$ bolsa, çeşmäniň doly kuwwaty.

MESELELERIŇ ÇÖZÜLIŞINE MYSALLAR

***M e s e l e* 3.1.1.** Umumy oky bolan hyýaly (ideal) geçirijilikli iki ýuka silindrleriň arasy ρ birhilli udel garşylykly gowşak geçiriji ulgam bilen doldurylan. Silindrleriň radiuslary *a* we *b* (*a*>*b*) we olaryň her biriniň uzynlygy *l*, gyradaky hadysalary göz öňünde tutman, silindrleriň arasyndaky gurşawyň garşylygyny kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i : Meseledaki gurşawyň garşylygyny kesgitlemek üçin 3.1.6 – njy deňligi gös – göni ulanyp bolanok. Sebäbi agzalan deňlik bütewi silindr geçirjilere niýetlenendir. Eger silindrler boýunça *I* tok güýji akdyrylsa, birhilli elektrik zynjyry üçin Omuň (3.1.5-nji deňlik) kanunyndaky *R* meseledäki gowşak geçiriji ulgamyň garşylygyny aňladar. Şerte görä silindrler hyýaly geçirijidirler. Ýokarda getirilen 3.1.6-njy deňligi ulanyp, silindrlerden akýan elektrik togunyň güýjüni onuň geometrik ölçegleri bilen baglanyşdyralyň.Yagny:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{S}{\rho}\frac{U}{l}. \qquad (1)$$

Ýa- da Omuň kanunynyň differensial görnüşine geçip, bu deňligi

$$j = \gamma E \ , \qquad (2)$$

görnüşde ýazyp bolar.

Koaksial silindrlerden akýan elektrik toguň güýjüni onuň dykyzlygynyň üsti bilen hem aňladyp bolar :

$$I = \int_s jdS = \gamma \int_s EdS \ . \qquad (3)$$

Ostrogradskiýnin we Gaussyň teoremasy boýunça

2). Geçirijiniň uçlaryndaky potensiallaryň tapawudy hemişelik saklanyp, görkezilen wagt aralygynda geçirijiniň garşylygy deňölçegli artýar.

Ç ö z ü l i ş i : 1). Geçirijiniň kese kesiginden *dt* wagt birliginde akyp geçýän *dq* zarýadyň mukdary (3.1.1) deňlik arkaly toguň güýji bilen baglanyşyklydyr. Eger kiçi *dq* we *dt* ululyklara derek zarýadyň we wagtyň gutarnykly *q* we *t* ululyklaryny alsak, onda agzalan wagt aralygynda geçirijiden geçen toguň güýjüniň orta bahasyny $I_{ort}=q / t$ aňladyp bolar. Bu ýerden bolsa, $q=I_{0rt}\ t$ alarys.

Meseläniň şerti boýunça toguň güýji deňölçegli üýtgeýändigi sebäpli onuň I_{ort} bahasy $I_{ort} = (I_0+I) / 2$.

Diýmek ,

$$q = \frac{I_0 + I}{2} t = 75\ Kl \qquad (1)$$

Bu halda meseläniň şertine laýyklykda geçirijiniň *R* garşylygy deňölçegli artýar. Bu bolsa, *R* garşylygyň *t* wagt bilen

$$R= R_0 + kt, \qquad (2)$$

aňlatma laýýklykda çyzykly baglanyşyklydygyny aňladýar. Bu ýerde R_0 we *R* degişlilikde geçirijiniň başdaky we ahyrky garşylygy, *k* garşylygyň *t* wagta laýyklykda üýtgeýiş tizligini görkezýän hemişelik ululyk.

Zynjyryň bölegi üçin Omuň kanunyny 3.1.5 –nji deňliginde 2-nji aňlatmany ulanyp,

$$I = \frac{U}{R} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R_0 + kt} \ , \qquad (3)$$

ýagny

$$I_y = \frac{I}{4}, \qquad (7)$$

we

$$I_z = \frac{I_y}{2} = \frac{I}{8}, \qquad (8)$$

alarys.

Şunlukda 3-nji deňlik boýunça

$$U_{AB} = 2I_x R = \frac{6}{8} IR = \frac{3}{4} IR \quad . \qquad (9)$$

Agzalan *A* we *B* nokatlaryň arasyndaky potensiallaryň tapawudyny zynjyryň bölegi üçin Omuň kanuny boýunça aňladalyň:

$$U_{AB}=IR_{AB}\,. \qquad (10)$$

Bu ýerde R_{AB} kubuň *A* we *B* düwünleriniň arasyndaky umumy garşylyk. Soňky iki deňlikden alarys:

$$R_{AB} = \frac{3}{4} R \qquad (11)$$

Bu deňlik bilen aňladylan garşylyk meseläniň şertinde soralýan garşylykdyr.

***M e s e l e* 3.1.3.** Eger *t=10 s* wagt aralygynda geçirijidäki toguň güýji I_0=10 *A*-den *I*=5*A*-e çenli azalan bolsa, geçirijiden nähili zarýad geçer ? Iki hala seretmeli:

1). Toguň güýji deňölçegli azalýar;

$$\int_s E dS = \frac{\rho V}{\varepsilon_0}$$

Onda 3-nji deňligiň esasynda silindrlerden akýan toguň güýjüni

$$I = \gamma \frac{q}{\varepsilon_0}, \qquad (4)$$

görnüşe getireris. Hyýalymyzda silindrler garşylykly $q_{(-)}$ we $q_{(+)}$ alamatly zarýad bilen zarýadlanan hasaplalyň. Gowşak geçiriji gurşawyň garşylygyny 4-nji deňlikden kesgitlemek üçin silindrleriň haýsy hem bolsa birsindäki *q* zarýady onuň sygymynyň üsti bilen (*q= C U*) aňladyp alarys:

$$I = \gamma \frac{CU}{\varepsilon_0}. \qquad (5)$$

Ya-da 5-nji we 6-njy aňlatmalary deňeşdirme usuly bilen taparys :

$$R = \frac{\varepsilon_0}{\gamma C} = \rho \frac{\varepsilon_0}{C} \quad . \qquad (6)$$

Şeýlelikde, gowşak geçiriji gurşawyň garşylygyny koaksial silindrleriň emele getirýän silindr görnüşinäki kondensatoryň *C* sygymynyň we gurşawyň ρ udel garşylygynyň üsti bilen aňlatdyk.

Elektrostatikadan mälim bolşy ýaly, silindr şekilli kondensatoryň sygymy:

$$C = \frac{2\pi\varepsilon l}{ln\, b/a}. \qquad (7)$$

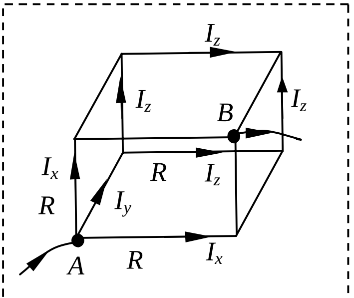
Onda 6 – njy deňligi gutarnykly

$$R = \rho \frac{\ln\frac{b}{a}}{2\pi l}\ , \qquad (7)$$

görnüsde aňladyp bolar.

Diýmek, meselede agzalan gowşak geçiriji gurşawyň R garşylygyny 7 – nji deňlik bilen kesgitläp bolar.

***M e s e l e* 3.1.2.** Kubuň gapyrgalary biri – biri bilen onuň depelerinde birmeňzeş R garşylykly geçirjilerden düzülen. Kubuň şol bir granynyň gapma – garşylykly A we B depeleri elektrik toguň çeşmesine birikdirilen (3.1.1-nji çyzgy). Zynjyryň umumy garşylygyny kesgitlemeli.



3.1.1-nji çyzgy. Geçiriji kub

Ç ö z ü l i ş i : Meseläniň şertine görä kubuň A we B depeleri elektrik togunyň çeşmesine birikdirilen. Goý, A nokat elektrik togunyň çeşmesiniň položitel gysgyjyna dakylan bolsun. Onda AB aralygyň garşylygyny kesgitlemek üçin kubuň simmetriýa häsiýetine eýedigini hasaba alyp, onuň gapyrgalary boýunça akýan elektrik togunyň güýçlerini 3.1.1-nji çyzgydaky ýaly belläliň. Krihgofýn birinji düzgünini A düwüne ulanalyň:

$$I = 2I_x + I_y \qquad (1)$$

Öz gezeginde

$$I_y = 2I_z\ . \qquad (2)$$

Çyzgydaky A we B nokatlaryň arasyndaky potensiallaryň tapawudy elektrostatikadan mälim boluşy ýaly, aralygyň garşylygyna we ol aralykdan geçýän elektrik toguň güýjüne baglydyr:

$$U_{AB} = 2I_x R\ , \qquad (3)$$

Kubuň simmetriýa häsiýetlerine eýedigini hasaba alyp, öz gezeginde :

$$I_x = I_y + I_z\ . \qquad (4)$$

Onda 3-nji deňlik

$$2I_x R = 2(I_y + I_z)\ R\ , \qquad (5)$$

görnüşe geler. Bu ýerde R kubuň bir gapyrgasynyň garşylygy. Şunlukda 1-nji – 5-nji deňlikler üç sany I_x, I_y we I_z tok güýçlerini özünde saklaýar. Geliň, olaryň ululyklaryny bu deňlemelerden peýdalanyp tapalyň. Ÿagny 4-nji deňlikden I_z -iň bahasyny tapyp, ony 2-nji deňlikde ornuna goýalyň:

$$I_z = I_x - I_y\ ; \quad I_y = 2\ (I_x - I_y)\ ; \quad I_y = \frac{2}{3} I_x\ .$$

Ýa-da bu ýerden :

$$I_x = \frac{3}{8} I\ . \qquad (6)$$

deňligi alarys.

Edil şonuň ýaly çemeleşip,

$$I_y = I - 2I_x = I - I\frac{6}{8} = \frac{1}{4} I\ ,$$

garşylygy bolan ikinji reostat bilen çalşyryp bolar. Şunlukda $R/2$ we R garşylyklar parallel birikdirilendir. Bu halda zynjyrdaky toguň güýji :

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{U}{\frac{5}{6}R} = \frac{6U}{5R}.$$

bolar. Bu ýagdaýda goşmaça garşylykdaky naprýaženiýe :

$$U_{1g} = U - I_1\frac{R}{2} = U - \frac{6}{5}\frac{U}{R}\frac{R}{2} = U - \frac{3}{5}U = \frac{2}{5}U .$$

Eger-de daşky garşylyk $2R$ –e deň bolsa, onda tok güýji :

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{U}{\frac{R}{2} + \frac{(R/2)2R}{R/2+2R}} = \frac{10}{9}\frac{U}{R}.$$

Goşmaça garşylykdaky naprýaženiýesi bolsa

$$U_{2g} = U - I_2\frac{R}{2} = U - \frac{10}{9}\frac{U}{R}\frac{R}{2} = U - \frac{5}{9}U = \frac{4}{9}U ,$$

deňdir.

Şeýlelikde, daşky garşylykdaky naprýaženiýe

$$k = \frac{U_{2g}}{U_{1g}} = \frac{4}{9}U\frac{5}{2U} = \frac{10}{9},$$

esse üýtgär.

$$\tau_{zs} = RC\, ln\frac{e - U_z(1 + R/r)}{e - U_{zs}(1 + R/r)} \quad . \qquad (9)$$

Soňra 6 -njy we 5 -nji deňlikleri peýdalanyp $\tau = \tau_Z + \tau_{ZS}$ - ni kesgitleýäris.

Eger $r << R$ hasap etsek, onda kondensatoryň zarýadsyzlanma pursatynda elektrik çyranyň garşylygyny hasaba almasak hem bolar. Bu ýagdaýda 9 - njy deňlikdäki logarifmanyň aşagyndaky aňlatma U_Z/U_{ZS} deň bolar. Bu ululyk takmyn bire deňdir. Şonuň üçin hem $\tau_{zs} << \tau_z$ we naprýaženiýäniň U_Z -dan U_{ZS} - e çenli pese düşmegi takmynan pursatlaýyň (mgnowen) bolup geçýär.

Eger $r \approx R$ bolsa, onda $e \le U_z(1+R/r)$ yrgyldyly hal bozulýar we zynjyrdan

$I = I_{cy} - r/(R+r)$ we $I_C = 0$ hemişelik elektrik togy geçer.

***M e s e l e* 3.1.6.** Elektrik zynjyrynda (3.1.3.- nji çyzgy) şekillendirilen tok çeşmeleriniň EHG-leri e_1=8*W*; e_2=6*W* we garşylyklaryň R_1 = 4 *Om*, R_2 = 6 *Om*, R_3 = 8 *Om* ululyklarynda , R_2 garşylygyň uçlaryndaky naprýaženiýäniň pese düşmegini kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i : Çyzgydaky *AB* nokatlaryň arasyndaky U_{AB} naprýaženiýäniň ululygyny tapmak üçin Kirhgofyň düzgünlerinden peýdalanalyň. Onuň üçin I we II ýapyk konturlarda elektrik togyň položitel ugry hökmunde sagat peýkamynyň aýlanma ugruny, tok çeşmeleriniň içinde bolsa, otrisatel gysgyçdan položitel gysgyja akýan togy kabul edeliň.

Elektrik shemadaky (3.1.3-nji çyzgy) A düwün üçin Kirhgofyň birinji düzgünini ulanalyň:

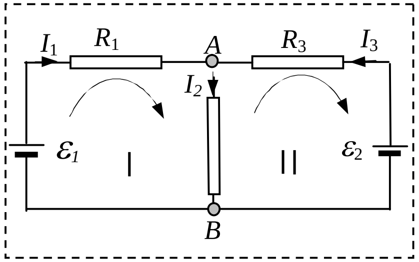
$$I_1 + I_3 - I_2 = 0 \ . \qquad (1)$$

Çyzgydaky I we II konturlar üçin Kirhgofyň ikinji düzgüni esasynda:

$$I_1R_1 + I_2R_2 = e_1 \ , \qquad (2)$$
$$-I_3R_3 - I_2R_2 = -e_2 .$$

Ýa –da

$$R_3 + I_2 R_2 = e_2 . \qquad (3)$$



3.1.3-nji çyzgy. Ýapyk elektrik zynjyry

Zynjyryň birhilli bölegi üçin Omuň kanunyna laýyklykda :

$$U_{AB} = I_2 R_2 . \qquad (4)$$

Diýmek, meseläni çözmeklik I_2 tok güýjüni tapmaga syrykdyrylýar. Munuň üçin 2-nji we 3-nji deňliklerdäki e_1, e_2, R_1, R_2, we R_3 ululyklaryň meseläniň şertine görä 2 we 3-nji deňlikler boýunça:

$$4I_1 + 6I_2 = 8, \qquad (5)$$
$$8I_3 + 6I_2 = 6.$$

Ýa-da

$$4I_3 + 3I_2 = 3.$$

Bu deňliklerden I_1 -iň bahasy:

$$\varphi_B = \varphi_D - U_1 . \qquad (6)$$

Ýokardaky 6-njy we 2-nji deňliklerden:

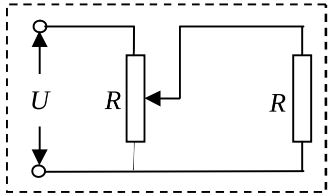
$$\varphi_A - \varphi_B = \varphi_D - IR_1 - (\varphi_D - U_1) = U_1 - IR_1 .$$

Indi 5-nji we 1-nji deňliklerden U_1-iň we I –niň bahalaryny soňky aňlatmada goýup alarys :

$$\varphi_A - \varphi_B = e\frac{C_2}{C_1 + C_2} - \frac{e}{R_1 + R_2}R_1 = e\left(\frac{C_2}{C_1 + C_2} - \frac{R_1}{R_1 + R_2}\right). \qquad (7)$$

San bahalaryny goýup taparys $\varphi_A - \varphi_B = 3W.$

M e s e l e 3.1.12*. Goşmaça R garşylykdaky napryaženiýäni sazlamak üçin (3.1.8-nji) çyzgyda şekillendirilen elektrik zynjyry ýygnalypdyr. Goşmaça garşylygyň we sazlaýjy reostatyň garşylyklary R-e deň. Daşky R garşylyk reostatyň ýarysyna birikdirilipdir. Girişdäki napryaženiýe hemişelik we U-a deň. Eger-de goşmaça garşylygyň bahasy iki esse artdyrylsa, ondaky napryaženiýe nähili üýtgär?

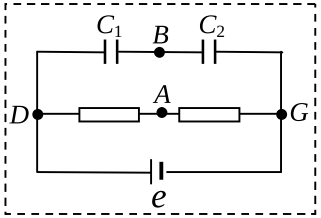


3.1.8 -nji çyzgy.
Garşylyklardan düzülen elektrik zynjyry

Çözülişi: Reostaty goşmaça garşylyk bilen birlikde

$$R_1 = \frac{R}{2} + R' = \frac{R}{2} + \frac{R\frac{R}{2}}{R + \frac{R}{2}} = \frac{R}{2} + \frac{R^2}{3R} = \frac{R}{2} + \frac{R}{3} = \frac{5}{6}R$$

Çö z ü l i ş i : Shemadaky (3.1.17-nji çyzgy) eR_1AR_2e ýapyk zynjyr üçin



3.1.7-nji çyzgy. *Tok çeşmesinden, kondensatorlardan we garşylyklardan düzülen elektrik zynjyry*

$$I=\frac{e}{R_1+R_2}\,. \qquad (1)$$

Omuň kanuny bilen kesgitlenilýän toguň ugry sagat peýkamynyň ugry bilen gabat gelýär.

Elektrik meýdanyň A nokatdaky potensialy D nokatdaka garanyňda IR_1 ululyga kiçidir:

$$\varphi_A=\varphi_D-IR_1\,. \qquad (2)$$

Kondensatorlaryň napryaženiýelerini degişlilikde U_1 we U_2 bilen belgiläp,

$$e=U_1+U_2 \qquad (3)$$

aňlatmany ýazyp bolar. Kondensatorlar yzygider birikdirilendigi üçin, olardaky zarýadlaryň ululygy özara deňdir:

$$C_1U_1=C_2U_2\,. \qquad (4)$$

Ýokardaky 3-nji we 4-nji aňlatmalardan C_1 kondensatordaky napryaženiýäni kesgitläliň:

$$U_1=e\frac{C_2}{C_1+C_2}\,. \qquad (5)$$

Elektrik zynjyryndaky B nokadyň potensialy D nokatdaky potensialdan U_1 ululyga kiçidir:

$$10I_2 - 4I_3 = 8,$$

alarys, bu ýerden bolsa:

$$4I_3 = 10I_2 - 8.$$

gelip çykýar. Indi bolsa, $4I_3$ - iň bahasyny 6- njy deňlikde goýup taparys:

$$I_2=\frac{11}{13}A\,.$$

Soňra bolsa , meselede soralýan U_{AB} - niň bahasyny taparys:

$$U_{AB}=I_2R_2=\frac{11}{13}6W\approx 5W\,.$$

M e s e l e 3.1.7* **.** Çyzgyda (3.1.4 -nji çyzgy) görkezilen $A_{ç2}$ açar birikdirilen pursatynda $A_{ç1}$ - açar utgaşdyrylýar we kondensatordaky zarýadlar özüniň iň uly ululygyna ýetenden soň, $A_{ç2}$ açar ýazdyrylýar. Elektrik zynjyrynda görkezilen ululyklary göz öňünde tutup, C_2 kondensatoryň toplan iň uly zarýadyny kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i : Çyzgydaky $A_{ç1}$ we $A_{ç2}$ açarlar utgaşdyrylgy halatynda zynjyrda elektrik togy C_1 kondensatoryň zarýady q_1 baha ýetýänçä akar. C_1 kondensatoryň zarýady özüniň q_1 iň uly bahasyna eýe bolanda zynjyrdaky tok nola deň bolar. Bu pursatda tok çeşmesiniň işi C_1 kondensatoryň elektrik meýdanynyň W_1 energiýasyna deň bolar:

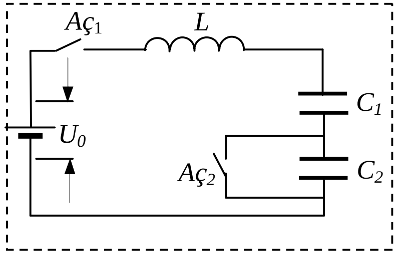
$$A_1 = W_1. \qquad (1)$$

Ýa- da

$$U_0 = \frac{q_{1\,iň\,uly}^2}{2C_1},$$

bu erden

$$q_{1iňuly} = 2C_1U_0.$$



3.1.4-nji çyzgy Elektrik zynjyry

Bu ýerde U_0 tok çeşmesiniň gysgyçlaryndaky potensiallaryň tapawudy. A_1 açar ýazdyrylandan soňra bu $q_{1iň\ uly}$ zarýad C_1 we C_2 kondensatoryň özara birikdirilen plastinalarynyň arasynda " gabalandyr " . Goý, açar ýazdyrylandan käbir wagt geçenden soňra C_2 kondensatorda q_2 zarýad toplanan bolsun.

Eger C_1 kondensatoryň zarýady q_1-e çenli artan bolsa, onda ol q_2 zarýad bilen aşakdaky ýaly baglanşykdadyr:

$$q = q_{1\ iň\ uly} + q_2 \ . \qquad (2)$$

Indi C_2 kondensatoryň $q_{2\ iň\ uly}$ iň uly zarýadyny tapmak üçin ýene- de energiýanyň saklanma kanunyndan peýdalanalyň. Açar A_2 ýazdyrylandan soňra tok çeşmesiniň işi kondensatoryň energiýasynyň artmagyna deňdir:

$$A_{el\,çeş} = \Delta W\,; \qquad A_{el\ çeş} = q_{2\ iň\ uly}\,U_0. \qquad (3)$$

Kondensatoryň energiýasynyň üýtgemegi:

$$\Delta W = \frac{(q_{1iňuly} + q_{2iňuly})^2}{2C_1} + \frac{q_{2iňuly}^2}{2C_2} - \frac{q_{1iňuly}^2}{2C_1}. \qquad (4)$$

$$\frac{I_2 + I_3}{I_3} = \frac{U_1 - U_2}{U_2 - U_3}. \qquad (5)$$

Başga tarapdan bolsa, $I_1 = \dfrac{U_1}{r}$, $I_2 = \dfrac{U_2}{r}$, $I_3 = \dfrac{U_3}{r}$, onda

$$\frac{I_2 + I_3}{I_3} = \frac{U_2 + U_3}{U_3} \qquad (6)$$

Soňky 5-nji we 6-njy aňlatmalary özara deňläp taparys:

$$U_2^{(1,2)} = \frac{-U_3 \pm \sqrt{U_3^2 + 4\left(U_3^2 + U_3U_1\right)}}{2} = -\frac{U_3}{2} \pm \sqrt{\frac{U_3^2}{4} + U_3^2 + U_3U_1}.$$

$$U_2^{(1)} = -\frac{U_3}{2} + \sqrt{\frac{U_3^2}{4} + U_3^2 + U_3U_1}.$$

$$U_2^{(2)} = -\frac{U_3}{2} - \sqrt{\frac{U_3^2}{4} + U_3^2 + U_3U_1}.$$

Birinji kök meseläniň şertini kanagatlandyrýar, diýmek ikinji woltmetr $U_2 = 8{,}6\ W$ napryaženiýäni görkezer.

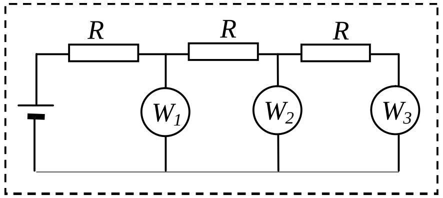
M e s e l e **3.1.11***. Elektrik zynjyryň AB nokatlarynyň arasyndaky potensiallaryň tapawudyny kesgitlemeli (3.1.7-nji çyzgy). Shemadaky ulanylan gurluşlaryň ululyklary: C_1=0,1 *mkF;* C_2 =0,2 *mkF;* R_1=1 *Om;* R_2 =2 *Om;* e=3W. Tok çeşmesiniň içki garşylygyny hasaba almaly däl. Kondensatorlar tok çeşmesine birikdirilmänkä zarýadlandyrylmadyk.

$$e=\sqrt{4rP_{iňuly}}=\sqrt{\frac{4P^2_{iňuly}}{I^2_{iňuly}}}=\frac{2P_{iňuly}}{I_{iňuly}}. \qquad (6)$$

Diýmek,

$$e=\frac{2P_{iňuly}}{I_{iňuly}}=2W .$$

***M e s e l e* 3.1.10[*].** Elektrik zynjyry birmeňzeş ululykly R garşylyklardan we içki garşylyklary özara deň bolan woltmetrlerden düzülen (3.1.6-njy çyzgy). Eger birnji woltmetr U_1=10 W we üçinji woltmetr U_3 =8 W napryaženiýäni gärkezýän bolsa, ikinji woltmetriň görkezýän napaženiýesi näçe bolar?



3.1.6 njy çyzgy. Yzygider birikdirilen garşylyklar

Ç ö z ü l i ş i : Çyzgydaky her bir garşylygy R bilen belläp ýazyp bolar:

$$U_3 + I_3R = U_2 . \qquad (1)$$

$$U_2 + (I_2 + I_3)\,R = U_1 . \qquad (2)$$

Bu ýerden

$$RI_3 = U_2 - U_3 . \qquad (3)$$

$$R(I_2 - I_3) = U_1 - U_2 . \qquad (4)$$

Bu 3-nji we 4-nji deňliklerden:

Ýagny :

$$q_{2iňuly}U_0=\frac{(q_{1iňuly}+q_{2iňuly})^2}{2C_1}+\frac{q^2_{2iňuly}}{2C_2}-\frac{q_{iňuly}}{2C_1}.$$

Bu erden bolsa:

$$q_{2iňuly}U_o=\frac{q^2_{1iňuly}}{2C_1}+\frac{q_{1iňuly}q_{2iňuly}}{2C_1}+\frac{q^2_{2iňuly}}{2C_1}+\frac{q^2_{2iňuly}}{2C_2}-\frac{q^2_{1iňuly}}{2C_1}.$$

Diýmek,

$$U_0=\frac{q_{1iňuly}}{2C_1}+\frac{q_{2iňuly}}{2C_1}+\frac{q_{2iňuly}}{2C_2}.$$

Ýa- da

$$\frac{q_{2iňuly}}{2}\left(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}\right)=U_o-\frac{q_{1iňuly}}{C_1}$$

Bu aňlatmany 1- nji deňligiň esasynda

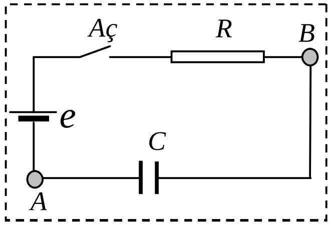
$$\frac{q_{2iňuly}}{2}\left(\frac{C_1+C_2}{C_1C_2}\right)=U_0-\frac{2C_1U_o}{C_1}=-U_o,$$

görnüşe getirip bolar, ýa- da

$$q_{2iňuly}=-2U_o\frac{C_1C_2}{C_1+C_2}=-\frac{2C_1C_2U_0}{C_1+C_2}. \qquad (5)$$

Bu 5-nji aňlatmanyň sag tarapyndaky minus alamaty biziň öňki q_1 zarýad köpelýär diýen çaklamamyzyň nädogrydygyny, ýagny q_1 zarýadyň azalýandygyny aňladýar. Özi hem C_2 kondensatoryň ýokarky plastinasynda otrisatel aşaky plastinasynda bolsa, položitel zarýad toplanar.

***M e s e l e* 3.1.8.** Elektrik zynjyrynda (3.1.5 -nji çyzgy) görkezilen ululyklardan peýdalanyp, kondensatoryň plastinalaryndaky zarýadyň wagta baglylykda üýtgeýiş kanunyny tapmaly. Kondensator zarýadlandyrylanda tok çeşmesiniň ýerine ýetirýän işini we şol wagtda zynjyrdan bölünip çykýan ýylylyk mukdaryny kesgitlemeli.



3.1.5-nji çyzgy. *Elektrik zynjyry*

Ç ö z ü l i ş i : Meseläni çözmek üçin energiýanyň saklanma kanunyndan peýdalanalyň. Bu kanuna laýyklykda tok çeşmesiniň işi daşky zynjyrdaky bölünip çykýan Lensiň we Joulyň ýylylygynyň we zarýadlanan kondensatoryň energiýasynyň jemine deňdir:

$$dA_z = dQ_{L.J} + dW_C \ . \tag{1}$$

Bu ýerde dW_C dt wagt aralygynda kondensatoryň energiýasynyň artmagy. Ňazaryýetden mälim bolşy ýaly:

$$dA_z = e\,Idt; \qquad dQ_{(L.J.)}=I^2Rdt \quad \text{we} \qquad dW_C = d\left(\frac{q^2}{2C}\right) = \frac{qdq}{C}.$$

Bu deňlekleri göz öňünde tutup, 1-nji deňlemäni aşakdaky görnüşe getireris:

$$e\,Idt = I^2Rdt + q\frac{dq}{C} \ . \tag{2}$$

$$\frac{dP}{dR} = O \ , \tag{3}$$

şert ýerine ýetse, daşky zynjyrdan iň uly kuwwat bölünip çykýar. Ýokardaky 2- nji deňligi we 3- nji şerti göz öňünde tutup, iň uly daşky garşylygy kesgitläliň:

$$\frac{d}{dR}\left[\frac{e^2R}{(R+r)^2}\right] = \frac{e^2(R+r)^2 - e^2R\cdot 2(R+r)}{(R+r)^2} = 0 \, .$$

Ýa- da bu ýerden

$$(R+r)^2 - 2R(R+r) = 0 \ ;$$

$$(R+r)(R+r-2R) = 0,$$

$$R+r-2R = 0.$$

Agzalan 3-nji deňligiň şertine laýyk gelýän iň uly garşylyk:

$$R = R_{iň\,uly} = r \, . \tag{4}$$

Diýmek, 1 - nji deňlik boýunça

$$P_{iňuly} = I^2_{iňuly}r \ .$$

Bu ýerden bolsa,

$$r = \frac{P_{iňuly}}{I^2_{iňuly}} = 0{,}2\,Om \, . \tag{5}$$

Indi 4 -nji şerti hasaba alyp , 2 -nji deňlemeden tok çeşmesiniň EHG -sini taparys:

baglanyşygy alarys. Bu baglanyşygy göz oňünde tutup, (7) -nji deňlikden alyp bolar:

$$Q_{(L.J.)}=\frac{\varepsilon^2}{R^2}R\int_0^\infty e^{-\frac{2t}{CR}}dt=\frac{C\varepsilon^2}{2}.$$

Bu bolsa, ýylylyk balansynyň deňlemesi boýunça alnan 6 -njy deňlikdir.

***M e s e l e* 3.1.9*.** Birhilli däl ýapyk zynjyrdaky tok güýji I= 5 A bolanda onuň daşky zynjyrdan bölünip çykýan peýdaly kuwwat özüniň iň uly $P_{i.u.}$=5 W bahasyna eýe bolýar. Tok çeşmesiniň içki garşylygyny we elektrik hereketlendiriji güýjüni kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i : Lensiň we Joulyň kanuny boýunça zynjyryň daşky R garşylygynda bölünip çykýan peýdaly P_p kuwwat

$$P_p=I^2R\ , \tag{1}$$

bu ýerde I birhilli däl zynjyrdan akýan toguň güýji. Ýapyk zynjyr üçin Omuň kanunyna laýyklykda :

$$I=\frac{\varepsilon}{R+r}.$$

Muny göz öňunde tutup, 1 - nji deňligi ýazalyň :

$$P_p=\frac{\varepsilon^2R}{(R+r)^2}\ . \tag{2}$$

Eger

1.Kondensatoryň plastinalaryndaky potensiallaryň tapawudy tok çeşmesiniň ε EHG- sine deň bolýança , ýagny kondensatorda $q=C\varepsilon$ zarýad toplanýança, zynjyrdan akýan I tok güýji

$$I=\frac{dq}{dt}\ , \tag{3}$$

görnüşde aňladylýar.

2 - nji deňligi dt - ä gysgaldyp we 3- nji deňligi göz öňünde tutup alarys:

$$\varepsilon=\frac{dq}{dt}R+\frac{q}{C}.$$

Ýa- da ony :

$$\varepsilon=\frac{CRdq+qdt}{Cdt}.$$

Bu ýerden bolsa,

$$\varepsilon Cdt=CRdq+qdt\ .$$

Soňky deňligi $dt(C\varepsilon-q)=CRdq$,

görnüşe getirip bolar. Ýa-da bu deňligi:

$$\frac{dt}{CR}=\frac{dq}{C\varepsilon-q}.$$

Elektrik zynjyryndaky $Aç$ açar utgaşdyrylandan soňra wagtyň 0- dan käbir t-e çenli aralygynda kondensatoryň zarýady 0- dan q- a çenli üýtgeýär. Şonuň üçin ahyrky deňligi degişlilikde ýokarda agzalan çäkde integrirläp alarys:

$$\int_0^t \frac{dt}{CR} = \int_0^q \frac{dq}{C\mathcal{E} - q}.$$

ýagny, $\dfrac{t}{CR} = -ln\dfrac{C\mathcal{E} - q}{C\mathcal{E}}$ Bu deňlik potensirlenenden soňra

$$q = C\mathcal{E}\left[1 - exp\left(-\frac{t}{CR}\right)\right], \qquad (4)$$

görnüşi alar. Ondan görnüşi ýaly kondensatorda toplanýan zarýad özüniň iň uly $C\mathcal{E}$ bahasyna asimtotiki ýakynlaşýar, ýagny $t \to \infty$ wagtda q özüniň maksimal bahasyna ýeter.

2. Kondensatoryň zarýadlanma wagtynyň bütin dowamynda $(t \to \infty)$ tok çeşmesiniň ýerine ýetirýän işi:

$$A_z = \int_0^\infty \mathcal{E}\, I dt\ .$$

Tok çeşmesinden dt wagtda akyp geçýän zarýadlaryň mukdarynyň 3 -nji deňligiň esasynda $dq = Idt$ we kondensatoryň zarýadlanmasynyň dowamlygynda tok çeşmesinden q gutarnykly zarýadyň geçýändigini göz öňünde tutup, ýokarky deňlikden

$$A_z = \mathcal{E}\int_0^q dq = C\mathcal{E}^2\ , \qquad (5)$$

alarys.

3. Kondensatoryň zarýadlanma pursatynda zynjyrdaky R garşylykda bölünip çykýan $Q_{(L.J.)}$ ýylylyk mukdaryny 1- nji deňlemeden ýazarys.

$$Q_{(L.J.)} = A_z - W\,.$$

Bu ýerde $W = q_k^2/(2C) = C\mathcal{E}^2/2$, zarýadlanan kondensatoryň energiýasydyr. Onda 5- nji deňligi göz öňünde tutup,

$$Q_{(L.J.)} = \frac{C\mathcal{E}^2}{2}, \qquad (6)$$

meseläniň şertinde talap edilýän, daşky zynjyrdan bölünip çykýan ýylylyk mukdaryny alarys.

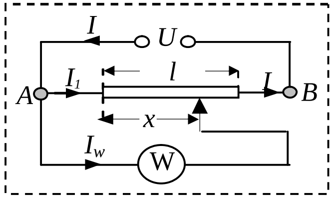
Bellik. Daşky zynjyrdan bölünip çykýan, 6 - njy deňlik bilen aňladylan ýylylyk mukdaryny başga usul bilen, ýagny Lensiň we Joulyň kanunynyň üsti bilen hem alyp bolar. Lensiň we Joulyň kanuny boýunça $t_1 = 0$ -dan $t_2 = \infty$ - e çenli wagt aralygynda bölünip çykýan $Q_{(L.J.)}$ ýylylyk mukdaryny

$$Q_{(L.J.)} = \int_0^\infty I^2 R dt,$$

gornüşde alalyň. Bu deňlikdäki I tok güýjüni 3- nji deňlik boýunça ondaky q zarýada derek bolsa, 4- nji deňligi ulanyp,

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} exp\left(-\frac{t}{CR}\right)\ ,$$

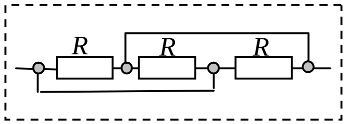
3.3.6 Uzynlygy l bolan reostat potensiometr hökmünde U naprýaženiýeli elektrik zynjyryna birikdirilen. Reostatyň garşylygy R_0. Potensiometriň aşaky uçlarynyň biri bilen onuň süşýän ujunyň (kontaktynyň) arasyna potensiometrden alynýan naprýaženiýäni görkezýän woltmetr birikdirilen (3.3.1-nji çyzgy). Eger woltmetriň içki garşylygy R_w bolsa, onuň görkezýän ululygy reostatyň süýşýän ujunyň ornuna nähili bagly bolar?



3.3.1-nji çyzgy. Ýapyk elektrik zynjyry

3.3.7. Içki garşylygy r bolan hemişelik tok çeşmesine 3.3.2-nji çyzgyda görkezilişi ýaly birdeň R ululykly üç garşylyk birikdirlen. R-iň nähili bahasynda ondan bölünip çykýan ýylylyk kuwwaty iň uly baha eýe bolar?

3.3.8. Tok çeşmesine ýzygiderli birikdirlen iki woltmetr dakylsa, olar U_1=6 W we U_2=3 W ululygy görkezýärler. Eger tok çeşmesine woltmetrleriň diňe birinjisi dakylsa ol U_3=8 W naprýaženiýe görkezýän bolsa, çeşmäniň e EHG-sini kesgitlemeli.

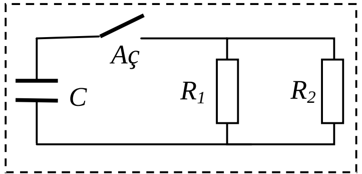


3.3.2-nji çyzgy. Garşylyklaryň birikdirilişi

3.3.9. Eleektrik zynjyry e EHG-li hemişelik tok çeşmesinden, oňa yzygider birikdirilen R garşylykdan we C kondensatordan ybarat. Tok çeşmesiniň içki garşylygy hasaba alardan has kiçi. Başlangyç $t=0$ pursatda kondensatoryň sygymy çalt η esse peseldilen bolsa, zynjyrdaky toguň wagta baglylyk funksiýasyny kesgitlemeli.

3.3.10. Çyzgyda (3.3.3-nji çyzgy) görkezilen tok çeşmeleriniň EHG-leri e we e_0, garşylyklary R we R_0, şeýle hem kondensatoryň sygymy C. Kondensatoryň 1-nji plastinasyndaky q_1 zarýady kesgitlemeli. Tok çeşmeleriniň içki garşylygyny hasaba almaly däl.

***Mesele* 3.1.13*.** Sygymy C bolan kondensator U naprýaženiýä çenli zarýadlandyrylyp, R_1 we R_2 garşylyklar bilen elektrik zynjyryna (3.1.9-njy) çyzgyda görkezilişi ýaly edilip birikdirilen. Kondensatoryň zarýadsyzlanmagy netijesinde R_1 garşylykda bölünip çykýan ýylylyk mukdaryny kesgitlemeli.



3.1.9-njy çyzgy. *Garşylyklardan we kondensatordan düzülen elektrik zynjyry*

Çözülişi: Parallel birikdirilendikleri üçin R_1 we R_2 garşylyklaryň uçlaryndaky naprýaženiýe özara deňdir. Bu garşylyklaryň üstündäki toguň kuwwaty degişlilikde :

$$P_1 = \frac{U^2}{R_1}, \quad P_2 = \frac{U^2}{R_2} \ . \tag{1}$$

Bu garşylyklardan bölünip çykýan ýylylyk mukdarlarynyň gatnaşygy olaryň degişli garşylyklarynyň ters gatnaşyklary ýalydyr:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_2}{R_1} . \tag{2}$$

Bu garşylyklardan bölünip çykýan umumy ýylylyk mukdary

$$Q = Q_1 + Q_2 \ . \tag{3}$$

Bu ýylylyk kondensatorda toplanan energiýa deňdir:

$$Q = \frac{1}{2} C U^2 \ . \tag{4}$$

Onda 2-nji we 3-nji aňlatmalardan :

$$Q_1 = \frac{R_2}{R_1} Q_2 = \frac{R_2}{R_1} (Q - Q_1) .$$

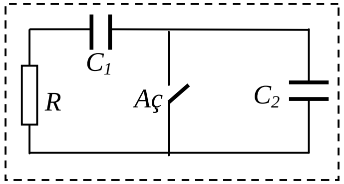
Ýa-da bu ýerden:

$$Q_1 \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) = \frac{R_2}{R_1} Q \ .$$

Bu ýerden bolsa:

$$Q_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} Q \ = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \frac{1}{2} C U^2 .$$

***M e s e l e* 3.1.14 *.** Zynjyrdaky C_1 kondensator R garşylyk arkaly zarýadsyzlanýar (3.1.10-njy çyzgy). Tok güýji I_0 baha ýetende *Aç* açar ýazdyrylýar. Şol pursatdan başlap, garşylykda bölünip çykýan Q ýylylyk mukdaryny kesgitlemeli.



3.1.10-njy çyzgy.
Kondensatorlardan we garşylykdan düzülen elektrik zynjyry

Ç ö z ü l i ş i : Garşylygyň üstünden geçýän toguň güýji I_0 ululyga ýeten pursatynda C_1 sygymly kondensatoryň zarýady

$$q_1 = C_1 I_0 R . \qquad (1)$$

Şol wagtda kondensatorda toplanan energiýa :

$$W_1 = \frac{q_1^2}{2C_1} . \qquad (2)$$

Açar ýazdyrylandan soňra, kondensator doly zarýadsyzlanan halatynda onuň umumy zarýady q_1 bolar. Her bir kondensatorlaryň

syzyjylygy ε. Geçiriji şarlaryň arasyndaky U naprýaženiýe hemişelik saklanýan bolsa, gurşawyň garşylygyny tapmaly.

Gönükme 3.3.

3.3. ÝAPYK ZYNJYR ÜÇIN OMUŇ KANUNY

3.3.1. Akkumulýator käbir daşky garşylyk bilen utgaşdyrylan. Bu zynjyra özara parallel birikdirilen iki sany ampermetr dakylsa , olar I_1=2 *A* we I_2= 3 *A* tok güýjüni görkezýärler. Eger ampermetrler özara yzygider birikdirilip, zynjyra dakylsa , olar I_3=4 *A* tok güýjüni görkezýärler. Zynjyrda ölçeýji abzal bolmadyk halatynda ondan nähili tok geçer?

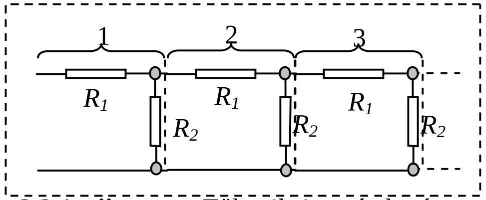
3.3.2. Galyňlygy b we ε dielektrik syzyjylykly dielektrigi tekiz kondensatoryň içine ϑ tizlik bilen salynýar. Kondensatoryň plastinalarynyň arasyndaky uzaklyk d . Kondensatordan we oňa yzygider birikdirilen e EHG.-li çeşmeden ybarat zynjyrdaky I tok güýjüni kesgitlemeli.

3.3.3. Ululygy R_1=2 *Om* bolan daşky garşylyga birikdirilen batareýa I_1=1,6 *A* tok güýjüni berýär. Daşky garşylyk R_2=1 *Om* bolanda şol bir batareýa zynjyrda I_2=2 *A* tok güýjüni döredýän bolsa, batareýanyň içindäki kuwwatyň ýitgisini kesgitlemeli.

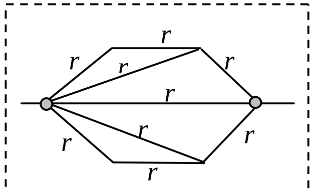
3.3.4. Ululygy R_1=10 *Om* bolan garşylyga birikdirlen batareýa I_1= 3 *A* tok berýär. Eger batareýa R_2=20 *Om* garşylyga birikdirilse, onuň berýän tok güýji I_2= 1,6 *A* deň bolsa, batareýanyň e EHG-sini we onuň r içki garşylygyny kesgitlemeli.

3.3.5. Zarýadlandyrmanyň ahyrky pursatynda tok güýji I_1=3*A*, akkumlýator batareýasyna birikdirilen woltmetriň görkezýän naprýaženiýesi bolsa, U_1=4,25 *W*. Zarýadsyzlanmanyň başlangyç pursaty batareýa I_2=4 *A* tok güýjüni berýär we woltmetr U_2=3.9 *W* naprýaženiýe görkezýär. Batareýanyň e EHG-sini we r içki garşylygyny hasaplamaly.Woltmetriň içki garşylygy örän uly.

udel garşylygy poladyň udel garşylygyndan 10 esse, dykyzlygy bolsa, 1, 07 esse uly.



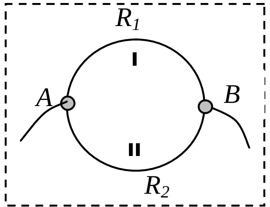
3.2.1-nji çyzgy. Tükeniksiz gaýtalanýan elektrik zynjyry



3.2.2-nji çyzgy. *Dürli hilli birikdirilen garşylyklar*

3.2.7. Ýogynlyklary deň bolan mis we grafit sterženler yzygider birikdirilen. Olaryň uzynlyklarynyň nähili gatnaşyklarynda bu ulgamyň garşylygy temperatura bagly bolmaz.

3.2.8. Uzynlygy l, kese kesiginiň meýdany S we garşylygy R_0 bolan geçiriji halkanyň (3.2.3-nji çyzgy) garşylygy n esse azalar ýaly, tok geçiriji simleri onuň niresine birikdirmeli?



3.2.3nji çyzgy.
Tegelek geçiriji

3.2.9. Temperaturasy 0^0S bolan bir geçirijiniň garşylygy ikinji geçirijiniň garşylygyndan n esse, üçinjiniň garşylygyndan bolsa m esse kiçi. Geçirijileriň garşylyklarynyň termiki koeffisiýentleri degişlilikde α_1, α_2 we α_3 . Bu garşylyklardan yzygider birikdirilip, alnan geçirijiniň garşylygynyň termiki koeffisiýentini kesgitlemeli .

3.2.10. Radiusy a bolan metal şar ýuka b radiusly sfera bilen örtülen. Bu elektrodlaryň arasyndaky giňişlik ρ udel garşylykly, birhilli gowşak geçiriji gurşaw bilen doldurylan. Elektrodlaryň arasyndaky giňişligiň garşylygyny kesgitlemeli.

3.2.11. Birmeňzeş a radiusly iki sany şarlar gowşak geçirýän çäksiz gurşawda biri beýlekisinden $l >> a$ uzaklykda ýerleşdirilen. Gurşawyň udel garşylygy ρ, dielektrik

plastinalarynyň arasyndaky napryýaženiýe özara deňdir. Bu şertleri iki deňleme görnüşinde ýazalyň:

$$q_1' + q_2' = q_1, \quad \frac{q_1'}{C_1} = \frac{q_2'}{C_2}. \qquad (3)$$

Bu ýerde q_1' we q_2' zarýadsyzlanmanyň ahyrynda degişlilikde C_1 we C_2 kondensatorlardaky zarýadlar. Bu 3-nji aňlatmadan:

$$q_1' = q_1 - q_2' = q_1 - \frac{q_1'}{C_1}C_2,$$

$$q_1' + \frac{q_1'}{C_1}C_2 = q_1,$$

$$q_1' = \frac{q_1C_1}{C_1+C_2}, \quad q_2' = \frac{q_1C_2}{C_1+C_2},$$

gelip çykýar.

Zarýadsyzlanmadan soň ulgamyň doly energiýasy :

$$W_2 = \frac{(q_1')^2}{2C_1} + \frac{(q_2')^2}{2C_2} = \left(\frac{q_1C_1}{C_1+C_2}\right)^2 \frac{1}{2C_1} + \left(\frac{q_1C_2}{C_1+C_2}\right)^2 \frac{1}{2C_2} =$$

$$= \frac{q_1^2}{2(C_1+C_2)}.$$

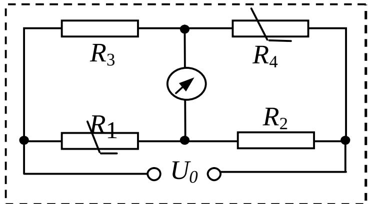
Şol wagtyň dowamynda garşylykda bölünip çykýan ýylylyk mukdary:

$$Q = W_1 - W_2 = \frac{q_1^2}{2C_1} - \frac{q_1^2}{2(C_1+C_2)}.$$

Ýa-da 1-nji deňligi hasaba alyp, R garşylykda bölünip çykýan ýylylyk mukdaryny hasaplamaga mümkinçilik berýän aňlatmany alarys:

$$Q=\frac{(I_0R)^2C_2}{2(C_1+C_2)}.$$

***M e s e l e* 3.1.15 *.** Elektrik zynjyry her birisiniň garşylygy R bolan iki sany birmeňzeş R_2, R_3 rezistordan we R_1, R_4 çyzykly däl rezistordan ybarat (3.1.11-nji çyzgy). Bu R_1, R_4 rezistorlaryň wolt-amper häsiýetnamasy $U=\alpha I^2$ (α belli bolan hemişelik koeffisiýent) görnüşe eýedir. Iýmitlendiriş çeşmesiniň haýsy U_0 napryýaženiýesinde galwanometrden akýan tok nola deň bolar ?



3.1.11-njy çyzgy. *Yzygider we parallel birikdirilen rezistorlardan düzülen elektrik zynjyry*

Ç ö z ü l i ş i : Rezistorlardaky napryýaženiýeleriň arasynda

$$\frac{U_1}{U_2}=\frac{U_3}{U_4}, \qquad (1)$$

gatnaşyk ýerine ýetende "köprüjik" deňagramlaşýar we galwanometriň üstünden geçýän tok kesilýär. Bu halda:

$$U_1=\alpha I^2,\ U_2=IR,\ U_3=IR,\ U_4=\alpha I^2.$$

Onda 1-nji deňligi aşakdaky ýaly ýazyp bolar:

2) Geçirijiniň uzynlyk birligine düşýän garşylygyny kesgitlemeli.

Gönükme 3.2.

3.2. GEÇIRIJILERIŃ GARŞYLYKLARY

3.2.1. Massasy 0, 893 kg, diametrli 2 mm bolan bölek mis siminiň R garşylygyny hasaplamaly. Misiň udel garşylygy $\rho=0{,}01710^{-4}\,Om\cdot sm$ we dykyzlygy $d=8{,}93\ \ g/sm^3$.

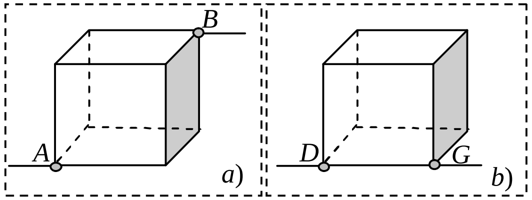
3.2.2 Kuwwatlygy 100 Wt bolan 120 W napýaženiýä niýetlenen elektrik çyrasynyň işleýän halyndaky garşylygy onuň işlemeýän sowuk ýagdaýyndakysy bilen deňeşdirilende 10 esse köp. Elektrik çyrasynyň sowuk halyndaky R garşylygyny we garşylygyň α termiki koeffisiýentini kesgitlemeli. Elektrik çyrasynyň işleýän pursatynda onuň sapajygynyň temperaturasy $2000\,^0$ S.

3.2.3. Üstünden I A tok geçýän mis siminiň 1,4 km uzynlygynda napryýaženiýäniň pese düşmegi 1 W bolar ýaly ol nähili diametrde bolmaly?

3.2.4. Şol bir R_1 = 2,0 Om we R_2 = 4,0 Om garşylyklardan ybarat böleklerden gaýtalanýan tükeniksiz elektrik zynjyryň umumy R garşylygyny kesgitlemeli (3.2.1 -nji çyzgy).

3.2.5. Elektrik zynjyr şol bir depede jemlenen diagonally altyburçluk görnüşde bolup, ol dokuz geçirijiden ybarat (3.2.2. -nji çyzgy) . Her bir geçirijiniň garşylygy r-e deň. A we B nokatlaryň arasyndaky elektrik zynjyrynyň R garşylygyny kesgitlemeli**.**

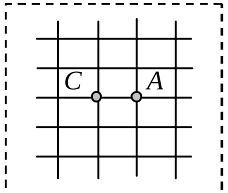
3.2.6. Iki sany polat we nihrom simleriniň massalary deň. Polat simiň uzynlygy nihromyňkydan 20 esse uly. Olaryň garşylyklary biri - birinden näçe esse tapawutlanýar? Nihromyň gapyrgalarynyň aýratynlykda her birisiniň garşylygy R bolsa, onuň jemi garşylylygyny kesgitlemeli.



3.1.1-nji çyzgy. Geçiriji kub

3.1.12. Kub 3.1.1-nji b çyzgyda görkezilişi ýaly elektrik zynjyryna birikdirilen. Kubuň jemi garşylygyny kesgitlemeli.

3.1.13. Gönüburçly öýjükli uzyn tekiz tor (3.1.2 -nji çyzgy) elektrik zynjyryny düzýär. Eger zynjyryň A nokady boýunça tok getirilip, ol zýnjyryň C nokady boýunça hem ondan alynsa, AC gejirijiniň üstünden geçýän toguň güýjüni kesgitlemeli.



3.1.2-nji çyzgy. *Geçiriji tor*

3.1.14. Udel garşylygy ρ bolan geçiriji ε syzyjylykly dielektrik bilen araçäkleşýär. Geçirijiniň üstündäki käbir A nokatdaky elektrik süýşmesi $\boldsymbol{D}$ bolup, ol geçirijiniň üctüne geçirilen perpendikulýar bilen α burçy emele getirýär we ondan daşyna ugrukdyrylandyr. Geçirijidäki zarýadlaryň üst dykyzlygyny we A nokadyň töweregindäki tok güýjüniň dykyzlygyny kesgitlemeli.

3.1.15. Kese kesiginiň maýdany S bolan silindr görnüşli uzyn geçirijiniň ýasalan materialynyň udel garşylygy onuň okuna çenli bolan r uzaklyga $\rho = a/r^2$ görnüşde bagly (a hemişelik ululyk). Geçirijiden I tok güýji aksa:

1) Geçirijiniň içindäki meýdanyň E güýjenmesini;

$$\frac{\alpha I^2}{IR} = \frac{I^R}{\alpha I^2}.$$

Bu ýerden:

$$I = \frac{R}{\alpha}\ . \qquad (2)$$

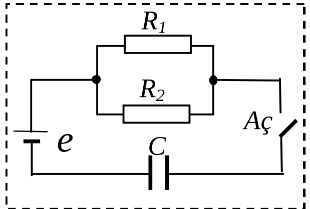
Diýmek,

$$U_0 = U_1 + U_2 = \alpha I + IR = \alpha\frac{R^2}{\alpha^2} + \frac{R}{\alpha} =$$

$$= \frac{R^2}{\alpha} + \frac{R^2}{\alpha} = 2\frac{R^2}{\alpha}.$$

Ýagny:

$$U_0 = 2\frac{R^2}{\alpha}.$$



3.1.12-nji çyzgy. *Kondensatordan, garşylyklardan we tok çeşmesinden düzülen elektrik zynjyry*

M e s e l e 3.1.16 *. Başda zarýadlandyrylmadyk C sygymly kondensatoryň naprýaženiýesi U baha ýetýänçä *Aç* açar utgaşdyrylgy saklanylýar (3.1.12-nji çyzgy). Şol wagtyň dowamynda R_2 garşylykda bölünip çykýan Q ýylylyk mukdaryny kesgitlemeli. Tok çeşmesiniň EHG-si e, onuň içki garşylygyny hasaba almaly däl.

Ç ö z ü l i ş i : Goý, kondensatordaky naprýaženiýe U bolan wagt pursatyna çenli tok çeşmesinden q zarýad akyp geçsin. Onda energiýanyň saklanma kanunyna görä, toguň $A = Ie\Delta t = eq$ işi

$$eq = Q + \frac{q^2}{2C},$$

deň bolar. Bu ýerde Q iki garşylykdan bölünip çykýan ýylylyk mukdary. Indi

$$Q=Q_1+Q_2, \qquad q=CU,$$

we parallel birikdirilen geçirijilerde bölünip çykýan ýylylyk mukdarlarynyň gatnaşyklarynyň

$$\frac{Q_1}{Q_2}=\frac{R_2}{R_1},$$

deňligini hasaba alyp, aşakdaky deňlemeler ulgamyny alarys:

$$\begin{cases} e = \dfrac{CU^2}{2} + (Q_1+Q_2) \\ \dfrac{Q_1}{Q_2} = \dfrac{R_2}{R_1} \end{cases}.$$

Ony Q_2 görä çözüp, taparys:

$$Q_1=\frac{R_2}{R_1}Q_2 \ ; \quad CUe=\frac{CU^2}{2}+\left(\frac{R_2}{R_1}+1\right)Q_2.$$

$$Q_2=\frac{\left(CUe-\dfrac{CU^2}{2}\right)}{R_2+R_1}R_1=\frac{CUR_1(2e-U)}{2(R_2+R_1)}.$$

***M e s e l e* 3.1.17*.** EHG-si e =1,5 W bolan tok çeşmesi A we B gysgyja birikdirilende ampermetr 1 A tok güýjüni görkezdi (3.1.13-nji a çyzgy). Bu tok çeşmesiniň gysgyçlary alamaty

potensiallaryň tapawudy saklanýan bolsa, onuň ρ udel garşylygyny kesgitlemeli.

3.1.6. Galyňlygy a=0,2 mm, ini b=3 mm nikelin çekiden (şinadan) garşylygy R =2,5 Om bolan geçirijini almak zerur. Eger nikelin geçirijiniň özüniň üstünden geçirip biljek tok güýjüniň dykyzlygynyň ýokary çägi $j_{iň\ uly}$=0,2 A/mm^2 bolsa, agzalan garşylykly geçirijini almak üçin nähili l uzynlykdaky nikelin çekisini ulanmaly? Bu garşylygyň işläp biljek iň uly $U_{iň\ uly}$ naprýaženiýesini kesgitlemeli.

3.1.7. Eger t=20 s wagt aralygynda garşylygy R =3 Om bolan geçirijiniň uçlaryndaky naprýaženiýe $U_0=2\ W$-dan U = 4W -a çenli deňölçegli artsa, geçirijiden akyp geçen zarýadlaryň q mukdaryny kesgitlemeli.

3.1.8. Uzynlygy l=10 m demir geçirijiniň uçlarynda U = 6 W naprýaženiýe saklanýar. Geçirijidäki tok güýjüniň j dykyzlygyny kesgitlemeli.

3.1.9. Temperaturasy $0^0 S$, garşylygy R_0 bolan mis silindr şekilli geçirjiniň bir ujunda $t_1=20^0 S$ beýleki ujunda bolsa $t_2=400^0 S$ temperaturada saklanýar. Geçirijiniň oky boýunça udel termiki hemişeligi hasaplap, onuň garşylygyny kesgitlemeli.

3.1.10. Uzynlygy l=100 m, kese kesiginiň meýdany bolsa, S= 1mm^2-a deň bolan göni mis simden I =4,5 A tok güýji geçýär. Misiň her atomyna bir erkin elektron düşýär hasaplap:

a).Elektronyň geçirijiniň bir ujundan beýlekisine geçmegi üçin zerur bolan t wagty;

b). Geçirijidäki bar bolan hemme erkin elektronlara täsir edýän F güýji tapmaly.

3.1.11. Geçiriji simden ýasalan kub 3.1.1-nji a çyzgyda görkezilişi ýaly elektrik zynjyryna birikdirilen. Kubuň

ÖZBAŞDAK ÇŐZMEK ÜÇÜN MESELELER

Gönükme 3.1.

3.1.1. ZYNJYRYŇ BÖLEGI ÜÇIN OMUŃ KANUNY

3.1.1. Tekiz kondensatoryň plastinalarynyň arasy udel garşylygy $\rho = 100$ $GOm \cdot m$ bolan aýna bilen doldurylan. Kondensatoryň sygymy $C = 4$ nF. Kondensatora $U = 2$ kW naprýaženiýe goýulanda ýüze çykýan ýitgi I tok güýjüni hasaplamaly.

3.1.2. Tekiz kondensatoryň plastinalarynyň arasy olara perpendikulýar ugur boýunça udel geçirijiligi $\gamma_1=1\cdot10^{-12}$ $Om^{-1}m^{-1}$ -den $\gamma_2=2\cdot10^{-12}$ $Om^{-1}m^{-1}$ - e çenli göni çyzykly kanuna laýyklykda üýtgeýän gowşak geçiriji ulgam bilen doldurylan. Kondensatoryň plastinalarynyň her biriniň meýdany $S=230$ sm^2, olaryň arasyndaky uzaklyk $d=2$ mm. Kondensatoryň plastinalaryna $U=300$ W naprýaženiýe goýulanda ondan geçýän I tok güýjüni kesgitlemeli.

3.1.3. Kesgitli $\tau = 20$ s wagt aralygynda tok güýji $I_1 = 0$ -dan $I_2 = 5$ A -e çenli deňölçegli artan bolsa geçirijiden geçen zarýady kesgitlemeli.

3.1.4. Gyzdyrylýan (nakal) sapajykly çyra $I=0{,}5$ A tok bilen işleýär. Diametri $d_1=0.1$ mm bolan çyranyň wolfram sapajygynyň işleýän halatyndaky temperaturasy $t=2200^0 S$. Tok kese kesiginiň meýdany $S=5$ mm^2 bolan mis simleri arkaly getirilýän bolsa, mis simdäki E_1 we wolframdaky E_2 elektrik meýdanynyň güýjenmesini kesgitlemeli.

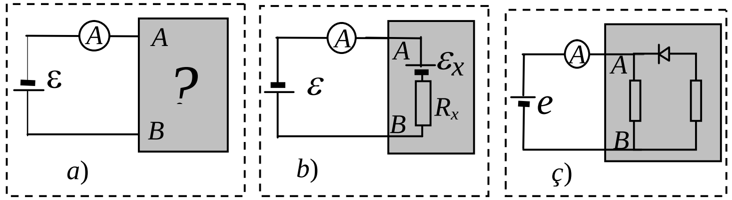
3.1.5. Uzynlygy $l=2m$ bolan geçirijidäki tok güýjüniň dykyzlygy $j=10^6 A/m^2$-a deň. Geçirijiniň uçlarynda $U = 2W$

boýunça garşylykly edilip dakylanda çeşmäniň tok güýji iki esse aşak düşdi.Gutynyň içinde nähili elektrik zynjyry ýerleşýär?

Ç ö z ü l i ş i : Mümkin bolan iki ýagdaýa seredeliň:

1) tok iki esse azaldy, toguň ugry üýtgemän galdy ;

2) tok güýji iki esse azaldy, ýöne onuň ugry birinji



3.1.13-nji çyzgy. *Gara guta birikdirilen elektrik zynjyry*

haldakysynyň garşysyna ugrukdyrylan.

Birinji halda gutyda tok çeşmesiniň bardygy düşnüklidir (eger şeýle bolmadyk bolsa, onda zynjyr ýazdyrylanda tok garşylykly tarapa ugrugardy). Bu halda gara gutyda mümkin bolaýjak ýönekeýje shema - EHG-si e_x bolan tok çeşmesi we oňa yzygider birikdirilen R_x garşylykdyr (1.13-nji b çyzgy) bolmaly.

Bu halda:

$$\begin{cases} \dfrac{e_x + e}{R_x} = \dfrac{e_x + 1{,}5}{R_x} = 1A, \\ \dfrac{e_x - e}{R_x} = \dfrac{e_x - 1{,}5}{R_x} = 0{,}5A. \end{cases}$$

$$\begin{cases} e_x + 1{,}5 = R_x \\ e_x - 1{,}5 = 0{,}5R_x. \end{cases}$$

Bu ýerden $e_x = 4{,}5$ W, $R_x = 6$ Om.

Bu ýerde R_x ululyga tok çeşmesiniň içki garşylygynyň hem girip biljekdigini belläliň.

Ikinji hal mümkin bolan shemalara has “baýdyr”. Düzümine yzygider birikdirilen garşylyk we tok çeşmejikli zynjyrdan başga-da (bu halda e_x=0,5 *W*, R_x=2 *Om*), çyzykly däl gurluşlary (diodlary, tranzistorlary we beýlekileri) özünde saklaýan elektrik zynjyrlar hem mümkindir. Munuň ýaly ýönekeýje elektrik zynjyrlaryň biri (3.1.13-nji ç) çyzgyda getirilen.

Bu elektrik zynjyryna diod ugurdaş birikdirilendigi üçin ol açykdyr; gutynyň garşylygy 1,5 *Om.* Tok çeşmesiniň gysgyjynyň alamaty üýtgedilende, ýagny diod elektrik zynjyryna ugurdaş däl edilip birikdirilende ol ýapyk we gara gutynyň garşylygy 3 *Om* bolar.

TALYPLARYŇ ÖZBAŞDAK TAÝÝARLYKLARYNY BARLAMAK ÜÇIN SORAGLAR

1. Tok diýip nämä aýdylýar? Hemişelik toguň bolmagy üçin zerur şertler.
2. Hemişelik toguň ugruny düşündirmeli.
3. Tok güýji we onuň HU – daky ölçeg birligi?
4. Tok güýjüniň dykyzlygy name?
5. Birhilli zynjyryň bölegi üçin Omuň kanuny.
6. Geçirijiniň garşylygy diýip nämä aýdylýar? Geçirijiniň garşylygynyň onuň geometrik ölçegleri we temperaturasy bilen baglanyşygy.
7. Garşylyklaryň yzygider we parallel birikdirilişi.
8. Elektrik hereketlendiriji güýç name?
9. Geçirijileriň birhilli däl bölegi üçin Omuň kanuny.
10. Ýapyk zynjyr üçin Omuň kanuny.
11. Kirhgofyň düzgünleri we olaryň amaly işlerde ulanylyşy.
12. Toguň işi we kuwwaty.
13. Lensiň we Joulyň kanunynyň integral görnüşde aňladylyşy.
14. Tok çeşmesiniň işi. Birmeňzeş EHG – li tok çeşmeleriniň yzygider we parallel birikdirilişi.
15. Ulanylyjylaryň nähili garşylygynda ondan bölünip çykýan kuwwat iň uly baha eýedir? Bu halda onuň PTK-sy nämä deňdir?

$$\varphi_1 = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r_0},$$

we

$$\varphi_2 = -\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r_0},$$

bolar. Potensiallaryň tapawudy :

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = 2\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r_0} = \frac{q}{2\pi\varepsilon_0 r_0}. \qquad (1)$$

Položitel zarýadly şarjagazdan çykýan tok güýji

$$I = jS. \qquad (2)$$

Indi $j = \gamma E = E/\rho$, $E = q/\left(4\pi\varepsilon_0 r_0^2\right)$ gatnaşyklary hasaba alyp, 2-nji deňligi

$$I = \frac{E}{\rho}4\pi r_0^2 = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r_0^2 \rho}4\pi r_0^2 = \frac{q}{\varepsilon_0 \rho}, \qquad (3)$$

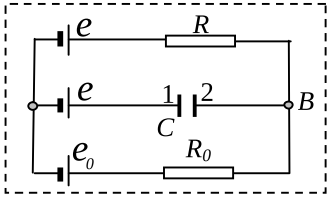
görnüşde ýazyp bolar. Ýokardaky 1-nji we 2-nji aňlatmalardan gowşak geçiriji gurşawyň R garşylygy:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{q}{2\varepsilon_0 r_0}\frac{\varepsilon_0 \rho}{q} = \frac{\rho}{2\pi r_0}.$$

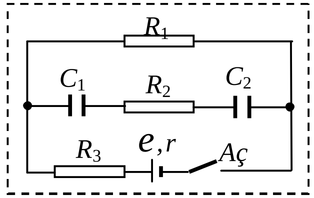
Bu ýerden bolsa, $r_0 = \rho/(2\pi R)$ taparys.

***M e s e l e* 4.1.3*.** Sygymy C bolan kondensator q_0 zarýad bilen zarýadlandyrylýar (4.1.1-nji çyzgy). Soňra kondensatoryň plastinalary R garşylygyň üsti bilen utgaşdyrylýar.

3.3.11. Elektrik zynjyry R_1= 10 *Om*, R_2=20 *Om*, R_3=50 *Om* garşylykdan, C_1=20 *mkF*, C_2=5*mkF* sygymly kondensatorlardan we EHG –si e=1,5 *W*, içki garşylygy r =0,2 *Om* bolan tok çeşmesinden düzülen (3.3.4-nji çyzgy). Açar *Aç* utgaşdyrylandan soňra C_2 kondensatordaky U_2 napryaženiýäni tapmaly.



3.3.3-nji çyzgy. *Elektrik zynjyry*

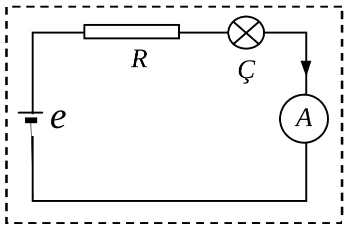


3.3.4-nji çyzgy. *Elektirk zynjyry*

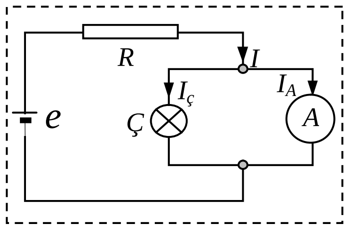
Gönükme 3.4.

3.4. KIRHGOFYŇ DÜZGÜNLERI

3.4.1. Napryaženiýesi 2,5*W* -a we tok güýji 0,2 *A* –e niýetlenen elektrik çyrasy uzyn geçirijiler bilen yzygider birikdirlende ampermetr $I_ç$ =0,2 *A* tok güýjüni görkezýär (3.4.1-nji çyzgy). Eger ampermetr *Ç* çyra bilen öžara parallel



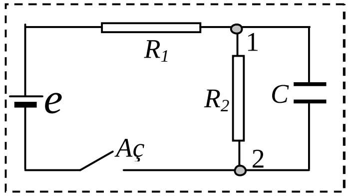
3.4.1-nji çyzgy. *Ýapyk birhilli däl elektrik zynjyry*



3.4.2-nji çyzgy. *Ýapyk birhilli däl elektrik zynjyry*

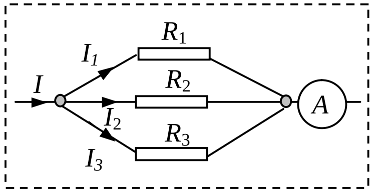
birikdirlip, tok çeşmesine dakylsa (3.4.2-nji çyzgy), çyra birinji shemadaky ýanyşy ýaly ýagtylýar. Ampermetr nähili tok güýjüni görkezer? Birikdiriji simleriň garşylygy 2 *Om*, tok çeşmesini ideal hasaplamaly.

3.4.2. Shemadaky (3.4.3-nji çyzgy) *Aç* açar utgaşdyrylgy pursatynda kondensatoryň plastinalaryndaky naprýaženiýäniň wagta bagly üýtgemegini kesgitlemeli. Utgaşdyrma pursatynadan näçe wagt geçenden soňra kondensatordaky naprýaženiýe özüniň iň uly bahasynyň 99% -ine barabar bolar ? (R_1=30 *kOm*, R_2=15 *kOm* we *C*=0,2 *mkF*).

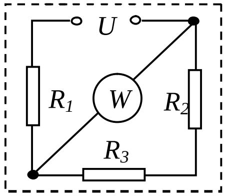


3.4.3-nji çyzgy. Dűrli birikdirişli, birhilli däl ýapyk elektrik zynjyry

3.4.3 Shemadaky (3.4.4-nji çyzgy) görkezilen R_2=15 *Om*, R_3=20 *Om* we I_2=0,3 *A* .Ampermetr *I*=1*A* tok güýjüni görkezýär. R_1 garşylygy kesgitlemeli.



3.4.4-nji çyzgy. Parallel birikdirilen garşylyklar



3.4.5-nji çyzgy. Yzygider birikdirilen garşylyklar

3.4.4. Shenada (3.4.5-nji çyzgy) görkezilen tok çeşmesiniň gysgyçlarynyň uçlaryndaky naprýaženiýe *U*=100 *W* , garşylyklar R_1=100 *Om*, R_2=200 *Om*, R_3=300 *Om*, Eger woltmetriň içki garşylygy R_w=2000 *Om* bolsa, ol nähili naprýaženiýäni görkezer?

3.4.5 Shenada (3.4.6-njy çyzgy) woltmetriň we ampermetriň görkezýän ululygyny kesgitlemeli. Woltmetriň garşylygy R_w=1000 *Om*, R_1=400 *Om*, R_2=600 *Om*. Tok çeşmesiniň naprýaženiýesi *U*= 110 *W*. Ampermetriň garşylygyny hasaba almaly däl.

Bu 5-nji göz öňünde tutup , 3 -nji deňligi aşakdaky görnüşde ýazyp bolar :

$$A = \frac{en\vartheta_0 SqR}{2} \qquad (6)$$

Mälim bolşy ýaly $n = N/V = N/(Sl)$. Onda

$$A = \frac{eRq\vartheta_0 N}{2l} = N\frac{m\vartheta_0^2}{2}. \qquad (7)$$

Bu ýerde *l* geçirijiniň uzynlygy. Bu aňlatmadan geçirijiniň kese kesiginden akyp geçen zarýady taparys:

$$q = \frac{m\vartheta_0 l}{eR} = \frac{m\vartheta_0 l}{e\rho\frac{l}{S}} = \frac{m\vartheta_0 S}{e\rho} . \qquad (8)$$

Bu aňlatmadaky *m* , *e* degişlilikde elektronyň massasy we zarýady, ρ mis geçirijiniň udel garşylygy, *l* onuň uzynlygy.

***M e s e l e* 4.1.2*.** Radiuslary deň bolan iki sany metal şarjagaz udel garşylykly gowşak geçiriji we birhilli gurşawda ýerleşdirilen. Şarjagazlaryň arasyndaky uzaklyk olaryň hususy r_0 radiusyndan köp esse uly, gurşawyň garşylygyny *R-i* hasaplap, r_0-y kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i: Meseläniň şertine görä şarjagazlar gowşak geçiriji gurşawda ýerleşdirilendigi üçin olar hemişelik tok çeşmesine birikdirilende ululyklary boýunça deň, alamatlary boýunça garşylyklay *q* zarýada eýe bolarlar. Şarjagazlar biri-birinden ýeterlik daşlykda ýerleşendikleri üçin, olaryň potensiallary degişlilikde mukdardaky q zaryad geçer? Geçirijiniň uçlary özara birikdirilen.

Ç ö z ü l i ş i : Geçirijiden tok geçende onuň edýän işi:

$$A = \langle I^2 \rangle R\, t \,. \qquad (1)$$

Bu yerde: R -geçirijiniň garşylygy, $\langle I \rangle$ -ondan akyan tok güyjüniň orta bahasy. Meseläniň şertine görä geçiriji birden togtadylanda elektronlaryň inersiyasy boyunça yüze çykýan tok hemişelik däldir. Bu tok nola çenli deňölçegli azalýan hasaplap, geçirijiniň kese kesiginden geçyän elektrik mukdarynyň orta bahasyny asakdaky ýaly ýazalyň :

$$q = 2It \qquad \Rightarrow \qquad It = q/2 \,. \qquad (2)$$

Onda

$$A = qIR/2 \,. \qquad (3)$$

Bu iş geçirijidäki hemme N sany erkin elektronlaryň inersiyasy boyunça dörän kinetik energiyasyny peseltmeklige harç edilyär.Ýagny

$$A = -N\Delta W_k = -N\Delta\left(\frac{m\vartheta_0}{2}\right)^2 = N\frac{m\vartheta_0^2}{2} \,. \qquad (4)$$

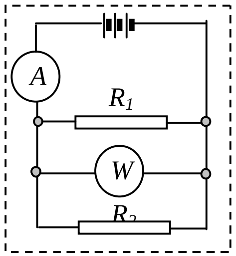
Bu yerde: ΔW_k -geçiriji togtadylan pursady ondaky elektronlaryň tizlikleriniň ϑ_0 -dan 0-a çenli peselmegi bilen olaryň kinetik energiýasynyň üytgemegi.

Tok güýjüni 2-nji we 3-nji aňlatmalara görä ýazalyň:

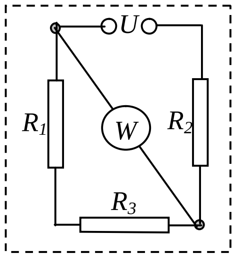
$$I = jS = en\vartheta_0 S \,. \qquad (5)$$

3.4.6 Ỳokardaky 3.4.4.-nji meseläni (3.4.7-nji) çyzgyda görkezilen shema üçin işlemeli.

3.4.7. Iň uly ölçäp bilýän napryaženiýesi U=100 W bolan woltmetr boýunça I=0,1 mA tok güýji akanda ol 1 W napryaženiýäni görkezýär. Eger bu woltmetre goşmaça R=90 kOm garşylyk birikdirilse, onuň iň uly ölçäp biljek $U_{\text{iňuly}}$ potensiallarynyň tapawudyny kesgitlemeli.



3.4.6-njy çyzgy.
Parallel birikdirilen garşylyklar



3.4.7-nj çyzgy.
Yzygider birikdirilen garşylyklar

3.4.8. Şkalasynyň her bir bölümüniň gymmaty C=1 mkA we bölümleriniň sany N=100 bolan peýkamly (görkeziji dilli) galwanometriň kömegi bilen I=0,5 mA tok güýjüni ölçemek üçin oňa nähili r_g goşmaça garşylyk dakmaly? Galwanometriň içki garşylygy r =100 Om.

3.4.9. Şkalasynyň her bir bölüminiň gymmaty C=5 mkA, bölümleriniň sany N=150 we içki garşylygy r =100 Om bolan abzaldan U=75 W napryaženiýäni ölçäp bilýän woltmetri nähili edip ýasap bolar?

3.4.10. Ýokardaky 3.4.8-nji meselede agzalan abzaldan I=150 mA tok güýjüni ölçeýän ampermetri nähili edip ýasap bolar ?

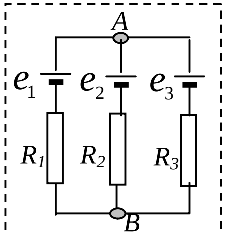
3.4.11. Goşmaça garşylyk birikdirilen ampermetr I=10 A-e çenli tok üýjüni ölçeýär. Eger bu ampermetriň hususy garşylygy R_a=0,02 Om, oňa dakylan goşmaça garşylyk bolsa, R_g = 0,005 Om

bolsa onuň goşmaça garşylyksyz (şuntsuz) ölçäp biljek iň uly tok güýjüni kesgitlemeli.

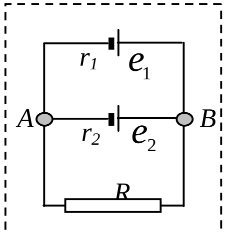
3.4.12. Shemadaky (3.4. –nji çyzgy) tok çeşmeleriniň EHG – leri e_1=1,5 *W*, e_2=2,0 *W* we garşylyklary R_1=10 *Om* , R_2=20 *Om* , R_3=30 *Om* . Tok çeşmeleriniň içki garşylyklaryny hasaba almaly däl. Tapmaly:

a) R_1 garşylygyň üstünden geçýän tok güýjüni;

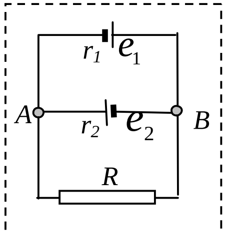
b) *A* we *B* nokatlaryň arasyndaky $\varphi_A - \varphi_B$ potensiallaryň tapawudyny.



3.4.8-nji çyzgy.
Tok çeşmeleriniň birikdirilişi



3.4.9-njy çyzgy.
Tok çeşmeleriniň birikdirilişi



3.4.10-njy çyzgy.
Tok çeşmeleriniň birikdirilişi

3.4.13. Shemada (3.4.9-njy çyzgy) görkezilen tok çeşmeleriniň we olaryň içki garşylyklarynyň degişli (e_1=10 *W*; r_1 =1 *Om*; e_2 =8 *W*; r_2 =2 *Om*;) ululyklaryndaky batareýadan ybarat. Daşky *R*=6 *Om* garşylygyň üstünden geçýän tok güýçlerini kesgitlemeli .

3.4.14. Shemada (3.4.10-njy çyzgy) görkezilen tok çeşmeleriniň we olaryň içki garşylygyň degişli (e_1= 8*W*; r_1 =2 *Om*; e_2 =6 *W*; r_2 =1,5 *Om;*) ululyklaryndaky batareýadan ybarat. Daşky *R*=10 *Om* garşylygyň üstünden geçýän *I* tok güýjüni kesgitlemeli .

3.4.15. Içki garşylyklary özara deň r_1=1 *Om* üç sany tok çeşmesiniň meňzeş alamatly polýuslary birikdirilen . Olaryň EHG-

$$\boldsymbol{j} = \gamma \boldsymbol{E} \ . \qquad (4.1.4)$$

Tok güýjiniň dykyzlygynyň wektorynyň ugry geçirijidäki elektrik meýdanyň güýjenmesiniň wektorynyň ugry bilen gabat gelyär (4.1.4 aňlatma).

Nusgawy nazaryýetiň esasynda udel geçirijilik

$$\gamma = \frac{ne^2\lambda}{2m\vartheta_{\acute{y}}} \ , \qquad (4.1.5)$$

gönüşde aňladylýar. Bu yerde $n = N/V$ - elektrik toguny döredijileriň degişlilikde göwrümleýin sany, λ -erkin herekeiniň uzynlygy, $\vartheta_{\acute{y}}$ - ýylylyk hereketiniň tizligi, m - massasy, e - bölejigiň zarýady.

• Lensiň we Joulyň kanunynyň differensiyal görnüşi . Geçirijilerden elektrik tok geçende bölünip çykýan ýylylyk kuwwatynyň göwrüm dykyzlygy yagny göwrüm we wagt birliklerindäki energiýasy udel geçirijilige we elektrik meydanynyň güyjenmesiniň kwadratyna baglydyr.

$$W = \frac{dQ_{(J.L)}}{dVdt} = \gamma E^2 \qquad (4.1.6)$$

MESELELERIŇ ÇÖZÜLIŞINE MYSALLAR

***M e s e l e* 4.1.1.** Kese kesiginiň *S* meydanyna perpendikulýar ugur boyunça mis geçiriji ϑ_0 tizlik bilen hereket edýär. Eger geçiriji birden togtadylsa, onuň kese kesiginden nähili

IV DÜRLI GURŞAWLARDAKY ELEKTRIK TOGY

4.1. METALLARDAKY ELEKTRIK TOGY

Esasy kesgitlemeler we aňlatmalar

- **Tok gyüjüniň dykyzlygy (j)** - wektor ululyk bolup, ol san taýdan geçirijiniň kese kesiginiň birlik meydanyndan wagt birliginde geçýän tok güyjüniň mukdaryna deňdir:

$$j = \frac{dq}{dSdt} \qquad (4.1.1)$$

$dq/dt = I$ bolany üçin birhilli elektrik zynjyryndaky hemişelik elktrik toguň güýjüniň dykyzlygyny aşakdaky ýaly hem aňladyp bolýar:

$$j = \frac{I}{S}\ . \qquad (4.1.2)$$

Tok güyjiniň dykyzlygy ony äkidiji bolup hyzmat edýän zaryadlanan ýönekeý bölejikleriň e zarýdyna, n konsentrasiýasyna we bir tarapa ugrukdyrylan hereketiniň $<\vartheta>$ orta tizligine baglydyr:

$$\boldsymbol{j} = en<\boldsymbol{\vartheta}>\ . \qquad (4.1.3)$$

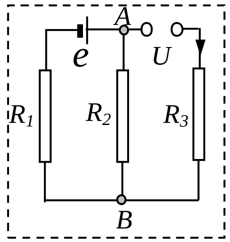
Bu yerde e elektrik toguny äkidiji ýönekeý bölejigiň (elektronyň) zarýady.

- **Omuň kanunynyň differensial görnüşi.** Tok güyjüniň dykyzlygynyň wektory $\boldsymbol{j}$ geçirijiniň udel geçirijiliginiň we geçirijidäki elektrik meydanynyň güýjenmesiniň wektorynyň köpeltmek hasylyna deňdir :

leri degişlilikde (e_1= 12 W; e_2=5 W; e_3= 10 W;) . Tok çeşmeleriniň her birinden akýan tok güýjüni hasaplamaly .Birikdiriji simleriň garşylygyny hasaba almaly däl.

3.4.16 Shemada (3.4.11-nji çyzgy) görkezilen ululyklar (e_1= 11W; R_1 =5 Om; e_2= 4 W; R_2=6 Om; e_3 =6W; R_3=2 Om) .Her bir garşylykdaky tok güýjüni hasaplamaly. Tok çeşmeleriniň içki garşylagyny hasaba almaly däl.

3.4.17. Shemada (3.4.12-nji çyzgy) görkezilen ululyklar R_1=5 Om; R_2=1 Om; R_3=3 Om we e_1= 1,4 W . Shemadaky görkezilen ugur boýunça R_3 garşylygyň üstünden I=1A tok güýji akar ýaly A we B nokatlara dakmaly tok çeşmesiniň EHG –ni kesgitlemeli. Tok çeşmesiniň garşylygyny hasaba almaly däl.



3.4.12-nji çyzgy. *Parallel garşylyklardan we tok çeşmesinden düzülen elektrik zynjyry*

3.4.18. EHG-si e =120 W, içki garşylygy r=10 Om bolan tok çeşmesiniň gysgyçlarynda garşylyklary R=20 Om bolan iki simiň her birisiniň bir ujy dakylan . Simleriň boş uçlary we ortalary özara her biriniň garşylygy R_1=200 Om bolan elektrik çyralar bilen birikdirilen. Tok çeşmesinden we çyralaryň her birisinden akýan tok güyjini kesgitlemeli.

Gönükme 3.5.

3.5. HEMIŞELIK TOGUŇ IŞI WE KUWWATY

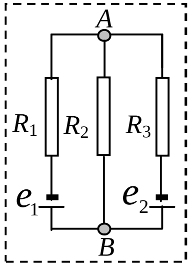
3.5.1. Garşylygy R=3 Om bolan geçirijiden deňölçegli artýan tok geçýär. Eger geçirijiden t=8 s wagt aralygynda Q=200 J ýylylyk bölünip çykýan bolsa, geçirijiden akyp geçýän q

zarýadlaryň mukdaryny kesgitlemeli.Başlangyç pursatda tok güýjüniň ululygyny nola deňläp almaly.

3.5.2. Shemada (3.5.1–nji çyzgy) e_1=20 *W*; e_2=25 *W*, R_1=10 *Om;* R_2=15 *Om*. Tok çeşmeleriniň içki garşylygyny hasaba alman aşakdakylary kesgitlemeli:

a) R_3=82 *Om* bolanda Δt =0,5 *s* wagt aralygynda tok çeşmeleriniň ýerine ýetirýän işini we zynjyrdan bölünip çykýan doly ýylylyk mukdaryny ;

b) R_3 – iň haýsy ululygynda bu garşylykdan bölünip çykýan ýylylyk kuwwady iň uludyr?



3.5.1-nji çyzgy.
Elektrik shema

3.5.2. Sygymy *C* bolan kondensatora q_0 zarýad geçirilip, *t*=0 pursatda onuň plastinalaryny *R* garşylygyň üsti bilen utgaşdyrdylar. Garşylykda bölünip çykýan *Q* ýylylyk mukdarynyň *t* wagt bilen baglanyşygyny tapmaly.

3.5.3 Tekiz kondensatoryň plastinalarynyň arasyndaky boşluk tekiz aýna bölegi bilen büs-bütin doldurylan. Kondensatoryň içine aýna ýerleşdirilmedik halatynda onuň sygymy C_0 . Kondensator hemişelik *U* naprýaženiýeli tok çeşmesine birikdirilen. Aýna bölegini kondensatordan çykarmak üçin elektrik güýçleriniň garşysyna ýerine ýetirilýän mehaniki işi kesgitlemeli.

3.5.4. Wakuumda q_1, q_2,..., q_n zarýadly we $\varphi_1, \varphi_2, ..., \varphi_n$ potensially *n* sany uly geçirijilikli (idel) geçiriji jisim bar. Eger bu jisimleriň potensiallaryny öňki kaddynda saklap, olaryň arasyny birhilli γ udel geçirijilikli we ε dielektrik syzyjylykly suwuklyk bilen doldurylsa, gurşawdan sekuntsaýyn nähili ýylylyk bölünip çykar ?

3.5.5. Elektrik gaýnadyjynyň sarymynyň iki bölümi bar. Zynjyra olaryň birisi birikdirilende , gaýnadyjydaky suw t_1 = 10

3.6.4. Shemadaky (3.6.4-nji çyzgy) ululyklardan peýdalanyp , umumy batareýanyň EHG-ni we içki garşylygyny kesgitlemeli. e_1=10 *W;* r_1 =2 *Om;* e_2=15 *W;* r_2 =1 *Om;* e_3=20 W; r_3 =3 *Om;* e_4=16 *W;* r_4 =10 *Om;* R_1=10 *Om*, R_2=8 *Om* , R_3=5 *Om* .

3.6.5. Elde göterilýän ýagtyldyjynyň (fonarynyň) batareýasynyň EHG-si e =4,5 *W* we içki garşylygy *r* = 3 *Om* . Kuwwaty *P* = 60 Wt bolan we *U*= 220 *W* naprýaženiýä niýetlenen elektrik çyrasyny iýmitlendirmek üçin şonuň ýaly batareýanyň näçe sanysy gerek bolar?

3.6.6. Her birisiniň içki garşylygy *r* = 0,3 *Om* , EHG-si e = 2 *W* bolan akumulýatorlaryň kömegi bilen olary aýry aýry birmeňzeş toparlar boýunça birikdirip, garşylygy *R* = 0,2 *Om* bolan daşky zynjyrda *I* = 21 *A* tok güyjüni alyp bolarmy**?**

3.6.7. Içki garşylygy *r* = 1 *Om* we EHG - si e = 10 *W* bolan akumulýator *R* garşylyk bilen ýapyk zynjyr döredýär. Eger akumulýator *R* daşky garşylykda *P*=9 *Wt* kuwwat bölüp çykarýan bolsa, onda onuň gysgyçlaryndaky potensiallaryň tapawudyny kesgitlemeli.Netijeleriň deň däldigini duşundirmeli.

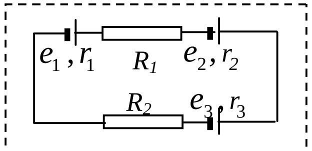
3.6.8. Içki garşylygy *r* = 1 *Om* EHG -si e = 10 W bolan akumulýator daşky zynjyrda nähili iň uly peýdaly kuwwat bölüp çykarar? Bu şertde daşky zynjyryň R garşylygy näçe?

3.6.9. Uçlaryndaky naprýaženiýesi *U* bolan çaşmeden başlangyç e EHG- li akumulýatory zarýadlandyrýarlar. Akumulýatoryň içki garşylygy *r* . Akumulýatory zarýadlandyrmaga harç edilýän P_p peýdaly we ondan ýylylyk bölüp çykarmaga sarp edilýän *P* kuwwaty hasaplamaly.

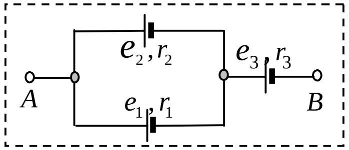
Gönükme 3.6.

3.6. HEMIŞELIK TOGUŇ ÇEŞMELERI

3.6.1. Elektrik zynjyr EHG-leri e_1=10*W*; e_2=20 *W*; e_3=15*W* we degişlilikde içki garşylyklary r_1=1 *Om*; r_2=2 *Om*; r_3=1,5 *Om* bolan tok çeşmelrinden we R_1=4,5 *Om*; R_2= 16 *Om* garşylyklardan ybarat (3.6.1 -nji çyzgy). Zynjyrdaky tok çeşmelerine barabar bolan tok çeşmesiniň EHG-ni, onuň içki garşylygyny we zynjyrdaky tok güýjüni kesgitlemeli.



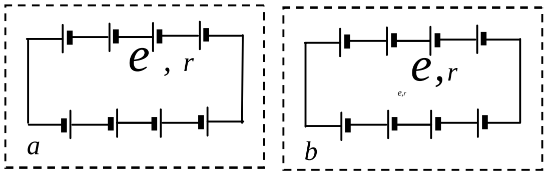
3.6.1-nji çyzgy. *Birhilli däl elektrik zynjyry*



3.6.2-nji çyzgy. *Tok çeşmeleriniň birikdirilişi*

3.6.2. Shemadaky e_1=10 *W*; e_2=20 *W*; e_3=30 *W*; we r_1= r_2= r_3=2 *Om* bolsa (3.6.2 -nji çyzgy) görkezilen tok çeşmeler toplumynyň içki garşylygyny we EHG-ni hasaplamaly.

3.6.3. Shemadaky (3.6.3-nji *a*-çyzgy) islendik iki nokadyň arasyndaky naprýaženiýäniň ululygy nähili ? Her bir tok çeşmesiniň (elementiň) EHG-si e_1 we içki garşylygy r_1. Birikdiriji simleriň garşylygyny hasaba almaly däl. Eger elementler biri - birine biratly gysgyçlary bilen birikdirilse (3.6.3-nji *b*-çyzgy) netije nähili bolar?



3.6.3-nji çyzgy. *Tok çeşmelerinden düzülen zynjyrlar*

minutda gaýnaýar. Eger olaryň ikinjisi birikdirilse, şol bir mukdardaky suw t_2= 20 minutda gaýnaýar. Iki bölüm özara : *a*) yzygider , *b*) parallel birikdirilse suw näçe wagtda gaýnar? Gaýnadyjynyň uçlaryndaky naprýaženiýäni we guralyň PTK-syny iki halatda hem hemişelik hasaplamaly.

3.5.6. Elektrik pejiň garşylygy *R*=50 *Om* we ol *U*= 220 *W* naprýaženiýeli elektrik zynjyrdan iýmitlenýär. Pejiň PTK-sy η=0,8. Bu peçde gyzgynlygy *T*=263 *K* bolan *m*=2 *kg* massaly buzy suwa öwürmek , alnan suwy gaýnama halyna ýetirmek, soňra bolsa, ony büs- bütin buga öwürmek üçin näçe wagt gerek bolar ? Buzuň udel ýylylyk sygymy C_1= 2,1 10^3 *J/(kg K)*, buzuň eremeginiň udel ýylylygy λ = 3,3 10^5 *J/kg* , suwuň udel ýylylyk sygymy C_2 = 4,19· 10^3 *J/kgK* , suwuň bug emele gelmeginiň udel ýylylygy *L* = 22,6 10^5 *J/kg* .

3.5.7 Uzynlygy *l* = 0,2 *m* bolan geçirijiniň uçlaryndaky potensiallarynyň tapawudy *U*= 4 *W* . Onuň göwrüm birliginden bölünip çykýan *P* kuwwaty kesgitlemeli . Geçirijiniň udel garşylygy $\rho = 10^{-6}$ *Om m* .

3.5.8. Tekiz kondensatoryň plastinalarynyň arasynda ýerleşdirilen iki gatdan ybarat dielektrigiň degişlilikde udel garşylyklary ρ_1 , ρ_2 we galyňlyklary d_1, d_2. Kondensatora *U* naprýaženiýe berilse dielektrik gatlaklaryň her birindäki P_1 we P_2 kuwwatyň ýitgisini kesgitlemeli. Kondensatoryň plastinalarynyň meýdany *S* .

3.5.9. Radiuslary degişlilikde r_1 we r_3 (r_1<r_3) bolan iki geçiriji silindr ýorkasynyň arasynda udel garşylyklary ρ_1 we ρ_2 degişlilikderadiuslary r_1 , r_2 we r_2 , r_3 bolan iki silindr dielektrik gatlak ýerleşdirilen . Eger geçiriji silindr ýorkasynyň arasynda *U* potensiallaryň tapawudy saklanýan bolsa , dielektrik gatlaklaryň her birindäki P_1 we P_2 kuwwatyň ýitgisini kesgitlemeli .

3.5.10. Iki sferik gatlagyň arasyny doldurýan $\rho = 10^9$ *Om m* ydel garşylykly maddanyň wagt birliginde özüne siňdirýän *p* energiýasynyň mukdaryny hasaplamaly. Gatlaklaryň radiuslary degişlilikde $r_1 = 1$ *sm* we $r_2 = 2$ *sm*, olaryň arasynda $U = 100$ *W* potensiallaryň tapawudy saklanýar.

3.5.11. Tok çeşmesiniň EHG-si $e = 12$ *W*, onuň iň uly berip bilýän tok güýji $I = 5{,}0$ *A*. Tok çeşmesine birikdirilen üýtgeýän garşylykda nähili iň uly kuwwat bölünip çykar?

3.5.12. Şäher merkezi elektrik energiýasynyň siminden ýaşaýyş jaýa çekilen simiň garşylygy $r = 0{,}5$ *Om*. Merkezi simdäki naprýaženiýe hemişelik we 127 *W* -a deň. Ulanylýan elektrik abzallaryň hemmejesiniň uçlaryndaky naprýaženiýe U=120 *W* –dan pese düşmeýän bolsa, ýaşaýyş jaýynda näce p kuwwat elektrik energiýasy ulanylýar?

3.5.13. Şäher merkezi elektrik siminden ýaşaýyş jaýyna uzynlygy $l = 100$ *m*, kese kesiginiň meýdany $S = 9$ mm^2 bolan mis simi çekilen. Merkezi simdaky naprýaženiýe $U_0 = 122$ *W*. Ýaşaýyş jaýynda her biriniň kuwwaty $p = 300$ *Wt*, naprýaženiýesi $U = 110$ *W*- a niýetlenen näçe sany elektrik çyrasyny ulanyp bolar?

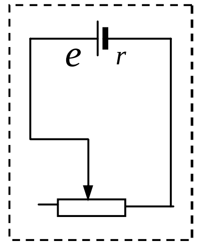
3.5.14. Uzaklygy $l = 90$ *m* aralyga p= *kWt* kuwwatly elektrik energiýany geçirmek üçin nähili *S* kese kesikli mis simini ulanmaly? Ulanyjylardaky naprýaženiýe $U = 110$ *W*. Iki simli elektrik geçirijilerdäki kuwwatyň ýitgisi 5% - den ýokary däl.

3.5.15. Geçirji simdaky kuwwatyň ýitgisini 100 gezek azaltmak üçin tok çeşmesiniň *U* naprýaženiýesini näçe *n* gezek ýokarlandyrmaly? Birinji halda geçiriş simindaky naprýažýäniň ýitgisi $\Delta U = nU$ şerte laýyk gelýär. Bu ýerde *U* elektrik ulanyjylardaky naprýaženiýe.

3.5.16. EHG -si e, içki garşylygy *r* bolan elektrik toküýtgeýän geçiriji (reostat) bilen birikdirilen (3.5.2 - nji çyzgy), daşky zynjyrdan bölünip çykýan p_1 kuwwatyň *I* tok güýji bilen

funksional baglanyşygyny aňlatmaly. Bu baglanyşygyň grafigini çyzmaly. Haýsy tokda kuwwat iň uly ?

3.5.17. Tok çeşmesinin EHG- si e =12 *W* çeşmäniň iň uly berip bilýän tok güýji $I_{iňuly}$=6 *A*. Daşky zynjyrda bölünip çykýan kuwwatyň iň uly bahasyny kesgitlemeli.



3.5.2-nji çyzgy.
Ÿapyk elektrik zynjyry

3.5.18. Tok güýjüniň I_1=5 *A* ululygynda daşky zynjyryň tok çeşmesinden ulanýan kuwwat P_1= 9,5 *Wt*. Eger daşky zynjyryň garşylygy $R_2 = 0{,}225$ *Om* bolsa, onda ulanylýan kuwwat P_2=14,4 *Wt*- deň. Daşky zynjyryň bu çeşmesinden ulanylyp boljak $P_{iň\ uly}$ iň uly kuwwaty näçe bolar? Bu şertde çeşmäniň PTK.-si näçä deň ?

3.5.19. Elektrik hereketlendiriji güýji e=10*W*, içki garşylygy r=20 *Om* bolan tok daşky zynjyryň nähili garşylygynda iň uly kuwwat berip biler? Bu kuwwatyn $P_{iň\ uly}$ bahasy nähili?

3.5.20. Garşylyklary R_1 we R_2 bolan iki ulanyjy başda özara parallel, soňra bolsa, yzygider birikdirilip, hemişilik tok çeşmesine dakylýar. Haýsy halda elektrik zynjyrdan uly kuwwwat talap edilýär? Ýokardaky şerti $R_1 = R_2$ hal üçin hem aýratyn seretmeli.

3.5.21. Seredilýän geçirijiniň *R* garşylygy gyzgynlyga bagly däl we onuň umumy ýylylyk sygymy *C*. Ony t=0 pursatda hemişelik *U* naprýajenieli tok çeşmesine birikdirdiler.Geçirijiniň özüni gurşap alan howa bölüp çykarýan ýylylyk kuwwatyny $Q = k\cdot(T-T_0)$ hasalap (bu erde *k* hemişelik, T_0-geçirijini gurşap alan daşky gurşawyň temperaturasy) geçirijiniň *T* temperaturasynyň *t* wagta baglylygyny kesgitlemeli. Geçirijiniň başdaky temperaturasy daşky gurşawyň T_0 temperaturasyna deň.

4.3. ELEKTROLITLERDÄKI WE GAZLARDAKY ELEKTRIK TOGY

Esasy kesgitlemeler we aňlatmalar

Elektroliz üçin Faradeýiň kanunlary:

- *Elektrolitlerden elektrik togy akyp geçende onuň içindäki elektrodlaryň haýsy hem bolsa birisinde bölünip çykýan maddanyň m massasy elektrolitden geçýän q elektrik zarýadyna baglydyr:*

$$m = K q . \qquad (4.3.1)$$

Bu yerde K -maddanyň (elektrolitleriň) elektrohimiki ekwiwalenti.

- *Maddanyň K elektrohimiki ekwiwalenti olaryň himiki ekwiwalentine deňdir:*

$$K = C \frac{M}{Z} . \qquad (4.3.2)$$

Bu yerde C - baglylyk koeffisiýenti. Ol F Faradeýiň sanynyň ters ululygyna deňdir. Ýagny (C=1/F $F = 96,5 \cdot 10^3\ Kl/mol$), M maddanyň molýar massasy, Z onuň walentliligi .

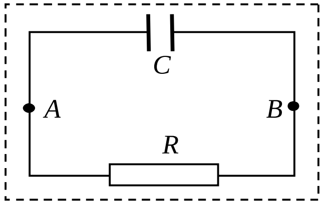
Faradeýiň birinji 4.3.1-nji we ikinji 4.3.2-nji kanunlaryny bilelikde aşakdaky görnüşde ýazyp bolar :

$$m = \frac{M}{Z}\frac{q}{F} . \qquad (4.3.3)$$

Elektrolitlerdäki akyp geçýän toguň j **dykyzlygy** , ondaky elektrik meýdanyň E güýjenmesine , položitel we

Bu zynjyrdaky R garşylykdan τ wagtyň dowamynda geçen zarýady we bölünip çykan ýylylyk mukdarlaryny kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i : Kondensatordaky $U_{AB} = q/C$ naprýaženiýe garşylygyň uçlaryndaky U_{AB}=IR naprýaženiýä deňdir:



4.1.1-nji çyzgy. *Garşylyk bilen utgaşdyrylan kondensator*

$$U_{AB} = \frac{q}{C} . \qquad (1)$$

Bu ýerde tok güýji

$$I = -\frac{dq}{dt} , \qquad (2)$$

deňdir. Sebäbi elektrik togy kondensatoryň zarýadsyzlanmasynyň hasabyna ýüze çykýar. Soňky aňlatmany 1-nji deňlikde ornuna goýup alarys:

$$\frac{dq}{dt} = -\frac{q}{RC} . \qquad (3)$$

Ýa-da

$$\frac{dq}{q} = \frac{1}{RC} dt ,$$

bu deňlemäniň çözüwi

$$lnq = -\frac{t}{RC} + lnC, \quad q = Ce^{-t/(RC)} ,$$

görnüşdedir. Başlangyç şerti hasaba alyp, C hemişeligi kesgitläliň:

$$q(t=0) = C = q_0 .$$

Onda

$$q = q_0 e^{-t/(RC)} .$$

Indi τ wagtyň dowamynda R garşylygyň üstünden akyp geçen q_1 zarýady tapyp boar:

$$q_1 = q_0 - q_0 e^{-\tau/(RC)} = q_0\left(1 - e^{-\tau/(RC)}\right) . \qquad (4)$$

Elektrik zynjyrdaky R garşylykda τ wagtyň dowamynda bölünip çykýan ýylylyk mukdaryny kesgitlemek üçin ýylylyk kuwwatyny wagta görä integrirlemek ýeterlikdir:

$$Q = \int_0^{\tau} I^2 R dt = \frac{q_0^2}{RC^2}\int_0^{\tau} e^{-2t/(RC)} dt = \frac{q_0^2}{2C}\left(1 - e^{-2\tau/(RC)}\right). \qquad (5)$$

TALYPLARYŇ ÖZBAŞDAK TAÝÝARLYKLARYNY BARLAMAK ÜÇIN SORAGLAR

1. Metallarda togy äkidijileriň tebigaty.
2. Uçlarynda $\Delta\varphi > 0$ potensiallaryň tapawudy döredilen metal geçirijilerdäki togy äkidijileriň hereketiniň tizlenmesi.
3. Geçirijilerdäki elektrik tok güýjüniň dykyzlygynyň wektorynyň ugry.
4. Omuň kanunynyň differensiyal görnüşi.
5. Nusgawy nazaryýet esasynda metal geçirijileriň ydel geçirijiligi.
6. Elektronlaryň ýylylyk we tertipli hereketleriniň tizlikleriniň gatnaşygy.
7. Nusgawy nazaryýetiň yetmezçilikleri.
8. Lensiň we Joulyň kanunynyň differensiyal görnüşi.

4.2.12. Bölümleriniň bahasy *C*=15 *nA/böl* we temperaturanyň üýtgemegini 6 *mK* takyklyga çenli ölçäp bilýän galwanometriň R_g garşylygyny kesgitlemeli. Galwanometriň peýkamjagazy 10-njy bölümde. Galwanometre birikdirilen termoparanyň hususy garşylygy R_T =6 *Om* we udel EHG-si α=50 *mW/K.*

4.2.13. Misden elektronlaryň çykyş işi A_m = 4,47 *eW* , gurşundan çykyş işi bolsa, A_g =3,74 *eW*. Bu iki metalyň daşky galtaşma sepindäki potensiýallaryň tapawudyny kesgitlrmeli. Geçiriji elektronlaryň konsentrasiýasy iki metalda hem birmeňzeş hasaplamaly.

4.2.14. Temperaturasy *t*=27 ^{0} *S* bolan mis we kaliýniň içki sepindäki potansiýallarynyň tapawudyny kesgitlemeli.

4.2.15. Garşylygy $R_{ýj}$= 0.25 *Om* bolan konstantan –demir termoparany galwanometre birikdirýärler. Bu galwanometriň içki garşylygy R_1=5 *Om* we şkalasynyň bölümleriniň bahasy *C*=0,95 *mkA/ böl* bolup, ol zynjyra dakylan pursaty *I*= 85,0 *mkA* tok güýjüni görkezýär. Eger termoparanyň udel EHG-si α=51,60 *mkW/K* bolsa, galwanometr näçe bölüme gyşarypdyr we sepiň temperaturasy näçe ΔT aralyga çenli gyzypdyr?

konsentrasiýasyny kesgitlemeli. Dessäniň kese kesigi $S = 1\ mm^2$, elektron dessesiniň akymy bilen döredilen tok güýji I= 1,6 *mkA*. Elektronlar katoddan başlangyç tizliksiz çykýarlar we olar katod bilen anodyň arasynda döredilen U=28,5 *kW* potensiýallaryň tapawudy bilen güýçlendirilýär.

SEPDÄKI HADYSALAR

4.2.8. Mis-platina termoparanyň gyzgyn sepi Q= 4.19 *J* energiýany siňdirýän bolsa, termopara boýunça geçip biljek zarýadlaryň iň uly mukddary näçe? Termoparanyň gyzgyn sepiniň temperaturasy t = 100 ^0S sowugynyňky bolsa t_2= 0 $^0 S$. Bu termoparanyň EHG –si e =0,76 *mW*.

4.2.9. Garşylygy R_t=5 *Om* we udel EHG-si α=92 *kW/K* bolan wismut-demir termopara R_t=110 *Om* içki garşylykly galwanometre birikdirilen. Eger termoparanyň bir sepiniň temperaturasy $t_1 = 100^0 S$ we beýlekisiniňki $t_2 = 0\ ^0 S$ bolsa galwanometr nähili tok güýjini görkezer?

4.2.10. Gurşawyň temperatutasyny ölçemek üçin onuň içine nikel-hrom termoparanyň bir sepi salynan. Termoparanyň içki garşylygy R_T= 2 *kOm*, bölümleriniň bahasy *C= 10 nA/böl* bolan galwanometr bilen birikdirilen. Eger termoparanyň ikinji sepiniň temperaturasy $t_2 = 15^0 S$-ä deň bolup, galwanometriň görkeziji peýkamjagazy 25-nji bölümde bolsa , gurşawyň temperaturasyny kesgitlemeli. Termoparanyň udel EHG-si $\alpha = 0{,}5$ *mkW/K.*

4.2.11. Udel EHG-si $\alpha = 50$ *mkW/K,* seplerindäki temperaturanyň tapawudy $\Delta T = 500$ *K* bolan teermoparanyň EHG-ni kesgitlemeli.

ÖZBAŞDAK ÇÖZMEK ÜÇIN MESELELER

Gönükme 4.1.

4.1.1. Kese kesiginiň meydany $S = 0{,}4\ sm^2$ bolan metal geçirijiden I=0,8 *A* tok güýji akýar. Geçirijiniň her 1 sm^3 göwrüminde $N = 2{,}5 \cdot 10^{22}$ erkin elektron bar hasaplap, olaryň bir tarapa tertipli hereketiniň orta $< \vartheta >$ tizligini kesgitlemeli.

4.1.2. Kese kesiginiň meydany $S = 1mm^2$ bolan mis siminden I=10 A tok güýji akýar. Misiň her bir atomyna iki geçiriji düşýän halatynda geçirijidäki tok güýjüni döredýän elektronlaryň herekediniň $< \vartheta >$ orta tizligini kesgitlemeli.

4.1.3. Alýumin geçirijidäki tok güýjüniň dykyzlygy $j = 1A/mm^2$, alýuminiň her $1sm^3$ göwrüminde onuň atomlarnyň sanyna deň elektron bar hasaplap, olaryň bir tarapa tertipli hereketiniň $< \vartheta >$ orta tizligini kesgitlemeli.

4.1.4. Mis geçirijiden akýan tok güýjüniň dykyzlygy $j = 3A/mm^2$. Geçirijidäki elektrik meýdanynyň E güýjenmesini kesgitlemeli.

4.1.5. Kese kesigiň meydany *S=0,4* mm^2, uzynlygy *l=2 m* mis siminden tok akýar we ondan her sekuntda *Q=0,35 J* ýylylyk bölünip çykýar. Bu geçirijiniň kese kesiginden 1 sekuntda näçe elektron geçer?

4.1.6. Göwrümi V=6 sm^3 bolan mis geçirijiden hemeşelik tok akýar we her t = 1 min wagtda ondan Q=216,7 *J* ýylylyk bölünip çykýar . Geçirijidäki elektrik meýdanyň E güýjenmesini kesgitlemeli .

4.1.7. Kese kesiginiň meydany S bolan mis simden tok akýar. Elektrik meýdany tarapyndan geçirijidäki her bir erkin elektrona nähili F güýç täsir eder?

4.1.8. Wodorodyň atomynyň ýadrosynyň towereginde hereket edýän elektron nähili tok döreder? Elektronyň orbitasynyň radiusy $r = 5{,}3 \cdot 10^{-9}\, sm$.

4.1.9. Uzynlygy l =1000 m bolan göni metal geçirijiden $I = 60A$ tok güýji geçýär. Elektronlaryň jemi K impulsyny kesgitlemeli.

ÖZBAŞDAK ÇÖZMEK ÜÇIN MESELELER

Gönükme 4.2.

Termoelektron emissiýasy

4.2.1. Tizligi $\vartheta = 1{,}6 \cdot 10^{6}\, m/s$ bolan elektron seziýden ýasalan plastina urulanda ondan täze elektron goparylýarmy? Eger goparylýan bolsa , onda täze elektrony goparmak üçin plastina urulýan elektronyň nähili iň kiçi tizligi bolmaly?

4.2.2. Katodyň wolfram sapajagynynyň T=2000 K temperaturasynda elektron çyradaky doýgun tok güýji $I_d = 2{,}86\, mkA$. Eger katodyň sapajagynyň uzynlygy $l = 2sm$ bolsa, onda onuň diametri näçä deňdir?

4.2.3. Temperaturasy $T_1 = 2400\, K$ bolan wolframyň gyzgynlygyny ýene-de 100 K artdyrylsa onuň termoelektron emissiýasy näçe esse artar ?

4.2.4. Eiektron çyradan $I = 6{,}3mA$ tok güýji akanda onuň anodyndan $t = 1$ sagatda Q=63 J ýylylyk energiýa bölünip çykdy. Bölünip çykýan ýylylygy elektronyň kinetik energiýsynyň hasabyna bolup geçen hasaplap , katod dessesindäki elektronlaryň tizligini kesgitlemeli.

4.2.5. Telewizoryň elektronşöhle turbasyndaky biri beýlekisinden d=10 sm daşlykda ýerleşdirilen anod bilen katodyň arasynda E= 100 kW/m elektrik meýdanynyň güýjenmesi döredilen. Elektrik meýdany birhilli hasaplap, elektronyň turbanyň ekranyna urlan pursaty onuň tizligini we energiýasyny kesgitlemeli.

4.2.6. Elektron çyranyň anod togunyň güýji 10 mA-e deň bolsa , katoddan her sekuntda näçe elektron çykar?

4.2.7. Ossillografyň elektronşöhle turbajygynyň ekranynyň ýakynynda elektron dessedäki elektronlaryň n

Meseläniň şertine laýyklykda we $e = 1,6 \quad 10^{-19} \, Kl$,

$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \; J/K$, hemişeliklerden peýdalanyp $\frac{n_1}{n_2} \approx$ 3,57 – ä

deňdigini hasaplarys.

Diýmek, wismutyň erkin elektrnlarynyň göwrüm birligindäki sany surmanyňkydan 3,57 gezek uludyr. Şonuň üçin hem sepdäki gatlakda surma otrisatel zarýadlanýar (özüne kabul edýän elektronlary özünden berýäninden köp), wismut bolsa položitel zarýadlanýar (özüne birikdirýan elektronlaryndan ýitirýän elektronlary köpdür).

TALYPLARYÑ ÖZBAŞDAK TAÝÝARLYKLARYNY BARLAMAK ÜGIN SORAGLAR

1. Çykyş işi näme we ol HU-da haýsy birlikde kesgitlenýär ?
2. Termoelektron hadysasyny düşündirmeli.
3. Wakuum diodynyň işleýiş prinsipi nähili?
4. Diodyň wolt-amper häsiyetnamasy.
5. Wakuum diody üçin Omuň kanunyny ulanyp bolarmy ? Eger bolmaýan bolsa , sebäbini düşündirmeli.
6. Daşky we içki sepdäki potensiallaryň tapawudynyň döreýşi.
7. Termoelektrik hereketlendiji güýjiniň döreýşi we düşündirilişi.

4.2. TERMOELEKTRON EMISSIÝA WE SEPDÄKI HADYSALAR

Esasy kesgitlemeler we aňlatmalar:

▪ **Elektronlaryň metallardan çykyş işi.** Gaty we ergin maddalardan elektronyň wakuuma çykmagy üçin onuň eýe bolmaly iň kiçi energiýasyna çykyş işi diýilýär:

$$A = e\varphi = E_{p0} - E_f \; . \qquad (4.2.1)$$

Bu yerde E_{p0} potensiyal çukurjygyň çüňlügi, E_f Ferminiň energiýasy.

▪ **Termoelektron tok güýji** anod napryaženiýesiniň 3/2 derejesine baglydyr:

$$I = CU^{3/2} \; . \qquad (4.2.2)$$

Bu yerde C elektrodyň ölçeglerine we daşky görnüşine bagly hemişelik ululyk . Tekiz elektrodly diodlar üçin :

$$C = \frac{4}{9}\varepsilon_0 \frac{S}{d^2}\sqrt{\frac{2e}{m}} \; . \qquad (4.2.3)$$

Bu ýerde S katodyň üsti (ol adatça anodyň üsti bilen deňeçerdir), e/m elektronyň udel zarýady , d katod bilen anodyň arasyndaky uzaklyk.

▪ **Doygun tok güýjüniň j_d dykyzlygynyň katodyň T temperaturasyna baglylygy** Riçardsonyň we Deşmeniň deňligi bilen kesgitlenilýär:

$$j_d = BT^2 exp\left[-A/(kT)\right] \quad (4.2.4)$$

Bu yerde B=60,2 kA/K - hemişelik ululyk , k- Bolsmanyň hemmişeligi, T - katodyň termodinamiki temperaturasy, A - termoelektron çykyş işi.

POTENSI ALLARYŇ SEPDÄKI TAPAWUDY

- **Daşky sepdäki potensiallaryuň tapawudy:**

$$U_{12} = \frac{A_2 - A_1}{e} . \quad (4.2.5)$$

- **Içki sepdäki potensiallaryuň tapawudy:**

$$U_{12}^1 = \frac{k \cdot T}{e} \cdot ln\frac{n_1}{n_2} . \quad (4.2.6)$$

Bu yerde n_1 we n_2 sepleşýän metallardaky geçiriji elektronlaryň göwrüm birligindäki sany, e elektronyň zarýady.

- **Termoelektrik hereketlendiriji güýç (Termo EHG).**

Dürli materiallardan ýasalan termoparalaryň uçlaryndaky temperaturanyň tapawudy esasynda $\mathcal{E}$ termo EHG döreýär we ol

$$\mathcal{E} = \int_{T1}^{T2} \alpha_{12} dT \quad , \quad (4.2.7)$$

we T_2=1760 K bolar.

Bäşinji ýakynlaşmada dördünji bilen ýokary takyklykda gabat gelýän temperaturanyň alynýandygyna göz ýetirmek ýeňildir. Şeýlelikde, gözlenilýän ululyk T_2=1760 K.

M e s e l e 4.2.3. Termoelektrik zynjyry wismut we surma geçirijilerden düzülip, olaryň uçlary özara kebşirlenen. Bu hili termoparanyň sepleriniň arasyndaky temperaturanyň tapawudy ΔT=100^0 S bolsa, onda $\mathcal{E}$=$1{,}1\cdot 10^2$ W termo EHG döreýär. Wismutyň erkin elektronlarynyň konsentrasiýasynyň surmanyň erkin elektronlarynyň konsentrasiýasyna bolan gatnaşygyny kesgiitlemeli .

Ç ö z ü l i ş i : D.I.Mendeleýewiň maddalaryň periodiki ulgamyndaky wismutyň ýerleşiş tertibi 83-e, surmanyňky bolsa 51-e deň. Diýmek , wismutyň elektronlarynyň göwrümleýin sany n_1 surmanyň elektronlarynyň göwrümleýin n_2 sanyndan uludyr $(n_1 > n_2)$. Bu bolsa surma bilen wismutyň sepi gyzdyrylanda ol ýerde potensiýallaryň tapawudynyň döremegine sebäp bolýar .Bu şertde döreýän termotoguň EHG-si 4.2.9-njy deňlik bilen kesgitlenýär . Ýagny:

$$\mathcal{E} = \frac{k}{e}\left(T_2 - T_1\right) ln\frac{n_1}{n_2} .$$

Bu ýerden

$$ln\frac{n_1}{n_2} = \frac{e\mathcal{E}}{k\left(T_2 - T_1\right)} . \quad (1)$$

Ýa-da

$$\frac{n_1}{n_2} = exp\frac{e\mathcal{E}}{k\left(T_2 - T_1\right)} . \quad (2)$$

$$B_2T_2^2exp\left(-\frac{A_2}{kT_2}\right)=2,84\cdot10^3\,\frac{A}{m^2}. \qquad (1)$$

Udel emissiýanyň temperatura baglylygy T^2 köpeldiji arkaly däl-de, esasan $exp\left(-A/(kT)\right)$ eksponenta arkaly kesgitlenilýär. Onda birinji ýakynlaşmada

$$B_2T_1^2exp\left(-\frac{A_2}{kT_2}\right)=B_2\left(2500\right)^2exp\left(-\frac{A_2}{kT_2}\right)=2,84\cdot10^3\,\frac{A}{m^2},$$

bu ýerden

$$exp\left(-\frac{A_2}{kT_2}\right)=\frac{2,84\cdot10^3}{0,3\cdot10^7\left(2500\right)^2}=1,86\cdot10^{-8}$$

we T_2 =1690 K.
Ikinji ýakynlamada

$$B_2T_2^2exp\left(-\frac{A_2}{kT_2}\right)=B_2\left(1690\right)^2exp\left(-\frac{A_2}{kT_2}\right)=2,84\cdot10^3\left[\frac{A}{m^2}\right],$$

bu ýerden T_2=1770 K. Edil ýokardaky ýaly çemeleşip, ýazarys

$$B_2\left(1770\right)^2exp\left(-\frac{A_2}{kT_2}\right)=2,84\cdot10^3\,\frac{A}{m^2},$$

Onda üçünji ýakynlaşmada T_2=1750 K bolar.
Dördünji ýanlaşmada

$$B_2\left(1750\right)^2exp\left(-\frac{A_2}{kT_2}\right)=2,84\cdot10^3\,\frac{A}{m^2},$$

aňlatma bilen hasaplanylýar. Bu ýerde $\alpha_{12}=\alpha_1-\alpha_2$ - termoparanyň ýasalan jübüt metallaryň (ýarym geçirijiniň) differensial ýa-da başgaça udel EHG-si. Udel EHG degişli geçirijilerdäki elektronlaryň konsentrasiýalarynyň gatnaşyklarynyň logarifmasy bilen hem kesgitlenýär:

$$\alpha_{12}=\frac{k}{e}\cdot ln\frac{n_1}{n_2}\;. \qquad (4.2.8)$$

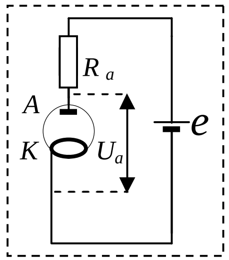
Onda 4.2.8-nji aňlatmany hasaba alyp , 4.2.7-nji deňligi

$$e=\frac{k}{e}(T_2-T_1)ln\frac{n_1}{n_2}, \qquad (\;4.2.9\;)$$

görnüşde ýazyp bolar. Bu ýerde e - elektronyň zarýady , k- Bolsmanyň hemişeligi.

MESELELERIŇ ÇÖZÜLIŞINE MYSALLAR

***M e s e l e* 4.2.1.** Iki elektrodly käbir elektron çyranyň anod togy napryaženiýäniň kesgitli aralygynda eiektrodlaryň arasyndaky U potensiallaryň tapawudy bilen $I_a=AU+BU^2$ deňleme arkaly baglanyşykly . Munuň ýaly çyra R_a=2 10^4 Om garşylyk bilen yzygider e =120 W EHG-si bolan tok çeşmesiniň zynjyryna dakylanda döreýän anod toguny kesgitlemeli. Seredilýän çyra üçin A=150 mkA/W, B=5 mkA / W^2. Tok çeşmesiniň içki garşylygyny hasaba almaly däl .



4.1.1-nji çyzgy.
Wakuum diodly elektrik zynjyry

Ç ö z ü l i ş i : Meseläniň şertine görä diodyň R_a garşylygy we tok çeşmesi bilen emele getirýän shemasy 4.1.1-nji çyzgyda şekillendirilen. Bu shema laýyklykda Omuň kanunynyň esasynda

$$e = I_a R_a + U_a \quad . \tag{1}$$

Meseläniň şertine görä :

$$I_a = AU_a + BU_a \ . \tag{2}$$

Bu ýerden

$$BU_a^2 + AU_a - I_a = 0 \ . \tag{3}$$

Indi 1-nji deňlikden I_a – nyň bahasyny tapyp, $I_a = \dfrac{e - U_a}{R_a}$

we ony 3- nji deňlikde ornuna goýup alarys :

$$BU_a^2 + AU_a - \left(\frac{e - U_a}{R_a}\right) = 0 \ .$$

Ýa-da

$$BR_a U_a^2 + AR_a U_a - e + U_a = 0. \tag{4}$$

Bu yerden bolsa aşakdaky kwadrat deňlemäni alarys:

$$BR_a U_a^2 + (AR_a + 1)U_a - e = 0 \ . \tag{5}$$

Bu kwadrat deňlemäniň položitel köküni alalyň, sebäbi U_a - nyň otrisatel bahasyna degişli I_a örän ujypsyz bolar . Biz bolsa zynjyr boyunça (4.1.1-nji çyzgy) onuň položitel ugruna seredýäris. Onda 5-nji deňlemeden :

$$U_a = \frac{-(AR_a + 1) + \sqrt{(AR_a + 1)^2 + 4BR_a e}}{2BR_a} \ . \tag{6}$$

Şunlukda 4-nji deňlikde 6 -njy deňleme boyunça U_a - nyň bahasyny goýup, I_a anod togy üçin gutarnykly deňlemäni alarys:

$$I_a = \frac{e - U_a}{R_a} = \frac{e}{R_a} + \frac{(AR_a + 1) - \sqrt{(AR_a + 1)^2 + 4BR_a e}}{2B_a R_a^2} \ . \tag{7}$$

Meseläniň şertindäki ululyklaryň san bahasyny ulanyp, 7-nji deňligiň esasynda $I_a = 5 \cdot 10^{-3}\ A$ deňdigini hasaplap bileris .

***M e s e l e* 4.2.2.** Haýsy T_2 temperaturada toriýlenen, ýagny düzümine toriý maddasy girizilen, wolfram T_1=2500 K temperaturadaky arassa wolframyň udel emissiýasyny berer? Arassa we toriýlenen (düzümine toriý girizilen) wolfram üçin emissiýa hemişeligi degişlilikde

$$B_1 = 0{,}6 \cdot 10^6\ A/(m^2 \cdot K^2);\ B_2 = 0{,}3 \cdot 10^7\ A/(m^2 \cdot K^2)$$

deň, olaryň çykyş işleri bolsa A_1= 4,5 eW we A_2= 2,63 eW.

Ç ö z ü l i ş i : T_1=2500 K temperaturada arassa we T_2 temperaturada toriýlenen wolframyň udel emissiýasy degişlilikde

$$j_1 = B_1 T_1^2 exp\left(-\frac{A_1}{kT_1}\right) = 2{,}84 \cdot 10^3 \frac{A}{m^2}$$

$$j_2 = B_2 T_2^2 exp\left(-\frac{A_2}{kT_2}\right) \ \text{deň.}$$

Meseläniň şertine görä $j_1 = j_2$, ýagny

MESELELERIŇ ÇÖZÜLIŞINE MYSALLAR

***M e s e l e* 4.4.1.** Hususy geçirijiligi bolan kremniýniň udel geçirijiliginiň logarifmasynyň degişlilikde $1175^{0}S$ we $430^{0}S$ temperatura laýyk gelýän iki bahasy $lg\gamma_1 = 4$ we $lg\gamma_2 = 2$ tejribe üsti bilen kesgitlenipdir. Berlen temperaturalaryň aralygynda gadagan zolagyň inini hemişelik hasaplap, onuň ululygyny kesgitlemeli.

Ç ö z ü l ü ş i : Hususy geçirijilikli ýarymgeçirijileriň udel geçirijiligi temperatura bilen eksponensial kanun boýunça üýtgeýär:

$$\gamma = \gamma_0\, e^{\frac{-\Delta E}{2kT}}\ .$$

Bu deňligi logarifmirläp, T_1 we T_2 iki temperatura üçin ýazalyň :

$$ln\gamma_1 = ln\gamma_0 - \frac{\Delta E}{2kT_1};\ ln\gamma_2 = ln\gamma_0 - \frac{\Delta E}{2kT_2}. \qquad (1)$$

Meseläniň şertinde γ_1 we γ_2 udel geçirijileriň san bahalary onluk logarifmde berilýänligi sebäpli 1-nji deňlemäni onluk logarifmada ýazalyň :

$$lg\gamma_1 = ln\gamma_0 - 0,43\frac{\Delta E}{2kT_1};\ lg\gamma_2 = ln\gamma_0 - 0,43\frac{\Delta E}{2kT_2}\cdot \qquad (2)$$

Bu deňliklerden

otrisatel ionlaryň süýşüjilikleriniň $\left(U_{(0+)} + U_{(0-)}\right)$ jemine hem-de elektrolidiň göwrüm birligindäki bar bolan ionlaryň n_0 jübüt sanyna (konsentrasiýasyna) baglydyr :

$$j = qn\beta\cdot\left(U_{(0+)} + U_{(0-)}\right)E\ . \qquad (4.3.4)$$

Bu yerde q - ionlaryň zarýady, β - dissosiýa koeffisiýenti ol dissosirlenen molekulalaryň sanynyň umumy molekulalaryň sanyna bolan gatnaşygyna deňdir.

Elektrolitleriň geçirijiligi $\gamma = j/E$ aňlatmanyň esasynda:

$$\gamma = qn\beta\cdot\left(U_{(0+)} + U_{(0-)}\right)\ . \qquad (4.3.5)$$

Ionlaryň $U_{(0\pm)}$ süýşüjiligi $E = 1\ W/m$ güýjenmeli elektrik meýdanynda degişlilikde položitel we otrisatel ionlaryň $\vartheta_{(0\pm)}$ tizligine deňdir:

$$U_{0(\pm)} = \frac{\vartheta_{(0\pm)}}{E}\ . \qquad (4.3.6)$$

GAZLARDAKY ELEKTRIK TOGY

Gazlardaky toguň dykyzlygy onuň doýgun we doýgun däl hallaryna baglydyr:

- Doýgun haldan daş pursatda tok güýjüniň dykyzlygy:

$$j = qn\cdot\left(U_{(0+)} + U_{(0-)}\right)\cdot E\ . \qquad (4.3.7)$$

Bu ýerde q- ionyň zarýady , n- položitel we otrisatel ionlaryň konsentrasiýasy, $U_{(0+)}$ - položitel we $U_{(0-)}$ - otrisatel ionlaryň süýşüjiligi , E - elektrik meýdanyň güýjenmesi.

- **Doýgun halda** gazlardaky tok güýjüniň dykyzlygy:

$$j_d = qnd \ . \tag{4.3.8}$$

Bu yerde q - ionlaryň zarýady, n - ionlaşdyryjynyň her sekuntda döredýän gazyň jübüt ionlarynyň konsentrasiýasy, d- elektrodlaryň arasyndaky uzaklyk .

Gazyň göwrüm birliginde sekuntsaýyn bitaraplaşýan (rekombinirlenýän) jübüt ionlaryň $\Delta n^{`}$ sany ionlaryň n konsentrasiýasynyň kwadratyna baglydyr:

$$\Delta n = r \cdot n^2 \ . \tag{4.3.9}$$

Bu yerde r bitaraplaşma koeffisiýenti.

MESELELERIŇ ÇÖZÜLIŞINE MYSALLAR

***M e s e l e* 4.3.1.** Bezeg şaý - seplerine (gülýaka) elektroliz usuly bilen altyn çaýylanda olaryň üstünden tok güýjüniň j dykyzlygy geçirilipdir. Altyn ýorkanyň galyňlygynyň ösüş tizligini kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i : Meseläni çözmek üçin 4.3.3-nji deňlik bilen aňladylan Faradeýiň birleşen kanunyny ulanalyň. Bu kanundaky m gülýakanyň üstünde bölünip çykýan altynyň massasy. Ony çaýylan metalyň D dykyzlygynyň we göwrüminiň üsti bilen aňladyp bolar:

4.4. ÝARYMGEÇIRIJILERDÄKI ELEKTRIK TOGY

Esasy kesgitlemeler we aňlatmalar

Hususy ýarymgeçirijilerde togy äkidiji bolup, elektronlar we deşikler hyzmat edýärler. Ýarymgeçirijilerde hem edil metallardaky ýaly 4.3.4-nji we 4.3.5-nji baglanşyklary öz içine alýan kanunlar ýerine ýetýär.

Hususy ýarymgeçirijileriň udel elektrik geçirijiligi

$$\gamma = en \cdot \left(U_{on} + U_{op}\right) \ . \tag{4.3.1.}$$

Bu ýerde e- elektronyň zarýady , n - olaryň konsentrasiýasy, U_{on} we U_{op} - degişlilikde elektronyň we deşigiň süýşüjilikleri.

Hususy ýarymgeçirijileriň udel elektrik geçirijiliginiň temperatura baglylygy eksponensial kanuna laýyklykda kesgitlenilýär:

$$\gamma = \gamma_0 exp\left(-\frac{\Delta E}{2kT}\right) \ . \tag{4.4.2.}$$

Bu ýerde ΔE -gadagan zolagyň ini, k- Bolsmanyň hemişeligi , T - kristalyň absolýut temperaturasy, γ_0- ýarymgeçirijiniň tebigatyna bagly hemişelik ululyk.

4.3.18. Zarýadsyzlanma turbajygynda, biri beýlekisinden d = 10 sm uzaklykda ýerleşdirilen elektrodlara U= 5 W potensiallaryň tapawudy goýulan. Turbadaky gaz ionlaşan we onuň göwrüm birligindäki jübüt ionlaryň sany n=10^8 m^{-3}. Ionlaryň süýşüjiligi $U_{(0+)}$ = 10^{-2} $m^2/(W{\cdot}s)$ we $U_{(0-)}$ $3{\cdot}10^{-2}$ $m^2/(W{\cdot}s)$. Tapmaly: a) turbadaky tok güýjüniň j dykyzlgyny ; b) doly tok güýjüniň haýsy mukdary (I_+/I) položitel ionlar bilen geçirilýär?

4.3.19. Yokary napryaženiýeli tok çeşmesine R = 10^6 Om garşylygyň üsti bilen sygymy C = 9 pF, plastinalarynyň arasy h = 3 sm bolan tekiz kondensator birikdirilen. Kondensatoryň plastinalarynyň arasyndaky howa rentgen şöhlesi bilen her sekuntda V = 1 sm^3 göwrümde N = 10^{-4} jübüt ion emele geler ýaly edilip şöhlelendirilýär. Ionlar bir walentli. Kondensatoryň plastinalarynyň arasyndaky togy doýgun hasaplap, R garşylygyň uçlaryndaky napryaženiýäniň U pese gaçmagyny kesgitlemeli.

4.3.20. Ionlaşdyryjy kameranyň göwrümi V = 620 sm^3. Eger ionlaşdyryjy her sekuntda 1 sm^3 göwrümde 10^{9} jübüt ion emele getirýän bolsa , kameradaky I_{doyg} doýgun toguň guýjüniň ululygyny kesgitlemeli. Ionlar bir walentli.

4.3.21. Ýeriň elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň orta ululygy E=130 W/m. Eger V = 1m^3 howada toguň emele gelmegini döredýän N =7 10^8 jübüt ion bar bolsa , atmosferadaky geçiriji tok güýjüniň j dykyzlygyny kesgitlemeli.

4.3.22. Biri beýlekisinden h =2 sm daşlykda ýerleşdirilen her biriniň meýdany S =300 sm^2 bolan plastinalardan ybarat kondensatordaky howa rentgen şöhleleri bilen ionlaşdyrylýar. Doýgun toguň döredýän napryaženiýesinden has kiçi bolan U = 150 W napryaženiýede plastynalaryň arasyndan I = 4 mkA tok akýar. Plastinalaryň arasyndaky ionlaryň konsentrasiýasyny kesgitlemeli.

$$m = DV\ .$$

Atynyň çaýylan meýdanyny S, onuň galyňlygyny bolsa, h bilen bellesek V=Sh. Onda m= DSh we q=It ulanyp 4.3.3-nji deňligi ýazalyň:

$$DSh = \frac{M}{ZF} It\ . \qquad (1)$$

Meseläniň şertine görä altyn ýorkanyň galyňlygynyň ösüş tizligi:

$$\vartheta = \frac{h}{t}\ . \qquad (2)$$

Diýmek , 1 –nji deňlikden bu ululygy tapyp bolar :

$$\vartheta = \frac{h}{t} = \frac{M}{DZF}\frac{I}{S} = \frac{M}{DZF} j \qquad (3)$$

Bu deňlikdäki M,D,Z we F ululyklary degişli tablisadan alyp, 3-nji deňlikden ýorkanyň tizligini kesgitläp bolar.

***M e s e l e* 4.3.2.** Göwrümleýin sany C bolan hlorly kaliýniň (KCl) suw ergininiň β dissosiýa koeffisiýentini kesgitlemeli. Bu ergniň berlen temperaturadaky udel garşylygy ρ, ionlaryň süýşüjiligi $U_{(0+)}$ we $U_{(0-)}$.

Ç ö z ü l i ş i : Meseläniň şertinde kesgitlemek talap edilýan β dissosasiýa koeffisiýentini elektrolitleriň geçirijiliginiň 4.3.5.-nji aňlatmasyndan tapalyň:

$$\beta = \frac{\gamma}{qn\left(U_{0+} + U_{0-}\right)} \, . \qquad (1)$$

Bu yerde

$$\gamma = \frac{1}{\rho} \qquad \text{we} \qquad n = \frac{N}{V} \, . \qquad (2)$$

Erginiň suwdaky konsentrasiýasy onuň göwrüm birligine düşýän massasydyr:

$$C = \frac{m}{V} \, . \qquad (3)$$

Bu deňligi ulanyp, 2-nji deňlik boýunça ýazyp bolar:

$$n = \frac{N \cdot C}{m} . \qquad (4)$$

Bu ýerde N ionlaryň haýsy hem bolsa bir görnüşiniň sanawy. Ol Awagadro N_a hemişeliginiň we erginiň molunyň v sany bilen baglanşyklydyr:

$$N = v \cdot N_a = N_a \frac{m}{M} .$$

Bu ululygy 4-nji deňlikde goýup alarys:

$$n = \frac{N_a c}{M} \, . \qquad (5)$$

Bu ýerde M hlorly kaliýniň molýar massasy.

Gazlardaky elektrik togy

4.3.14. Uzynlygy l= 84 *sm*, kese kesiginiň meýdany S = 5 mm^2 bolan turbanyň içi howa bilen doldurylan. Eger howanyň V=1 sm^3 göwrüminde $N=10^7$ jübüt ion emele geler ýaly ionlaşdyrylýan bolsa, turbadaky howanyň R garşylygyny kesgitlemeli. Ionlar bir walentli we olaryň süýşüjiligi $U_{(0+)}$ =1,3·10^{-4} $m^2/(W{\cdot}s)$ we $U_{(0-)}$=1,8·10^{-4} $m^2/(W{\cdot}s)$.

4.3.15. Ionlaşdyryjy kamerada biri beylekisinden h = 0,05 m uzaklykda ýerleşdirilen elektrodlaryň arasyndaky doýgun toguň güýjüniň dykyzlygy $j = 1{,}610^{-5}\ A/m^2$. Bu giňişligiň V=1 sm^3 göwrüminde her 1 s wagtda emele gelýän bir walentli jübüt ionlaryň n sanyny tapmaly.

4.3.16. Kosmiki şohlelenme we topragyň radioaktiwligi sebäpli ýeriň üstüne ýakyn atmosferanyň V = 1 sm^3 göwrüminde her 1 s wagtda ortaça 5 jübüt ion emele gelýär. Biri beýlekisinden h = 10 sm daşlykda ýerleşdirilen meýdany S = 100 sm^2 bolan tekiz elktrodlaryň arasyndaky atmosfera gatlagyndan akyp geçýän doýgun toguň güýjüniň I_{doyg} ululygyny kesgitlemeli. Ionlary bir walentli hsaplamaly.

4.3.17. Içi howaly tekiz kondensatoryň plastinalaryna U= 300 W naprýaženiýä birikdirilen. Kondensatoryň howa gatlagy ultramelewşe şöhle bilen şöhlelendirilende onuň zynjyryna birikdirilen galwanometr I=10^{-8} A tok güýjüni görkezdi. Tok doýgun däl. Kondensatoryň plastinalarynyň meýdany S= 200 sm^2, olaryň arasyndaky uzaklyk h = 3 sm. Eger howanyň ionlarynyň süýşüjiligi degişlilikde $U_{(0+)}$=1,1·10^{-4} $m^2/(W \cdot s)$ we $U_{(0-)}$=1,2·10^{-4} $m^2/(W \cdot s)$ bolsa kondensatordaky ionlaryň konsentrasiýasyny kesgitlemeli.

çykýan wagtynda ikinji elektrolit taňňyrynda misiň näçe massasy bölünip çykar ?

4.3.8. Nikel sulfatynyň ($NiSO_4$) elektrolit ergininiň üsti boýunça $j = 5\ mA/sm^2$ dykyzlykly tok güýji akýar. Elektrodlaryň birisinde *h*= 50 *mkm* galyňlykly ýorka näçe wagtda emele geler? Eger elektrodlaryň arasyndaky naprýaženiýe *U* = 7 *W* bolsa *S* = 1 mm^2 meýdanda t_2= 1 *sag* wagtda agzalan galyňlykdaky nikeli çaýmak üçin nähili toguň kuwwaty zerur ?

4.3.9. Suwuň elektrolizinde taňňyr boýunça *t* = 25 *min* wagtyň dowamynda *I* = 20 *A* tok güýji geçirildi. Bu halatda emele gelen kislorodyň *T* temperatrasyny kesgitlemeli. Kislorodyň eýe bolan göwrümi *V* = 1,0 *l* we basyşy *p* = 0,2 *MPa*. Kislorod üçin M/Z=8,29·10 $^{-8}$ *kg/Kl*.

4.3.10. Düzüminde mis bolan elektrolitiň üstünden *t* = 1 *sag* 12 *min* wagtyň dowamynda *I*= 2,2 *A* tok güýji geçirilse, elektrodda *m* = 1,65 *g* massa bölünip çykdy. Gurluşyň η PTK-syny kesgitlemeli.

4.3.11. Mis sulfatly elektrolit taňňyryna dakylan ampermetr *I*= 5 *A* tok güýjüni görkezýär. Eger katodda *t*=25*min* wagtyň dowamynda *m* = 2,1 *g* mis bölünip çykan bolsa , ampermetr tok güýjüni dogry görkezipdirmi?

4.3.12. EHG –si e =1,5 W, içki garşylygy *r* = 0,5 *Om* tok çeşmesi *R* = 3,0 *Om* garşylyk bilen ýapyk zynjyry döredýär. Tok çeşmesi näçe wagtda özüniň *m* = 5,0 *g* massaly sinkini harç eder?

4.3.13. Massasy *m*= 1*kg* bolan alýumin almak üçin näçe elektrik energiýasy zerur? Elektroliz *U*= 10 *W* naprýaženiýede geçirilýär we gurluşyň PTK-sy $\eta = 80\%$. Alýuminiň molýar massasy *M*=27·10 $^{-3}$ *kg/mol*.

Seredilýän ergini düzýän ionlaryň bir walentlidigi üçin *q = e*. Ýokardaky 2-nji we 5-nji deňlikleri göz öňünde tutup, 1 -nji deňlikden :

$$\beta = \frac{M}{eN_a C(U_{(0+)} + U_{(0-)})\rho} . \qquad (6)$$

Tablisadan hlorly kaliýniň *M* molýar massasyny alyp , 6-njy deňlik boýunça β dissosasiýa koeffisiýentini kesgitläp bolar.

***M e s e l e* 4.3.3*.** Eger-de mis kuporosynyň ergininiň üstünden akýan tok güýji deňölçegli 0-dan 4 *A*-e çenli artsa, onda 10 sekundyň dowamynda katodda bölünüp çykýan misiň massasyny kesgitlemeli.

Ç ö z ü l ü ş i: Faradeýiň kanunyna görä, katodda bölünüp çykýan maddanyň massasy:

$$m = \frac{Aq}{Fn} . \qquad (1)$$

Gözegçilik wagtynyň dowamynda erginden akyp geçen zarýad :

$$q = \int_0^{t_2} Idt . \qquad (2)$$

Meseläniň şertine görä

$$I = kt . \qquad (3)$$

Bu ýerde *k* proporsionallyk koeffisiýenti. Bu 3-nji deňligi t_2 wagt pursaty üçin ýazalyň $I_2 = kt_2$. Bu ýerden bolsa $k = I_2/t_2$. Muny hasaba alyp, 3-nji deňligi

$$I = I_2 \frac{t}{t_2} , \qquad (4)$$

görnüşde aňladyp bolar. Bu 4-nji we 2-nji deňliklerden

$$q = \int_0^{t_2} I_2 \frac{t}{t_2} dt = \frac{I_2}{t_2} \int_0^{t_2} t\, dt = \frac{I_2}{t_2} \frac{t_2^2}{2} = \frac{I_2 t_2}{2}.$$

Onda 1-nji deňlige görä :

$$m = \frac{AI_2 t_2}{2Fn} \quad . \qquad (5)$$

Meseläniň şertindäki ululyklardan peýdalanyp, 5-nji aňlatma boýunça katodda $m = 6,65 \cdot 10^{-6}\ kg$ misiň bölünip çykýandygyny hasaplap bolar.

***M e s e l e* 4.3.4.** Her birisiniň meýdany $S = 250\, sm^2$ bolan tekiz plastinalaryň arasynda göwrümi $V = 375\ sm^3$ wodorod ýerleşdirilen. Gazdaky ionlaryň konsentrasiýasy $n = 5,3 \cdot 10^3\ sm^{-3}$. Kondensatoryň zynjyryna dakylan galwanometrde $I = 2\ mkA$ tok güýjüni almak üçin onuň plastinalaryna nähili naprýaženiýe goýmaly? Položitel we otrisatel ionlaryň süýşüjiligi degişlilikde $U_{(0+)} = 5,4\ sm^2/(W \cdot s)$ we $U_{(0-)} = 7,1\, sm^2/(W \cdot s)$.

Ç ö z ü l i ş i : Kondensatoryň plastinalaryna goýulan U naprýaženiýäni onuň içindäki elektrik meýdanyň E güýjenmesiniň üsti bilen aňladalyň :

$$U = E\, h \quad . \qquad (1)$$

ÖZBAŞDAK ÇÖZMEK ÜÇIN MESELELER

Gönükme 4.3.

Elektrolitlerdäki elektrik togy

4.3.1. Elektrolitiň üstünden I=5 A tok güýji geçirilende t= 10 *min* wagtda elektrodlaryň birisinde iki walentli metalyň m=1,02 g mukdary bölünip çykypdyr. Onuň ionynyň otnositel molýar massasyny kesgitlemeli .

4.3.2. Iki sany elektrolit taňňyry yzygider birikdirilen. Birinji taňňyrda m_1 = 3,9 g sink, ikimjisinde bolsa şol bir wagt içinde $m_2 = 2{,}24\, g$ demir bölünip çykypdyr. Sink iki walentli. Demiriň walentligini kesgitlemeli.

4.3.3. Içinde mis kuporosynyň ergini bolan elektrolit taňňyry akkumulýatora birikdirilen. Akkumulýatoryň EHG-si e = 4W, içki garşylygy r = 0.1 Om. Eger polýarlanma EHG-si e_p=1,5 W , ergniň garşylygy R=0,5 Om bolsa t = 10 *min* elektroliz wagtynda elektrotda misiň näçe m mukdary bölünip çykar?

4.3.4. Mis kuporosynyň elektrolizinde t = 5 *sag* wagtyň dowamynda tok güýjüniň dykyzlygy $j = 80 A/m^2$ hemişelik saklanylýar. Elektrotda bölünip çykan mis ýorkanyň h galyňlygyny kesgitlemeli.

4.3.5. Mis kuporosynyň elektrolit taňňyryndan geçýän tok güýji Δt =20 s wagt aralygynda I_0 = 0 –dan I= 2 A ululyga çenli deňölçegli artýar. Bu wagt aralygynda katodda bölünip çykan misiň m massasyny kesgitlemeli.

4.3.6. Elektrodyň S = 1 sm^2 üstünde iki walentli metalyň näçe atomy bölünip çykar? Elektroliziň dowamlylygy t = 5 *min*, üstünden geçýän tok güýjüniň dykyzlygy $j = 10\ A/m^2$.

4.3.7. Içi hlorly demir ($FeCl_5$) we mis kuporosly ($CuSO_4$) iki sany elektrolit taňňyry yzygider birikdirilen. Birinji $FeCl_3$ taňňyrdaky elektrodda demiriň m_1 massasy bölünip

TALYPLARYÑ ÖZBAŞDAK TAÝÝARLYKLARYNY BARLAMAK ÜÇIN SORAGLAR

1. Elektrolitlerdäki tok güyji diýip nämä aýdylýar?
2. Elektrolitlerdäki dissosasiýany molekulalaryň üsti bilen düşündirmeli. Ionlaryň dissosirlenmegine temperatura nähili täsir edýär?
3. Elektrolitlerdäki we metallardaky tok güýçleriniň meňzeşlikleri we aýratynlyklary.
4. Elektrolitlerdäki tok güýjüniň dykyzlygy nämä bagly?
5. Elektrolitleriň geçirijiligini düşündirmeli .
6. Gazlaryň ionlaşmagynyň sebäplerini urgy we ýylylyk täsiri boýunça düşündirmeli.
7. Özbaşdak däl we ozbaşdak zarýadsyzlanma.
8. Gaz ionlarynyň süýşüjiligi .
9. Gazlardaky tok güýjüniň dylyzlygy onuň doýgun we doýgun däl hallarynda nähili aňladylýar?
10. Gaz ionlarynyň bitaraplaşma koeffisiýentiniň manysyny düşündirmeli.
11. Tebigatda we tehnikada gaz zarýadsyzlanmalarynyň mysallary.

Bu ýerde *h*- kondensatoryň plastinalarynyň arasyndaky uzaklyk. Zynjyrdaky tok güýjüni doýgun haldan daş hasaplap, elektrik meýdanynyň *E* güýjenmesini 4.3.4-nji deňlikden taparys :

$$E = \frac{j}{qn\left(U_{(0+)} + U_{(0-)}\right)} . \qquad (2)$$

Ýa-da 1-nji deňlige laýyklykda:

$$U = \frac{jh}{qn\left(U_{(0+)} + U_{(0-)}\right)} = \frac{I \cdot V}{qn\left(U_{(0+)} + U_{(0-)}\right)S^2} . \qquad (3)$$

Sebäbi $V = h \cdot S$ we $j = I/S$.

Degişli ululyklary 3-nji deňlikde goýup , U = 110 *W*-dygyny bileris.

M e s e l e 4.3.5. Eger-de gaz zarýadsyzlanma turbajygynyň elektrodlarynyň arasy 10 *sm* bolsa we onuň 1sm^3 göwrümünde kosmiki şöhlelenmäniň täsirinde her sekuntda 10 jübüt bir walentli ionlar döreýän bolsa, onda doýgun toguň dykyzlygyny kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i : Kesgitlemä görä, doýgun toguň dykyzlygy

$$j_d = \frac{I_d}{S} . \qquad (1)$$

Bu ýerde I_d - doýgun toguň güýji, *S* - turbajygyň kese kesiginiň meýdany. Bu aňlatmadaky ululyklary $I_d = q/t$, *q*=*enV*, *V*=*lS* hasaplap, (V turbajygyň göwrümi, $n=2n_j$, n_j jübüt ionlaryň sany), 1-nji aňlatmany

$$j_d=\frac{q}{tS}=\frac{enV}{tS}=\frac{2en_j l}{t}, \qquad (2)$$

görnüşde ýazarys. Her sekuntda turbajygyň $1m^3$ göwrüminde emele gelýän jübüt ionlaryň sanyny $n_{jt}=n_j/t$ belläliň, onda

$$j_d=2en_{jt}\,l. \qquad (3)$$

Meseläniň şerti boýunça degişli ululyklary 3-nji aňlatmada goýup, $j_d=3,2\cdot10^{-13}\,A/m^2$ -dygyny hasaplap bolar.

***M e s e l e* 4.3.6.** Ionlaşdyryjy kameranyň elektrodlarynyň her biriniň meýdany S=0,01 m^2, olaryň aralygy h=6,2 sm. Eger her sekuntda kameranyň göwrüm birliginde N = 10^{15} sany jübüt ion döreýän bolsa, elektrodlaryň arasyndan geçýän tok güýjüniň doýgun I_d ululygyny kesgitlemeli.

Elektrodlara U=220 W potensiallar tapawudy goýulsa, olaryň arasyndan näçe mukdarda I tok güýjji geçer?

Ç ö zü l i ş i : Gazlarda toguň dykyzlygy 4.3.7-nji deňlik boýunça

$$j_d=qnh\ , \qquad (1)$$

tapylýar. Başga tarapdan

$$j_d=\frac{I_d}{S}\ . \qquad (2)$$

Onda $I_d/S=qnh$. Bu ýerde ionyň zarýady elektronyň zarýadynyň absolýut ululygyna deňdir ($q=e$). Belli ululyklardan peýdalanyp,

$$I_d=Sqnh=0,1\ mkA.$$

Gazlar üçin Omuň kanuny

$$j=qn\left(U_{(0+)}+U_{(0-)}\right)E\ , \qquad (3)$$

görnüşdedir. Bu ýerde $n=\sqrt{N/r}$, $q=e=1,6\cdot10^{-19}\ Kl$, $U_{(0\pm)}$ degişlilikde položitel we otrisatel ionlaryň süýşüjiligi. Onda

$$j=e\sqrt{\frac{N}{r}}\left(U_{(0+)}+U_{(0-)}\right)\frac{U}{h}\ . \qquad (4)$$

Indi 2-nji deňlige laýyklykda $j=I/S$, onda 4-nji deňligi hasaba alyp,

$$I=e\sqrt{\frac{N}{r}}\left(U_{(0+)}+U_{(0-)}\right)\frac{US}{h}=3,3\ nA. \qquad (5)$$

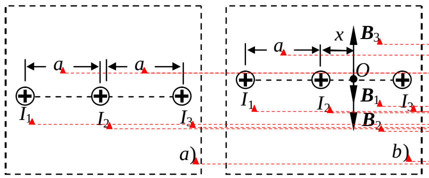
Indi I_d we I bahalarynyň gatnaşygyny hasaplalyň: $I/I_d=0,0033=3,3\%$. Diýmek, ionlaşdyryjy kameranyň elektrodlarynyň arasynda döreýän I_d doýgun tok güýji onuň içinden geçýän umumy I-niň 3,3% bölegini düzýär.

$$B_A = \frac{\mu_0}{2\pi} I \sqrt{\frac{1}{r_1^2} + \frac{1}{r_2^2} + \frac{1}{r_1 r_2} \frac{r_1^2 + r_2^2 - d^2}{r_1 r_2}}. \qquad (5)$$

Bu deňlik bize meselede soralýan nokadyň magnit meýdanynyň induksiýasyny hasaplamaga mümkinçilik berýär.

***M e s e l e* 5.1.3.** Bir tekizlikde biri-birinden 3 *sm* daşlykda ýerleşen parallel üç geçirijiniň ikisinden geçýän tok güýçleri eň , ýagny $I_1=I_2$. Olaryň üçünjisinden geçýän toguň güýji bolsa, I_3 = (I_1+I_2). Her bir nokadynda toklaryň döredýän magnit meýdanynyň induksiýasynyň nola deň bolan göni çyzygyň nireden geçýöndigini kesgitlemeli.

Ç ö z ü l ü ş i : Goý, I_1 , I_2 we I_3 toklar okyýjydan çyzgynyň tekizligine perpendikulýar akýar hasaplalyň (5.1.4-nji *a* çyzgy). Gözlenilýän gönüniň I_2 we I_3 toklaryň arasynda, I_2 tokdan



5.1.4-nji çyzgy. *Tükeniksiz uzyn parallel tokly geçirijileriň magnit meýdany*

x tokdan ýerleşjekdigi düşnüşlidir. Harykatdan hem I_1 we I_2 toklaryň *O* nokatda döredýän magnit meýdanynyň induksiýalarynyň ugruny burawjygyň düzgüni bilen kesgitläp, $\boldsymbol{B}_1$ we $\boldsymbol{B}_2$ induksiýalarynyň aşak , I_3 toguňkynyň bolsa ýokary ugrukdyrylandyr (5.1.4-nji *b* çyzgy). Meseläniň şertyne görä $\boldsymbol{B}_1 + \boldsymbol{B}_2 + \boldsymbol{B}_3 = 0$, ýa-da

$$lg\gamma_1 - lg\gamma_2 = 0,43\frac{\Delta E}{2k}\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right). \qquad (3)$$

Ýa-da gutarnykly

$$\Delta E = \frac{2k\left(lg\gamma_1 - lg\gamma_2\right)}{0,43\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)}. \qquad (4)$$

Bu alnan deňlik boýunça meseläniň şertindäki ululyklardan peýdalanyp tapyp bolar:

$$\Delta E = 1,76\cdot 10^{-19}\, J = 1,1\, eB.$$

Hususy geçirijilikli ýarymgeçiriji üçin gadagan zolagyň ini ΔE =1,1 *eW*.

***M e s e l e* 4.4.2.** Ýokardaky 4.4.1-nji meseläniň şertindäki görkezilen γ_1 we γ_2 udel geçirijiliklere degişli temperaturalary 200 ^0S ululyga azaltsak, olaryň udel geçirijiligi näçe üýtgär?

Ç ö z ü l i ş i : Hasaplamak üçin zerur bolan deňleme hökmünde 4.4.1-nji meseledäki 3-nji aňlatmany ulanalyň:

$$lg\frac{\gamma_1}{\gamma_2} = 0,43\frac{\Delta E}{2k}\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right). \qquad (1)$$

Ýokarky meselede ýerine ýetirilen hasaplama görä $\Delta E = 1{,}76.10^{-19}$ J, şeýle hem $k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ J/K. Onda 1 -nji deňligi

$$lg\frac{\gamma_1}{\gamma_2} = 2.74 \cdot 10^3 \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right) \qquad (2)$$

görnüşde ýazalyň.

1-nji hal . Ýarymgeçirijiniň temperaturasy $1175\,^0 S$ ýagny T_1 =1448 K-den T_2 =1248 K-e çenli peseldilýär. Onda 2 -nji deňlige laýyklykda

$$lg\frac{\gamma_1}{\gamma_2} = 2{,}74 \cdot 10^3 \left(0{,}801 - 0{,}690\right)10^{-3} = 0{,}302 .$$

Ýa-da bu ululygy potensirläp, $\frac{\gamma_1}{\gamma_2} = 2$ yagny kristalyň birinji temperaturasyny $200\,^0 S$ peseldilende onuň udel geçirijiligi 2 esse azalýar.

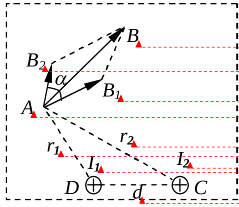
2-nji hal. Ýarymgeçirijiniň temperaturasy $430\,^0 S$-den $230\,^0 S$ ululyga peseldilen. Ýagny T_1=703 K we T_2 =503 K. Bu halda:

$$lg\frac{\gamma_1}{\gamma_2} = 2{,}74 \cdot 10^{-3} \left(1{,}98 - 1{,}42\right) \cdot 10^3 = 1{,}534 .$$

Ýa-da $\frac{\gamma_1}{\gamma_2}$ =34,2. Bu ýagdaýda ýarymgeçirijiniň ydel geçirijili 34,2 esse kiçelýär.

***M e s e l e* 4.4.3.** Berlen temperaturada garyndysyz kristal germaniýde (Ge) zarýad äkidijileriň konsentrasiýasy $n = p = 3{,}1 \cdot 10^{19}\ m^{-3}$, olaryň süýşüjiligi degişlilikde

birinji we ikinji geçirijileriň döredýän magnit meýdanlarynyň induksiýasynyň ugruny burawjygyň düzgünini ulanyp kesgitlemeli. Birinji we ikinji tokly geçirijileriň B_1 we B_2 induksiýalarynyň A nokatdaky ugry 5.1.3-nji çyzgyda görkezilen. Bu nokatdaky netijeleýji B_A-nyň ululygyny induksiýalaryň goşulyş düzgüninden peýdalanyp ýazalyň : $B_A = B_1 + B_2$.



5.1.3-nji çyzgy. *Tokly parallel geçirijileriň magnit meýdany*

Induksiýanyň A nokatdaky B_A ululygyny kosinuslar teoremasyndan peýdalanyp tapmak bolar:

$$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2 + 2B_1 B_2 cos\alpha} \quad . \qquad (1)$$

Bu ýerde α $\boldsymbol{B_1}$ we $\boldsymbol{B_2}$ wektorlaryň arasyndaky burç. 5.1.5 -nji deňlik boýunça B_1 we B_2 - niň bahalaryny tapyp bolar:

$$B_1 = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{I}{r_1} \quad , \qquad (2)$$

we

$$B_2 = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{I}{r_2} \quad . \qquad (3)$$

Indi meseläni çözmek üçin $cos\,\alpha$ -ny kesgitlemek galdy, ýagny $\angle\, DAC = \alpha$, onda kosinuslar teoremasyndan :

$$cos\alpha = \frac{r_1^2 + r_2^2 - d^2}{2r_1r_2} \quad . \qquad (4)$$

Indi bolsa 1-nji deňlikde 2-nji, 3-nji we 4-nji deňlikleri goýup, B_A-ny hasaplamak üçin gutarnykly aňlatmany alarys:

$$H = \frac{3}{4\pi}\frac{I}{r}(cos\beta_1 - cos\beta_2).$$

Çyzgydan (5.1.2) görnüşi ýaly $\beta_2 = \pi - \beta_1$ we $r = (l/2)tg\beta_1$. Bu ýerde l üçburçlygyň taraplarynyň uzynlygy. Onda

$$H = \frac{3I}{2\pi l}\frac{cos\beta_1 - cos(\pi-\beta_1)}{tg\beta_1} = \frac{3Icos^2\beta_1}{\pi\, lsin\beta_1},$$

ýagny, $\beta_1 = \pi/6$, ýa-da $sin\beta_1 = 1/2$, $cos\beta_1 = \sqrt{3}/2$, $cos^2\beta_1 = 3/4$. Bulary göz öňünde tutup,

$$H = \frac{9I}{2\pi l}, \qquad (3)$$

deňlige geleris. Bu deňlik boýunça , $H = 9\,A/m$ -e deňdigini hasaplap bolar.

M e s e l e 5.1.2. Bir -birinden d=10 *sm* uzaklykda ýerleşdirilen tükeniksiz uzyn iki sany parallel geçirijileriň her birinden I=60 *A* tok güýçleri bir ugra akýarlar. Birinji geçirijiden r_1 = 5 *sm*, ikinji geçirijiden bolsa, r_2=12 *sm* uzaklykdaky nokatda magnit meýdanynyň induksiýasyny kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i : Meseläniň şerti boýunça tok akýan parallel geçirijileri okyýjydan ýazgynyň tekizligine perpendikulýar ugrukdyrylan hasaplalyň (5.1.3-nji çyzgy). Bu halda kabul edilen şertli bellenilişi ýaly tekizlige girýän tokly geçirijileri içi goşmakly tegelek bilen belläliň (5.1.3-nji çyzga seret). *A* nokatda

$U_{on} = 0{,}39\, m^2/(W\cdot s)$ we $U_{op} = 0{,}19\, m^2/(W\cdot s)$ bolsa, germaniýniň udel elektrik geçirijiligini kesgitlemeli. Berlen nusgada toguň dykyzlygy j =bolar ýaly, elektrik meýdanynyň güýjenmesi nähili bolmaly?

Ç ö z ü l i ş i : Udel elektrik geçirijiligi 4.4.2-nji aňlatma laýyklykda

$$\gamma = \gamma_n + \gamma_p = enU_{on} + epU_{op} = en(U_{on} + U_{op}),$$

taparys. Meseläniň şertindäki ululyklardan peýdalanyp, $\gamma = 2{,}91/(Om\cdot m)$.

Elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň ululygyny tapmak üçin Omuň kanunynyň differensial görnüşinden peýdalanalyň:

$$E = \frac{j}{\gamma} = 3{,}5\cdot 10^4\ \frac{W}{m}.$$

M e s e l e 4.4.4 *. Garyndysyz arassa germaniýniň (Ge) “gyzyl çägi” kiçi temperaturalarda tolkun uzynlygyna gabat gelýär. Berlenleri peýdalanyp,T=293 *K* otag temperaturasynda udel garşylygyň $\alpha_\rho = \frac{1}{\rho}\frac{d\rho}{dT}$ temperatura koeffisiýentini kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i : Udel garşylygyň termiki koeffisiýenti temperatura 1K üýtgände onuň otnositel üýtgemesini häsiýetlendirýär ýagny $\rho = \frac{1}{\gamma} = \rho_0 e^{\Delta E_g/(2kT)}$. Bu ýerde ΔE_g gadagan zolagyň ini, ρ_0 =*hemişelik* , onda

$$\frac{d\rho}{dT} = \rho_0 e^{\frac{\Delta E_g}{2kT}} \left(\frac{\Delta E_g}{2kT} \right) = -\rho_0 \frac{\Delta E_g}{2kT}. \qquad (1)$$

$$\alpha = \frac{1}{\rho_0} \left(-\rho_0 \frac{\Delta E_g}{2kT^2} \right) = -\frac{\Delta E_g}{2kT^2} \quad . \qquad (2)$$

Germaniý elementi üçin fotoeffektiň "gyzyl çägi" $E = h\nu$ şert bilen kesgitlenilýär. Bu ýerde *h* Plankyň hemişeligi. Diýmek,

$$\Delta E_g = h\nu_0 = h\frac{c}{\lambda_0} \ . \qquad (3)$$

Meseläniň şertindäki ululyklardan peýdalanyp, $\alpha = -0,045 K^{-1}$ -digini hasaplap bolar.

M e s e l e 4.4.5. Arassa tellury (*Te*) T_1 =300 *K*-den T_2=400 *K*-ne çenli gyzdyrylanda onuň udel garşylygy takmynan 5,2 esse azalýar. Absolýut nol temperaturada arassa tellurda elektron-deşik jübütiniň emele gelmeginiň iň kiçi energiýasyny kesgitlemeli.

Ç ö z ü l ü ş i : Kristalyň udel garşylygynyň temperatura baglylyk $\rho \approx \rho_0 e^{\Delta E_g/(2kT)}$ aňlatmasyny iki ýagdaý üçin ýazalyň:

$$\rho_1 = \rho_0 e^{\frac{\Delta E_g}{2kT_1}}, \quad \rho_2 = \rho_0 e^{\frac{\Delta E_g}{2kT_2}}. \qquad (1)$$

Soňky deňlemeleri özara gatnaşdyryp alarys:

çyzgy). Çyzgyda bu nokat *O* bilen bellenen. Bu nokatda meýdanyň guýjenmesini kesgitlemek üçin deňtaraply üçburçlykda toguň aýlanma ugruny görkezmeli. Çyzgyda bu ugur hökmünde sagat diliniň (peýkamynyň) aýlanmasynyň garşylykly ugry kabul edilen. Indi burawjygyň düzgüninden peýdalanyp, üstünden *I* tok güýji geçýän deňtaraply üçburçlygyň her bir tarapynyň aýratynlykda *O* nokatda döredýän *H* güýjenmesiniň çyzgynyň tekizliginden bize tarap perpendikulýar ugrukdyrylandygyny anyklarys. Bu nokatdaky magnit meýdanyň netijeleýji güýjenmesini 5.1.9-njy we 5.1.12-nji deňlikleriň esasynda

$$H = H_1 + H_2 + H_3, \qquad (1)$$

görňüsde ýazyp bolar. Bu ýerde meýdanyň güýjenmesiniň wektor ululyklary olaryň degişli skalýar ululyklaryna deňdirler. Mundan başga-da, simmetriýa şertine laýyklykda deňtaraply üçburçlygyň aýry-aýry taraplarynyň *O* nokatda döredýän magnit meýdanynyň güýjenmeleri özara deňdir:

$$H_1 = H_2 = H_3 \ . \qquad (2)$$

Ýa-da 2-nji deňligi göz öňünde tutup, 1-nji aňlatma:

$$H=3H_1 \ . \qquad (3)$$

Diýmek, *O* nokatdaky netijeleýji güýjenme deňtaraply üçburçlygyň bir tarapynyň şol nokatda döredýän güýjenmesiniň üç essesine deňdir. Bu deňligi 5.1.4-nji we 5.1.12-nji deňlikleriň esasynda aşakdaky görňüşde ýazyp bolar:

$$H_1 = \frac{1}{4\pi}\frac{I}{r}(cos\beta_1 - cos\beta_2).$$

Ýa-da

• ***Doly toguň kanuny.*** Magnit meýdanynda islendik ýapyk l geçiriji halka boýunça induksiýanyň aýlanmasy $\oint_L \boldsymbol{B}d\boldsymbol{l}$ bu halkanyň içindäki elektrik akym güýçleriniň algebraik jeminiň μ_0 magnit hemişeligine köpeltmek hasylyna deňdir:

$$\oint_l \boldsymbol{B}d\boldsymbol{l} = \oint_l Bdl\cos(\boldsymbol{B}d\boldsymbol{l}) = \mu_0 \sum_{k=1}^{N} I_k \quad . \qquad (5.1.11)$$

$\sum_{k=1}^{N} I_k = I_1 + I_2 + I_3 + ... + I_N$ tok güýçleriniň jemi.

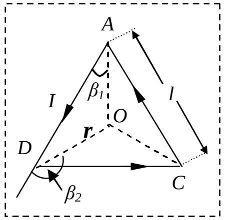
• ***Magnit meýdanyň induksiýasy meýdanyň güýjenmesi bilen wakuumda***

$$\boldsymbol{B}=\mu_0\boldsymbol{H}, \qquad (5.1.12)$$

görnüsde baglydyr.

MESELELERIŇ ÇÖZÜLIŞINE MYSALLAR

M e s e l e **5.1.1.** Taraplary 50 *sm* bolan deňtaraply üçburçlyk görnüşde taýýarlanan geçirijiden I hemişelik tok güýji geçýär (5.1.2-nji çyzgy). Üçburçlygyň merkezinde magnit meýdanynyň güýjenmesini kesgitlemeli.



5.1.2-nji çyzgy. *Tokly deňtaraply üçburç geçiriji*

Ç ö z ü l i ş i : Ilki deňtaraply üçburçlygyň merkezi nokadyny takyklamaly. Munuň üçin deňtaraply üçburçlygyň hemme burçlarynyň bissektrissasyny üznükli (punktir) çyzyk bilen tä olar biri-biri bilen kesişýänçä geçireliň (5.1.2-nji

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = e^{\frac{(T_2-T_1)\Delta E_g}{2kT_1T_2}}$$

Alnan aňlatmany potensirläliň:

$$ln\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{(T_2-T_1)}{2kT_1T_2}\Delta E_g$$

Bu ýerden bolsa

$$\Delta E_g = \frac{ln\frac{\rho_1}{\rho_2}}{\frac{(T_2-T_1)}{2kT_1T_2}} = \frac{2kT_1T_2}{(T_2-T_1)ln\frac{\rho_2}{\rho_1}} \quad .$$

Meseläniň şertinde berlen ululyklardan peýdalanyp, ΔE_g=0,34 *eW* –a deňdigini bileris.

TALYPLARYŇ OZBAŞDAK TAÝÝARLYKLARYNY BARLAMAK Ü Ç I N SORAGLAR

1. Ýarymgeçirijiler özleriniň elektrik häsiýetleri boýunça metal geçirijilerden nähili tapawutlanýar? Olaryň Fermi energiýasy nämäni aňladýar?
2.Ýarymgeçirijileriň hususy we hususy däl geçirijiligini düşündirmeli.
3.Garyndyly geçirijilikli ýarymgeçirijiler üçin Ferminiň energiýasy.
4. Ýarymgeçiriji diodlarda *n-p* (*p-n*) geçişiň nähili emele gelýär? Ýarymgeçiriji diodyň elekrik shemalara birikdirilişi we onuň geçirijiligi.
5.Näme sebäbe görä *n-p* (*p-n*) geçişde gadagan zolagyň görnüşi egrelýär?
6. Ýarymgeçiriji diodyň wolt-amper häsiýetnamasy.

ÖZBAŞDAK ÇÖZMEK ÜÇIN MESELELER

Gönükme 4.4.

4.4.1. Kremniý geçirijiniň temperaturasy T_1=705 K-den T_2=1450 *K*-e çenli artdyrylanda onuň geçirijiligi γ_2/γ_1=100 esse köpeldi. Kremniý üçin gadagan zolagyň inini kesgitlemeli.

4.4.2. Temperaturasy 300*K* bolan germaniýniň udel garşylygy 10 esse artar ýaly edilip sowadylan. Onuň gadagan zolagynyň ini ΔE =0.7 *eW* -a deň kabul edip , germaniýniň haýsy temperatura çenli sowadylandygyny kesgitlemeli.

4.4.3. Kremniý üçin gadagan zolagyň ini ΔE =1,1 *eW*. Kremniniň başlangyç *t* temperaturasy t_1=430^0 *S*. Eger onuň garşylygy 100 esse azalan bolsa , ýarymgeçiriji näçe gradiusa çenli gyzdyrylypdyr?

4.4.4. Ýarymgeçiriji güýjenmesi *E* = 150 *W/m* bolan elektrik meýdanynda ýerleşdirilen. Onuň üstünden geçýän tok güýjüniň dykyzlygyny kesgitlemeli. Kristalyň temperaturasy *T* = 700 *K* , gadagan zolagyň ini ΔE =1,1 *eW* we hemişelik ululygy γ_0=8,10^5 *(Om m)$^{-1}$*.

4.4.5. Hususy geçirijiligi bolan germaniý ýarymgeçirijiniň berlen temperaturada we *E* = 1 *W/mm* daşky elektrik meýdanynyň güýjenmesinde tok güýjüniň dykyzlygy *j* = 0,002 *A/mm*^{2}. Elektronlaryň we deşikleriň bilelikdäki jemi süýşüjiligi $\left(U_{(0p)}+U_{(0n)}\right)=0,58\ m^2/(W\cdot s)$ hasaplap, elektronlaryň konsentrasiýasyny kesgitlemeli.

4.4.6. Berlen temperaturada germaniý ýarymgeçirijide degişlilikde elektronlaryň we deşikleriň süýşüjilikleri $U_{(0p)}=0,19\,m^2/(W\cdot s)$; $U_{(0n)}=0,39\,m^2/(W\cdot s)$. Elektronlaryň konsentrasiýasy *n*=22·10^{18} *m*$^{-3}$ kabul edip, ýarymgeçirijidäki *j* = 10^{-3} *A/mm*^{2} tok güýjüne kywab gelýän germaniýniň hususy

$$B = \mu_0\mu\frac{2\pi I r^2}{(r^2+d^2)^{3/2}}. \qquad (5.1.7)$$

Bu ýerde *d*- halka görnüşli geçirijiniň merkezinden geçýän ok boýunça induksiýasy hasaplanylýan nokada çenli aralyk.

- ***Uzyn solenoidiň içindäki magnit meýdanyň induksiýasy:***

$$B = \mu_0 n I. \qquad (5.1.8)$$

Bu ýerde $n=N/l$ - solenoidiň *l* uzynlyk birligindäki *N*-sarymlarynyň sany.

- ***Magnit meýdanynyň induksiýasynyň wektorlaýyn goşulyş düzgüni :***

Magnit meýdany birnäçe tokly geçirijiler bilen döredilýän halatynda kesgitli nokatdaky netijeleýji meýdanyň induksiýasy aýry- aýry tokly geçirijileriň şol nokatda döredýän $\boldsymbol{B_1}$, $\boldsymbol{B_2}$, $\boldsymbol{B_3}$,... $\boldsymbol{B_N}$ induksiýalarynyň wektor jemine deňdir

$$\boldsymbol{B}=\boldsymbol{B_1}+\boldsymbol{B_2}+\boldsymbol{B_3}+...+\boldsymbol{B_N}=\sum_{k=1}^{N}\boldsymbol{B}_k\ . \qquad (5.1.9)$$

Ýa-da bu deňligi iki tokly geçiriji üçin kosinuslar teoremasyndan peýdalanyp,

$$B=\sqrt{B_1^2+B_2^2-2B_1B_2cos\alpha}\ , \qquad (5.1.10)$$

skalýar görnüşde aňladyp bolar. Bu ýerde α - $\boldsymbol{B}_1$ we $\boldsymbol{B}_2$ wektorlaryň arasyndaky burç.

wektor, α - ***Idl*** geçirijiniň tokly bölek wektory bilen *r* radius wektoryň emele getirýän burçy.

• **Bionyň, Sawaryň we Laplasyň kanunynynyň ulanylyşy:**

Kesgitli *l* uzynlykly, göni tokly geçirijiniň özünden *r* uzaklykdaky nokatda (mysal üçin *A* nokatda 5.1.1-nji çyzgy) döredýän magnit meýdanynyň induksdiýasy:

$$B = k\frac{I}{r}\left(cos\alpha_1 - cos\alpha_2\right). \qquad (5.1.4)$$

• ***Tükeniksiz uzynlykly, göni geçirijiniň döredýän magnit meýdanynyň induksiýasy:***

$$B = \frac{\mu_0\mu}{2\pi}\frac{I}{r}, \qquad (5.1.5)$$

deňlik bilen hasaplanylýar. Bu ýerde α_1 we α_2 degişlilikde *A* nokatda geçirilen radius wektor bilen bu tokly bölek geçirijiniň emele getirýän burçlary.

• ***Halka görnüşli tokly geçirijileriň merkezindäki magnit meýdanynyň induksiýasy:***

$$B = \frac{\mu_0}{2}\frac{I}{r}. \qquad (5.1.6)$$

Bu ýerde *r*- halka görnüşli tokly geçirijiniň radiusy.

• ***Halka görnüşli tokly geçirijileriň merkezinden geçýän okuň üstündäki ýatan islendik nokadyň magnit meýdanynyň induksiýasy:***

udel geçirijiligini we elektrik meýdanynyň güýjenmesini kesgitlemeli.

4.4.7.Ýarymgeçirijiniň temperaturasyny t_1=0^0 *S*-den t_2=175^0*S* –ä çenli artdyrylanda ondaky elektronlaryň tizlikleri $\vartheta_1 = 0{,}5$ *m/s* –den ϑ_2=0,75 *m/s* -a çenli olaryň göwrümleýin sany bolsa, n_1=1,3·10^{14} m^{-3}-den n_2=2,1·10^{18} m^{-3}-a çenli artypddyr.Ýarymgeçirijidäki tok güýjüniň dykyzlygynyň näçe esse üýtgändigini kesgitlemeli.

V. MAGNIT MEÝDANY WE ELEKTROMAGNIT INDUKSIÝASY

5.1. Hemişelik magnit meýdany

E s a s y   k e s g i t l e m e l e r   w e   a ň l a t m a l a r

- ***Magnit meýdany we onuň induksiýasy.** Magnit meýdany hereket edýän zarýadlar tarapyndan döredilýär. Magnit meýdany hereketdäki zarýadlara (toklara) güýç bilen täsir etmegi netijesinde ýüze çykarylýar. Magnit meýdanyny mukdar taýdan häsiýetlendirýän ululyk onuň B induksiýasydyr.*

- ***Magnit meýdanynyň B induksiýasy - bu meýdandaky tokly geçirijiniň Idl bölegine magnit meýdany tarapyndan täsir edilýän güýje san taýdan deň bolan ululykdyr:***

$$\boldsymbol{B}=\frac{d\boldsymbol{F}}{Id\boldsymbol{l}}. \qquad (5.1.1)$$

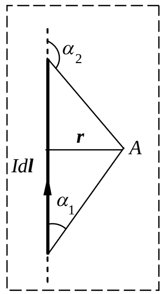
Bu ýerde $d\boldsymbol{F}$ tokly $Id\boldsymbol{l}$ birlik bölek geçiriji wektora magnit meýdany tarapyndan täsir edýän güýç. Magnit meýdanynyň induksiýasy birlikleriň Halkara ulgamynda (HU) teslalarda (*Ts*) hasaplanylýar. Ol üstünden 1 *A* tok güýji geçýän 1metr uzynlykly geçirijä magnit meýdany tarapyndan 1 Nýuton güýç bilen täsir edýän magnit meýdanynyň induksiýasydyr:

$$1Ts=1\frac{N}{A\cdot m}.$$

Magnit meýdanynyň induksiýasy wektor ululyk bolup, ol sag burawjygyň düzgüni bilen kesgitlenilýär. Bu düzgüne laýyklykda, burawjygyň öňe bolan hereketi göni tokly geçirijiniň birlik böleginiň ugry bilen gabat getirilse, onda onuň sapynyň aýlanma ugry burawjygyň duran ýerindäki magnit meýdanynyň induksiýasynyň ugruny görkezer.

Magnit induksiýasynyň ugry sag eliň düzgüni balen hem kesgitlenilýär: eger, sag eliň dört barmagy bilen tokly geçirijini gysymlap, başam barmagy geçirijidäki toguň akýan ugruna gönükdirilse, tokly geçirijini gysymlanan sag eliň dört barmagy döreýän magnit induksiýasynyň ugry bilen gabat geler.

- ***Bionyň , Sawaryň we Laplasyň kanuny.*** Bu kanun *Idl* uzynlykly tokly geçirijileriň döredýän magnit meýdanynyň induksiýasyny hasaplamaga mümkinçilik berýär. Oňa laýyklykda tokly geçirijiniň *Idl* elementiniň (böleginiň) wektorynyň döredýän magnit meýdanynyň induksiýasy degişlilikde wektor we skalýar görnüşde 5.1.2-nji we 5.1.3-nji deňlikler bilen aňladylýar:



5.1.1-nji çyzgy.
Tokly bölek geçiriji

$$d\boldsymbol{B}=k\frac{\left[Id\boldsymbol{l}\times\boldsymbol{r}\right]}{r^{3}}, \qquad (5.1.2)$$

$$dB=k\frac{Idl}{r^{2}}sin\alpha. \qquad (5.1.3)$$

Bu ýerde $k=\mu_0/(4\pi)$, μ_0 - magnit hemişeligi $\left(\mu_0=1,26\cdot10^{-6}\ Gn/m\right)$, *r*- tokly geçirijiniň böleginden magnit meýdanynyň induksiýasy kesgitlenilýän nokatda geçirilen radius

$$B_3 = \frac{\mu_0}{2\pi a_3} K \cdot l \quad . \qquad (3)$$

Ýokarda getirilen 2-nji we 3-nji deňlikler boýunça $B_2 = 5,04 \cdot 10^{-3} Tl$ we $B_3 = 4,4 \cdot 10^{-3} Tl$ deňdigini hasaplap taparys.

***M e s e l e* 5.2.5 .** Uzynlygy *l*=50 *sm*, kese kesiginiň meýdany *S*=2 sm^2 bolan magnitlenýän materialdan ýasalan sterženiň uzynlygynyň her bir santimetrine 20 sarym düşer ýaly , biri-birine jebis degirilip , bir gat geçiriji sim saralan. Eger sarymdan *I*=5 *A* tok güýji geçýän bolsa onda sarymlaryň içindäki magnit meýdanynyň energiýasyny kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i : Meseläniň şertindaki sargy geçiriji solenoid bolany üçin onuň döredýän magnit meýdanynyň energiýasy:

$$W = \frac{1}{2} L I^2 . \qquad (1)$$

Bu ýerde *L* -solenoidiň induktiwligi, *I*- ondan tok güýji.

Solenoidiň indukliwligini onüň içinde ýürekçesi ýok halaty üçin 5.2.8-nji deňlige laýyklyjda:

$$L = \mu_0 n^2 V \ . \qquad (2)$$

Bu ýerde *n = K / l* - solenoidiň uzynlyk birligine düşýäň sarym sany, *V=Sl* - solenoidiň tutýan göwrümi. Bu deňligi ulanyp,

$$W = \frac{1}{2}\mu_0 n^2 V I^2 = \frac{1}{2}\mu_0 n^2 I^2 S l \ , \qquad (3)$$

alarys we hasaplamadan soňra *W*=126 *J*- digine göz ýetireris.

skalýar görnüşde

$$B_1 + B_2 - B_3 = 0 \quad . \qquad (1)$$

Biz indi tükeniksiz uzyn göni tokly geçirijileriň döredýän magnit meýdanynyň induksiýasyny 5.1.5-nji deňligiň esasynda :

$$\left.\begin{aligned} B_1 &= \frac{\mu_0 \mu I_1}{2\pi (a+x)} \\ B_2 &= \frac{\mu_0 \mu I_2}{2\pi x} \\ B_3 &= \frac{2\mu_0 \mu I_3}{2\pi (a-x)} \end{aligned}\right\} . \qquad (2)$$

Bu 2-nji deňlikleri 1-nji deňlikde goýup,

$$\frac{\mu_0 \mu I_1}{2\pi (a+x)} + \frac{\mu_0 \mu I_2}{2\pi x} - \frac{\mu_0 \mu (I_1 + I_2)}{2\pi (a-x)} = 0 \ , \qquad (3)$$

alarys. Ýa-da bu deňligi

$$4x^2 + ax - a^2 = 0 , \qquad (4)$$

kwadrat deňlemä getireris. Bu ýerden bolsa

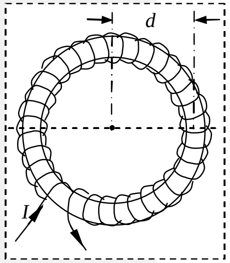
$$x = \frac{-a \pm \sqrt{a^2 - 16a^2}}{8} = \frac{-3 \cdot 10^{-2} \pm 12,4 \cdot 10^{-4}}{8}$$

Deiýmek, $x = 1,2 \cdot 10^{-2} m$. kwadrat deňlemäniň ikinji köküni taşlaýarys, sebäbi ol I_1 we I_2 toklaryň arasyndaky nokada jogap berýär. Bu bolsa meseläniň şertine laýyk gelmeýär.

TALYPLARYŇ ÖZBAŞDAK TAÝÝARLYKLARYNY BARLAMAK ÜÇIN SORAGLAR

1. Magnit meýdanynyň çeşmesi bolup näme hyzmat edýär?
2. Magnit meýdanyny mukdar taýdan haýsy ululyk häsiýetlendirýär ?
3. Burawjygyň we sag eliň düzgünleri.
4. Bionyň ,Sawaryň we Laplasyň kanuny we onuň dürli görnüşli tokly geçirijiler üçin ulanylyşy.
5. Magnit meýdanynyň induksiýasynyň birligi.
6. Magnit meýdanynyň induksiýasynyň goşulyş düzgüni.
7. Doly toguň kanuny.

bolsa, toroidiň merkezinden magnit meýdanyň induksiyasy kesgitlenilmeli nokat aralygyndaky uzaklyga deň bolan halkany alalyň. Biz meseläniň şertindäki a_1, a_2 we a_3 nokatlaryň induksiýalaryny degişlilikde B_1, B_2 we B_s bilen belläliň. Doly toguň kanunyna laýyklykda



5.2.3-nji çyzgy. Tokly *içi ýürekçesiz toroid*

$$B_1=0. \tag{1}$$

Sebabi toroidiň merkezinden a_x radiusly halka hiç hili togy gurşap alanok.

Induksiýasy kesgitlenilmeli ikinji B_2 nokat toroidiň orta radiusyna ($2a_2= d$) deň bolan töweregiň üştünde ýerleşendir. Bu halda $\boldsymbol{B}$ wektoryň aýlanýan halkasynyň içine sarymlarynyň sany K bolan we üstünden I tok güýji geçýän geçirijiniň bölegi girýär. Diýmek, doly toguň kanunyny bu hal üçin

$$\oint B_l dl = \mu_0 K \cdot I ,$$

görnüşde ýazyp bolar. Bu ýerden bolsa,

$$B_2 = \frac{\mu_0}{2\pi r} K \cdot I = \frac{\mu_0}{\pi d} K \cdot I \ . \tag{2}$$

Meseläniň şertine laýyklykda induksiýasy kesgitlenilmeli üçünji $a_3 > a_2$ B_3 nokat edil toroidiň içinde ýerleşendir. Edil 2-nji aňlatmadaky ýaly:

Toroidiň magnit meýdanynyň guýç çyzyklary töwerek bolup, ol ähli nokatlarda özara deňdir. Şonuň üçin hem güýjenmäni integralyň öňüne geçirip bolar:

$$\oint H\,dl = H\int_0^{2\pi r} dl = 2\pi r H.$$

Ikinji tarapdan $\oint Hdl = \sum I_k$. Bu iki deňlikden $2\pi rH = KI$, onda $H = Kl/(2\pi r)$ alarys. Toroidiň orta radiusynyň $r = (r_1 + r_2)/2 = (d_1 + d_2)/4$ deňdigini göz öňünde tutup:

$$H = \frac{2KI}{\pi(d_1 + d_2)}.$$

Meýdanyň induksiýasyny bolsa,

$$B = \mu_0 H = \mu_0 \frac{2KI}{\pi(d_1 + d_2)},$$

görnüşde aňladyp bolar.

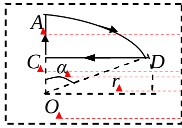
***M e s e l e* 5.2.4.** Içinde ýürekçesi bolmadyk toroid şekilli tegegiň sarymlarynyň sany K= 1000 bolup, ondan I =5 A tok güýji geçýär (5.2.3-nji çyzgy). Tegegiň orta diametri d= *40 sm*, sarymlarynyň radiusy bolsa, r=5 *sm*-e deň. Toroidiň merkezinden a_1=5 *sm*, a_1 =20 *sm* we a_3= 23 *sm* uzaklykdaky ýerleşen nokatlaryň magnit meýdanynyň induksiýasyny kesgitlemeli.

Ç ö z ü 1 i s i : Meseläni çözmek üçin doly toguň kanunyndan peýdalanalyň. Bu halda ***B*** wektoryň aýlanma halkasy hökmünde merkezi toroidiň merkezi bilen gabat gelýän, radiuslary

ÖZBAŞDAK ÇÖZMEK ÜÇIN MESELELER

Gönükme 5.1.

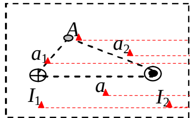
5.1.1. Çyzgyda (5.1.5-nji) görkezilen geçiriji halka boýunça I=10 A tok güýji geçýär. Eger AD ýaýyň radiusy r =10 *sm*, AO we DO gönüleriň emele getirýän burçy α = 60^0-a deň bolsa, onda O nokatdaky magnit meýdanynyň induksiýasyny kesgitlemeli.



5.1.5-nji çyzgy.
Tokly ýapyk geçiriji halka

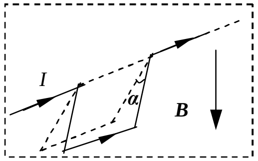
5.1.2. Özara parallel ýerleşen uzyn iki geçirijiden garşylykly tarapa $I=I_1=I_2$ tok güýji akýar. Geçirijileriň arasyndaky uzaklyk a . Birinji geçirijiden a_1 we ikinji geçirijiden $a_2 \rangle a_1 \langle a$ uzaklykdaky A nokadyň (5.1.6-njy çyzgy) magnit meýdanynyň induksiýasyny kesgitlemeli.

5.1.3. Radiusy R=100 *sm* bolan aýlaw sarymyň inçe siminden I=*1A* tok güýji aýlanýan bolsa, a) sarymyň merkezinde we b) aýlaw sarymyň merkezinden x=100 *mm* uzaklykda ýerleşen nokatlarda magnit meýdanyň indýasyny hasaplamaly.

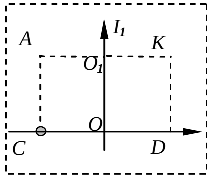


5.1.6-njy çyzgy.
Garşylykly ugrukdyrylan tokly geçirijiler

5.1.4. Kese kesiginiň meýdany S=2 mm^2 bolan mis simi üç tarapy ini we boýy deň edilip 5.1.7-nji çyzgyda görkezilişi ýaly egreldilip, oňa kese okuň daşynda aýlanyp biler ýaly mümkünçilik döredilen. Birhilli magnit meýdanynyň indüksiýasynyň güýç çyzyklary bu geçirijiniň, üstüne perpendikulýar ugrukdyrylan. Haçanda geçirijiden I=10 A tok güýji geçende ol öňki ýagdaýydan $\alpha = 15^{\,0}$ burça gyşarýan bolsa, daşky meýdanyň B induksiýasyny kesgitlemeli.



5.1.7-nji çyzgy. *Birhilli perpendikulýar ugrukdyrylan magnit meýdanyndaky inedördül epilen tokly geçiriji*

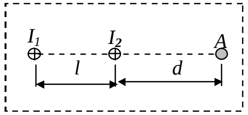


5.1.8-nji çyzgy.*Özara perpendikulýar ýerleşen tokly tükeniksiz uzyn geçirijiler* I_2

5.1.5. Iki tükeniksiz uzyn, göni geçiriji bir tekizklikde biri-birine perpendikulýar ýerleşdirilen. Geçirijilerden I_1 we I_2 tok güýçleri geçýär. Eger $OC=OD=AO_1=O_1K=l_1$ we $AC=KD=l_2$ (5.1.8.-nji çyzgy) bolsa, A we K nokatlaryň magnit meýdanynyň induksiýasyny ksgitlemeli.

5.1.6. Kese kesiginiň meýdany S – e deň bolan mis simden ýasalan halkadan I tok güýji geçende halkanyň merkezinde B ululykly magnit meýdanynyň induksiýasy döreýär. Halkanyň uçlaryndaky potensiallaryň tapawudyny kesgitlemeli.

5.1.7. Biri-birinden l aralykda, wakuumda ýerleşen iki tükeniksiz uzynlykly, parallel geçirijilerden bir tarapa ugrukdyrylan I_1 we I_2 tok güýçleri geçýär (5.1.9.-njy çyzgy). Geçirijileriň üstüne geçirilen perpendikulýaryň dowamynda, ikinji tokly geçirijiden d daşlykdaky A nokatda döredýän magnit meýdanyň induksiýasyny kesgitlemeli.



5.1.9-njy çyzgy. *Parallel tokly geçirijiler*

5.1.8. Biri-birinden l aralykda ýerleşdirilen, iki parallel geçirijiden ululyklary boýunça özara deň tok güýçleri geçýär. Her

$$N_2 = \int_a^d B_2 dS = \mu_0 \frac{I}{2\pi} ln\frac{d}{a},$$

görnüşe getirilýär. Bir geçirijiden akýan tok güýjüniň $S=ld$ meýdandaky döredýän magnit akymyny jemlemek bilen taparys:

$$N = N_1 + N_2 = \frac{\mu_0}{2\pi}\left(\frac{1}{2} + ln\frac{d}{a}\right)Il\ .$$

Meseläniň şerti boýunça geçirijilerden geçýän tok garşylykly tarapa ugrukdyrylandyrlar (5.2.2-nji çyzga seret). Diýmek, tokly geçirijileriň döredýän doly magnit akymy:

$$N_{dol} = 2N = \frac{\mu_0}{\pi}\left(\frac{1}{2} + ln\frac{d}{a}\right)Il$$

Bu ulgamyň induktiwligini $L = N / I$ deňlik bilen kesgitläp, iki simli geçirijiniň birlik uzynlygyndaky indukliwligi:

$$L = \frac{\mu_0}{\pi}\left(\frac{1}{2} + ln\frac{d}{a}\right) = 1,76\cdot 10^{-6}\frac{Gn}{m}.$$

***M e s e l e* 5.2.3 .** Üstünden I tok güýji geçýän K sarymly, ýürekçesiz toroidiň magnit meýdanynyň güýjenmesini we induksiýasyny kesgitlemeli.Toroidiň degişlilikde daşky we içki diametrleri d_1, d_2.

Ç ö z ü l i ş i : Toroidiň içindäki magnit meýdanyň güýjenmesini kesgitlemek üçin onuň döredýän magnit meýdanynyň güýjenmesiniň güýç çyzyklarynyň wektoryň $\oint \boldsymbol{Hdl}$ aýlanmasyny hasaplalyň.

$$H_1 = \frac{I}{2\pi a^2} x .$$

Bu ýerde I geçirijidaki tok güýji, a geçirijiniň radiusy, x koordinatanyň başlangyjyndan magnit meýdanyň guýjenmesi gözlenýän, nokada çenli aralyk. Bu ýerdäki magnit meýdanynyň induksiýasy:

$$B_1 = \mu_0 \frac{I}{2\pi a^2} x . \qquad (1)$$

Magnit meýdanyn birhilli däldigi üçin magnit akymyny deňlik bilen kesgitläp bileris:

$$dN = BdS \ . \qquad (2)$$

Bu ýerde $dS = ldx$ -kiçi meýdança, l - geçirijiniň uzynlygy, B - meýdança arkaly geçýän magnit meýdanynyň induksiyasy. Bu l-nji wc 2-nji deňliklerden:

$$dN_1 = \mu_0 \frac{Il}{2\pi a^2} xdx \qquad (3)$$

Indi $S = la$ meýdança üçin N_1 -iň gutarnykly aňlatmasyny alarys:

$$N_1 = \mu_0 \frac{Il}{2\pi a^2} \int_0^a xdx = \frac{\mu_0}{4\pi} Il \ .$$

Seredilýän $x \rangle a$ şertde magnit meýdanynyň guýjenmesi:

$$H_2 = \frac{I}{2\pi x} \ .$$

Induksiýasy bolsa,

$$B_2 = \frac{\mu_0 I}{2\pi x} .$$

Diýmek, bir ugra akýan togy bolan geçirijiniň galan meýdanlary üçin onuň her bir metr uzynlygyna düşýän magnit akymy

bir geçirigiden l uzaklykda ýerleşen nokatdaky magnit meýdanynyň induksiýasynyň ugruny we ululygyny kesgitlemeli.

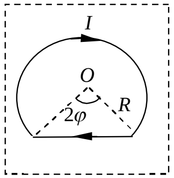
5.1.9. Taraplarynyň uzynlygy a we b deň bolan gönüburçly, üstünden I tok güýji geçýän ramkanyň merkezindäki magnit meýdanynyň B induksiýasyny kesgitlemeli.

5.1.10. Inçe halka geçiriji boýunça tok geçýär. Ondaky togy üýtgetmän , geçirijä kwadrat görnüş berildi. Geçiriji halkanyň merkezindäki magnit meýdanynyň induksiýasy näçe esse üýtgär?

5.1.11. Radiusy $r=10$ *sm* bolan halka görnüşli sim sarymy boýunça $I_1=10A$ tok geçýär. Bu sarymyň tekizliginde üstünden $I_2=6{,}28$ *A* tok güýji geçýän uzyn göni geçiriji ýerleşdirilen. Tok güýjüniň ugry halka görnüşli tokly geçirijä galtaşmanyň ugry bilen gabat gelýär. Aýlaw toguň merkezindäki magnit meýdanynyň güýjenmesini kesgitlemeli.

5.1.12. Taraplary $a=10$ *sm* bolan kwadrat görnüşdäki inçe geçirijiden $I=5A$ tok geçýär. Kwadratyň merkezinden onuň uzynlygyna deň bolan daşlykdaky nokadyň magnit meýdanynyň induksiýasyny kesgitlemeli.

5.1.13. Radiusy $r=8$ *sm* bolan aýlaw sarymyň merkezindäki magnit meýdanynyň güýjenmesi $H = 30 \ A/m$. Sarymyň merkezinden h=6*sm* uzaklykdaky nokadyň magnit meýdanynyň güýjenmesini kesgitlemeli.



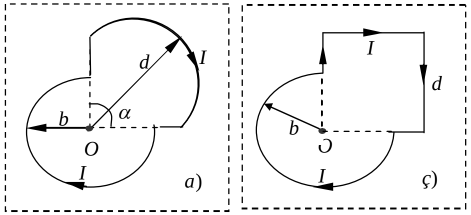
5.1.10-njy çyzgy.
Tokly geçiriji halka

5.1.14. Radiusy R=10 *sm* bolan inçe geçiriji halkadan I=80 *A* elektrik akymy geçýär. Halkanyň merkezinden geçýän gönüniň ugrunda r=20 *sm* uzaklykdaky nokadyň magnit meýdanynyň induksiýasyny kesgitlemeli.

5.1.15. Ýaý şekilli egreldilen (5.1.10-njy çyzgy) inçe geçirijiden I=5*A* tok geçýär. Geçirijiniň ýaý şekilli böleginiň radiusy R=120 *mm*. Ýaýyň uçlarynyň radiusy onuň merkezinde özara $2\varphi=90^0$ burçy döredýär. *O* nokatdaky magnit meýdanynyň induksiýasyny kesgitlemeli.

5.1.16. Üstünden *I* tok güýji geçýän halkanyň: a) (5.1.11-nji *a*) çyzgyda *b* we *d* radiuslar hem-de α burç belli bolsa;

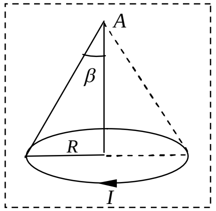
b) (5.1.11 –nji *ç*) çyzgyda *b* radius we *d* tarapy belli bolsa, *O*



5.1.11-nji çyzgy. *Tokly geçiriji halka*

nokadyndaky magnit meýdanynyň induksiýasyny kesgitlemeli.

5.1.17. Radiusy *R*=10 *sm* bolan inçe halka görnüşdäki geçirijiden tok geçýär. Eger *A* nokatda magnit meýdanynyň induksiýasy $B=10^{-5}Tl$ we $\beta=10^0$ deň bolsa, (5.1.12-nji çyzgy), onda halkadan akyp geçýän tok güýjüniň ululygyny kesgitlemeli.

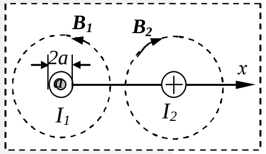


5.1.12-nji çyzgy. *Tokly geçiriji halka*

5.1.18. Induksiýasy *B*=0,01*Tl* bolan birhilli magnit meýdanynyň güýç çyzyklarynyň ugruna kese keseginiň meýdany $S=4\ mm^2$ bolan göni mis geçiriji perpendikulýar ýerleşdirilen. Eger, geçirijiden *I*=8,9*A* tok güýji geçirilse, onda geçiriji nähili tizlenme bilen magnit meýdanyndan iteklenip çykarylar ?

$$\mu = \frac{B}{\mu_0 H}, \qquad (1)$$

ferromagnit maddalaryň magnit syzyjylygyny meýdanyn *B* we *H* ululyklarynyň üsti bilen aňladyp bolar. Bu gatnaşygyň esasynda 5.2.1-nji çyzgydan meseläniň şertinde *H*-yň berlen bahasyndan peýdalanyp, demir üçin *B*=1,5 *Tl* -a deňdigini bileris. Soňra 1-nji deňlik boýunça hasaplap, demir üçin $\mu = 497$ taparys. Indi bolsa, 5.2.4-nji deňlikden ferromagnit maddanyň ***J*** magnitlenme wektoryny



5.2.2-nji çyzgy. *Garşylykly ugrukdyrylan tokly parallel geçirijiler*

$$\boldsymbol{J} = \frac{\boldsymbol{B}}{\mu_0} - \boldsymbol{H}, \qquad (2)$$

aňladyp, onyň *J*=1,497 *Tl* deňdigini kesgitläris.

Indi bolsa, 5.2.5-nji deňlikden $\chi = I/(\mu H)$ aňlatma boýunça demir üçin $\chi = 496$-dygyny hasaplap bileris.

***M e s e l e* 5.2.2.** Radiusy $a = 4\ mm$ bolan iki sany mis elektrik geçiriji sim parallel, biri beýlekisinden özleriniň oklaryndan 5*sm* daşlykda ýerleşdirilen. Bu geçirijilerden garşylykly ugra deň ulylykly tok güýji geçýär. Bu simleriň uzynlyk birliklerine düşýän induktiwligini kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i : Meseläniň şertindäki geçiriji simleri çyzgynyň tekizligine perpendikulýar ýerleşen diýip kabul edeliň we olary 5.2.2-nji çyzgydaky ýaly ýerleşdireliň. Çep tarapdaky geçiriji simiň merkezinden başlap, saga tarap *x* oky geçireliň. 0<*x*<*a* çäkde (geçirijiniň içinde) magnit meýdanyň güýjenmesi:

• **Üstünden I tok güýji geçýän solenoidiň magnit meýdanynyň energiýasy**:

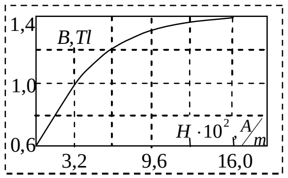
$$W = \mu_0 \mu \frac{n^2 I^2}{2} V = \frac{B^2}{2\mu_0 \mu} V = \frac{BH}{2} V \ . \qquad (5.2.10)$$

• **Magnit meýdanyň energiýasynyň ω dykyzlygy (göwrüm birligine düşýän bahasy):**

$$\omega = \frac{W}{V} = \frac{\mu_0 \mu}{2} H^2 = \frac{BH}{2} = \frac{B^2}{2\mu_0 \mu} \ . \qquad (5.2.11)$$

MESELELERIŇ ÇÖZÜLIŞINE MYSALLAR

***M e s e l e* 5.2.1.** Güýjenmesi $H = 2,4 \cdot 10^3$ *A/m* bolan magnit meýdanyna demir bölegi girizilen . Görkezilen 5.2.1. -nji çyzgydan peýdalanyp, demiriň magnit syzyjylygyny, magnitlenmesini we magnit kabul edijiligini kesgitlemeli.



5.2.1-nji çyzgy. *Demir üçin B=f(H) baglylyk*

***Ç ö z ü l i ş i* :** Demir ferromagnit maddalarynyň hataryna girýär. Wakuumdaky magnit meýdanyň induksiýasyny onuň güýjenmesi bilen baglanyşdyrýan 5.2.3-nji aňlatmany görnüşde ýazyp ,

5.1.19. Uzynlygy l=1,2m, diametri D=6sm bolan solenoid, diametri d=2mm bolan mis simden saralan we sarymlary biri-birine jebis goýlan . Solenoidiň merkezindäki magnit meýdanyň induksiýasy B=7,5·10^{-5} *Tl* bolmagy üçin onuň uçlaryndaky potensiýallaryň tapawudy hähili bolmaly ? Sarymlaryň elektrik goraglaryny hasaba almaly däl.

5.1.20. Radiusy r =10mm bolan, geçiriji ýuka diwarly uzyn metal turba görnüşinde bolup, onuň oky boýunça inçejik gejiriji sim ýerleşdirilen. Eger geçirijilerden ululygy özara deň I= 0,5 A tik güýji akýan we garşylykly tarapa ugrukdyrylan bolsa, onda degişlilikde geçirijileriň umumy okundan r_1 =5mm we r_2 = 15 mm uzaklukda ýerleşen nokatlarda magnit meýdanynyň induksiýasyny kesgitlemeli.

5.1.21. Silindr şekilli turbanuň üstki diwary boýunça I hemişelik tok güýji geçýär. Turbanyň içindäki we daşyndaky magnit meýdanynyň guýjenmesi nähili bolar ?

5.1.22 *. Tekizlikde (x=0) ýatan tükeniksiz geçiriji tekizlik boýunça j=$j_s e_z$ hemişelik dykyzlykly tok geçýär. Bu toguň döredýän magnit meýdanynyň B induksiýasyny kesgitlemeli.

5.2. MAGNIT HÄSIÝETLI MADDALAR

Esasy kesgitlemeler we aňlatmalar

• **Magnitlenme wektory *J*** diýip, göwrüm birligindäki magnit momentleriniň jemine aýdylýar:

$$\boldsymbol{J} = \frac{\sum \boldsymbol{p}}{V}. \qquad (5.2.1.)$$

Bu ýerde ***J*** magnitlenme weklory,, *V* magnit maddanyň garalýan bölüminin göwrüimi, ***p*** magnit momenti.

Geçiriji halkanyň ýa-da magnit maddalaryň kesgitli böleginiň magnit momenti:

$$\boldsymbol{p} = i\,S\,\boldsymbol{n}\,. \qquad (5.1.2)$$

Bu ýerde *i* - geçiriji halkadan geçýän tok güýji ýa-da orbita boýunça elektronlaryň döredýän molekulýar tok güýji, *S* - molekulýar tok güýji bilen çäklenen meýdan, ***n*** - molekulýar *i* tok bilen sag nurbat boýunça baglanyşykly *S* üste geçirilen normal wektor.

• **Magnit meýdanynyň induksiýasy bilen onuň güýjenmesiniň arasyndaky baglanyşyk:**

$$\boldsymbol{B} = \mu_0 \mu \boldsymbol{H}\,. \qquad (5.2.3)$$

• Magnit maddalarynda ***B***, ***H*** we ***J*** weklorlaryň arasynda

$$\boldsymbol{B} = \mu_0 \boldsymbol{H} + \mu_0 \boldsymbol{J}\,, \qquad (5.2.4)$$

baglanyşyk bar. Bu ýerde ***H*** daşky magnit meýdanyň güýjenmesiniň wektory , μ_0 magnit hemişeligi. Uly bolmadyk magnit meýdanlarynda magnitlenme wektory meýdanyň güýjcnmesi bilen

$$\boldsymbol{J} = \chi \boldsymbol{H}\,, \qquad (5.2.5)$$

baglanyşykdadyr. Bu ýerde χ - maddalaryn magnit kabul edijilik koeffisiýenti. Ol

$$\mu = 1 + \chi\,. \qquad (5.2.6)$$

• **Magnit meýdanynyň energiýasy:**

$$W = \frac{1}{2} L I^2\,. \qquad (5.2.7)$$

Bu ýerde *L*- geçirijiniň induktiwligi, *I*- geçirijiden geçýän tok güýji.

•**Solenoidiň induktiwligi:**

$$L = \mu_0 \mu n^2 V\,. \qquad (5.2.8)$$

Bu ýerde μ -solenoidiň içindäki maddanyň magnit syzyjylygy, $n = N/l$ - solenoidiň *l* uzynlyk birligine düşýän sarymlarnyň sany, *V*=*Sl*- solenoidiň saralan silindriniň sarymy bilen bilelikdäki göwrümi.

A nokada çenli aralygy *h* ädimiň bitin sanyna deň bolan nokatlarda fokusirlenýärler.

Ýokardaky 1-nji aňlatmadan peýdalanyp, ony aşakdaky ýaly ýazalyň

$$\frac{l}{\left(2\pi m\vartheta/(qB_1)\right)}=n, \qquad \frac{l}{\left(2\pi m\vartheta/(qB_2)\right)}=n+1. \qquad (2)$$

Bu ýerde $n=1,2,3,\ldots$.

Indi tizlendirilýän zarýadlanan bölejikleriň enegiýalarynyň $m\vartheta^2/2=qU$ saklanma kanunyndan peýdalanyp, ϑ tizligi aşakdaky ýaly ýazalyň:

$$\vartheta=\sqrt{\frac{2qU}{m}}.$$

Bu aňlatmany 2-nji deňlemeler ulgamyndan taparys:

$$\frac{qB_2l}{2\pi m\vartheta}-\frac{qB_1l}{2\pi m\vartheta}=1, \qquad \frac{(B_2-B_1)}{2\pi m\vartheta}ql=1.$$

Bu aňlatmalary kwadrata göterip alarys:

$$\frac{(B_2-B_1)^2}{4\pi^2m^2\vartheta^2}q^2l^2=1, \qquad \frac{(B_2-B_1)^2ql^2}{4\pi^2m2U}=1.$$

Bu ýerden bolsa gutarnykly taparys:

$$U=\frac{(B_2-B_1)^2l^2}{8\pi^2}\frac{q}{m}.$$

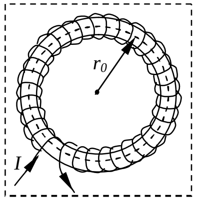
TALYPLARYŇ ÖZBAŞDAK TAÝÝARLYKLARYNY BARLAMAK ÜÇIN SORAGLAR

1. Maddalaryň magnitlenme wektory diýip nämä düşünilýär?
2. Magnitlenme weklorynyň ugruny görkeziň.
3. ***B***, ***H*** we ***J*** wektorlaryň arabaglanyşygyny tapyň.
4. Madaddalaryň magnit kabul edijilik we magnit syzyjylyk koeffisiýentlerini düşündirmeli.
5. Doly toguň kanynyny getirip çykarmaly.
6. Magnit meýdanynyň energiýasy.

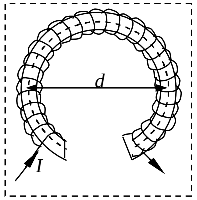
ÖZBAŞDAK ÇÖZMEK ÜÇIN MESELELER

Gönükme 5.2.

5.2.1. Sarymlarynyň sany K=500 bolan inçe solenoidi tegelek demir ýürckçäniň daşyna saralyp, (toroid şekilli) geçiriji halka döredilen (5.2.4-nji çyzgy). Bu geçiriji halkanyň orta radiusy r_0 = 25 *sm*-e deň. Ondan I_1 ,=0,5 *A* we I_2 =5 *A* tok geçen halatynda geçiriji halkanyň merkezinde döreýän magnit meýdanynyň induksiýalaryny, demir ýürekçäniň görädýän magnit syzyjylygyny we magnitlenmesini kesgitlemeli.



5.2.4 -nji çyzgy.
Demir ýürekçäniň daşyna saralani toroid



5.2.5 -nji çyzgy.
Nal şekilli ýürekçäniň daşyna saralan toroid

5.2.2. Uzynlygy l_0=3 *mm* bolan howa yarçygyny özünde saklaýan, polat ýürekçeli, her bir metr uzynlykda n=1000 sarymly , diametri d=30 *sm* toroidiň sarymyndan (5.2.5-nji çyzgy) nähili ululykda I tok güýji geçende ýarçykda magnit meýdanyň induksiýasy B_0 = 1 *Tl* bolar?

5.2.3. Bir ýurekçä induktiw koeffisiýentleri degişlilikde L_1 we L_2 bolan iki tegek saralan. Olaryň özara induktiwlik koeffisiýentlerini kesgitlemeli. Magnit meýdanynyň ýarçykda dargamagyny hasaba almaly däl.

$$m\frac{\vartheta}{t} = IBl\sin\alpha - mg\,.$$

Bu ýerden

$$\vartheta = \frac{IBl\sin\alpha - mg}{m}t\,. \qquad (3)$$

Meseläniň şertindäki berlen ululyklardan peýdalanyp hasaplarys $\vartheta = 10\frac{m}{s}$.

***M e s e l e* 5.3.6 *.** Käbir U potensiallaryň tapawudyna çenli relýatiwistik däl tizlendirilen protonlaryň gowşak dargaýan dessesi göni solenoidiň oky boýunça A nokatdan çykýar. Magnit meýdanynyň iki sany yzygider gelýän B_1 we B_2 induksiýasynyň bahalarynda desse A-dan käbir l aralykda fokusirlenýär. Eger bölejikleriň q/m udel zarýady belli bolsa, onda U-nyň bahasyny kesgitlemeli.

Ç ö z ü 1 i ş i : Zarýadlanan bölejik ϑ tizlik bilen birhilli magnit meýdanyna onuň induksiýasynyň güýç çyzyklaryna α burç bilen uçup girende, ol hyrly traýektoriýa boýunça hereket eder. Bu halda zarýadlanan bölejigiň hyrly traýektoriýasynyň oky magnit meýdanynyň $\boldsymbol{B}$ induksiýasynyň wektorynyň ugry bilen gabat geler. Hyryň ädimi

$$h = \vartheta T\cos\alpha\,.$$

Bu ýerde $T = \frac{2\pi m\vartheta}{qB}$ - magnit meýdanynda zarýadlanan bölejigiň aýlanma periody.

Eger α<<1 bolsa ädimiň ululygy α burça baglylygyny ýitirýär:

$$h = \frac{2\pi m\vartheta}{qB}\ . \qquad (1)$$

Gowşak dargaýan (parallele golaý) dessede zarýadlanan bölejikler deň ädimli hyr boýunça hereket edýärler. Diýmek, olar

*M e s e l e 14 *.*

$$m\vartheta r=\frac{2m\Delta\varphi}{B}=3{,}64\cdot 10^{-26}\frac{kg\,m^2}{s},$$

deňdigini hasaplap bileris.

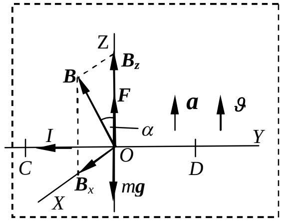
***M e s e l e* 5.3.5*.** Wertikal ugur bilen 30^0 burçy emele getirýän, induksiýasy 2*Tl* bolan birhilli magnit meýdanynda üstünden 4 *A* tok güýji geçýän, massasy 2 *kg* bolan göni geçiriji ýokarlygyna hereket edýär. Hereket başlanandan 3 *s* geçenden soňra geçiriji käbir ϑ tizlige eýe bolýar. Eger geçirijiniň uzynlygy *l*=6,55 *m* bolsa ϑ tizligi kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i : Magnit meýdanynda hereket edýän geçirijä ***mg*** agyrlyk güýji, ***F*** Amperiň güýji täsir eder (5.3.4-nji çyzgy). Amperiň güýji $F=IB_xl$ deňdir. Bu ýerde $B_x=B\sin\alpha$ ***B*** wektoryň *OX* ok boýunça düzüjisi:

$$F=IBl\sin\alpha\,. \qquad (1)$$

Meseläniň şertine görä, geçiriji deňtizlenýän hereket edýär. Onda Nýutonyň ikinji kanunynyň deňlemesi *OZ* oka görä aşakdaky ýaly ýazylar:

ma=F-mg.



5.3.4-nji çyzgy. *Magnit meýdanynda hereket edýän geçiriji*

Ýa-da 1-nji deňligi hasaba alyp,

$$ma=IBl\sin\alpha-mg\,. \qquad (2)$$

Indi $a=\vartheta/t$ deňlikden tizlenmäniň bahasyny 2-nji deňlikde ornuna goýalyň:

5.2.4. Mis simden taýýarlanan solenoidiň sarymlarynyň kese kesigi *S*, uzynlygy *l* , garşylygy *R* bolsa, onuň induktiwligini kesgitlemeli.

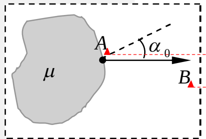
5.2.5. Şol bir ýürekçä iki sany uzyn tegek saralan. Tegekleriň induktiwlikleri degişlilikde L_1=l,6 *Gn* we L_2=0,l *Gn*. Birinji tegegiň sarymlarynyň sany ikinji tegegiň sarymlarynyň sanyndan näçe esse köpdür?

5.2.6. Üstünden *I*=5 A tok güýji geçýän *K*=200 sarymly ýürekçesiz toroidiň okundaky magnit meýdanynyň induksiyasyny we güýjenmesini hasaplamaly. Toroidiň daşky diametri d_1 =30 *sm*, icki diameiri bolsa. d_2 =20 *sm.*

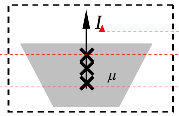
5.2.7. Uzynlyk birligindäki saryma düşýän tok guýji *nI* amper-sarym bolan solenoid $\mu>1$ magnit syzyjylykly birhilli magnit maddasy bilen doldurylan. Magnit meýdanynyň induksiyasyny kesgitlemeli.

5.2.8. Birhilli magnit madda bilen doldurylan *a* radiusly silindriň oky boýunça *I* tok güýji akýar. Maddanyň magnit syzyjylygy $\mu>1$. Magnit meýdanynyň induksiýasynyň silindriň okuna çenli aralyga baglylygyny kesgitlemeli.

5.2.9. Bölek magnit maddanyň wakuum bilen serhedindäki *A* nokatda döredýän magnit meýdanynyň



5.2.6-nji çyzgy. *Magnit häsiýetli madda wakuumda*



5.2.7-nji çyzgy. *Magnit maddasyna perpendikulýar batyrylan tokly geçiriji*

induksiýasynyň wektory ***B****o*. Bu wektor *A* nokada geçirilen perpendikulýar bilen α_0 burçy emele getirýär (5.2.6-njy çyzgy).

Maddanyň magnit syzyjylygy μ -e deň. A nokatda magnit maddadaky B induksiyasyny kesgitlemeli.

5.2.10. Ustünden tok guýji I gecýän inçe geçirijiniň bölegi magnit maddanyň wakuum bilen araçägine perpendikulýar ýerleşdirilen (5.2.7-nji cyzgy). Maddanyň magnit syzyjylygy μ -e deň. Şu bölünme araçäkde magnitlendiriji tok güýjüniň I' cyzykly dykyzlygynyň gecirijä çenli r aralyga baglylygyny kesgitlemeli.

5.2.11. Magnit syzyjylygy μ bolan maddanyň wakuum bilen araçäkleşýän üstüne I tokly inçe, uzyn geçiriji perpendikulýar çümdürilen. Geçirijiniň töwereginäki wakuumdaky magnit meýdanynyň B induksiyasyny gecirijä çenli r aralygyň funkstýasy hökmünde tapmaly. Bu ýerde $\boldsymbol{B}$ wektoiyň çyzyklarynyň merkezini geçirijiniň oky bilen gabat gelýär diýip kesgitlemeli.

5.2.12. Induktiwligi L=0,2 Gn bolan solenoidden I=10 A tok güýji geçýär. Solenoidiň magnit meýdanynyň energiýasyny kesgitlemeli.

5.2.13. Solenoid K=1000 sarym bir gat edilip saralan. Eger sarymdan geçýän tok güýji I=1A-e deň bolanda solenoidden geçýän magnit akymy N=0,01Wb. Magnit meýdanynyň W energiýasyny kesgitlemeli.

5.2.14. Demir halkanyň üstünde K=200 sarym bir gat edilip saralan. Sarymdan I=2,5 A tok güýji geçirilse, demir halkadan geçýän magnit akymy N=0,5 mWb. Meýdanyň W energiýasyny kesgitlemeli.

5.2.15. Induksiýasy B=1 Tl bolan demiriň içinde döreýän magnit meýdanynyň energiýasynyň dyzkyzlygy $\omega = 200\ J/m^3$. Bu demiriň μ magnit syzyjylygyny kesgitlemeli.

5.2.16. Içi ýürekçesiz solenoidiň üstünden geçýän tok güýjüniň käbir bahasynda onuň döredýän magnit meýdanynyň energiýasynyň dykyzlygy $\omega = 0,2\,J/m^3$. Eger solenoidden

$$h = \frac{2\pi E}{B} t = 6,28 \cdot 10^{-2}\, m - e$$

deňdigini hasaplap taparys.

***M e s e l e* 5.3.4.** Elektron potensiallarynyň tapawudynyň ululygy $\Delta\varphi = 10^4$ W bolan elektrik meýdanynda tizlendirilip, B=0,5Tl induksiýaly birhilli magnit meýdanynyň güýç çyzyklaryna perpendikulýar ugurda hereket edýär. Elektronyň impulsynyň momentini kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i : Birhilli magnit meýdanynyň $\boldsymbol{B}$ induksiýasynyň güýç çyzyklaryna perpendikulýar ugur boýunça zarýadlanan bölejik ϑ tizlik bilen hereket etse, onda ol töwerek boýunça aýlanar. Bu töweregiň r radiusyny

$$r = \frac{m}{e}\frac{\vartheta}{B},$$

deňlik bilen aňladyp bolar. Bu ýerde m we e degişlilikde elektronyň massasy we zarýady, ϑ onuň tizligi, B magnit meýdanynyň induksiýasy.

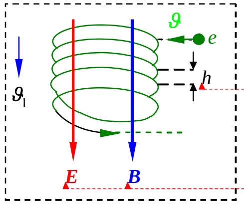
Töwerek boýunça hereket edýän elektronyň impulsynyň momentini:

$$m\vartheta r = m\vartheta \frac{m}{e}\frac{\vartheta}{B} = \frac{2m}{eB}\frac{m\vartheta^2}{2}.$$

Elektronyň elektrik meýdanynda eýe bolan $m\vartheta^2/2$ kinetik energiýasy meýdanyň ýerine ýetirýän $e\Delta\varphi$ işine san taýdan deňdir:

$$\frac{m\vartheta^2}{2} = \Delta\varphi \cdot e.$$

Bu deňligi ulanyp,



5.3.34-nji çyzgy. *Perpendikulýar ugrukdyrylan magnit we elektrik meýdanlarynda zarýadlanan bölejigiň hereketi*

Bu ýerde *m* bölejigiň massasy. Seredilýän hal üçin l-nji deňlikden:

$$R=\frac{m\vartheta}{qB}. \qquad (2)$$

Bu bolsa zarýadyň aýlanma periodyny tapmaklyga mümkinçilik berýär:

$$T=\frac{2\pi R}{\vartheta}, \text{ ýa-da } T=\frac{2\pi m}{qB}. \qquad (3)$$

Zarýadlanan bölejige gysga wagtlaýyn elektrik meýdanyň ($\boldsymbol{F}_{el}=q\boldsymbol{E}$, bu ýerde $\boldsymbol{E}$ elektrik meýdanyň güýjenmesi) täsiri magnit meýdanynyň ugruna tizligiň ϑ=0-dan ϑ_1-*e* çenli artmagyna getirer (5.3.3-nji çyzgy). Güýjüň $F_{el.}t=m\vartheta_1$ impulsyndan ϑ_1-i tapyp bileris:

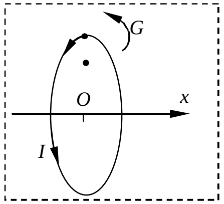
$$\vartheta_1=\frac{F_{el}t}{m}. \qquad (4)$$

Zarýadlanan bölejik magnit meýdanynda tä elektrik meýdany täsir edýänçä ϑ tizlik bilen töwerek boýunça hereket eder. Elektrik meýdanynyň täsiri netijesinde ϑ tizlige perpendikulýar bolan ϑ_1 tizligiň döremegi, zarýadlanan bölejigiň hyr boýunça hereket etmegine sebäp bolýar. Hereket durnuklaşandan soň hyryň *h* ädimi üýtgemez. Zarýadlanan bölejigiň ϑ_1 tizlik bilen bir aýlaw wagtyndaky *h* süýşmesini (ädimini) $h=\vartheta_1 T$ görnüşde ýazyp bolar.Ýa-da 3 -nji we 4-nji deňlikierden peýdalanyp:

geçýän tok güýjüni üýtgetmän onuň içine demir ýürekçe girizilse magnit meýdanynyň energiýasynyň dykyzlygy näçe esse üýtgär?

5.2.17. Solenoiddaky demir ýürekçäni magnitlendiriji meýdanyň güýjenmesi *H*=l,6 *kAm*. Demir ýürekçedäki magnit meýdanynyň energiýasynyň dykyzlygyny kesgitlemeli.

5.2.18*. Radiusy *R* bolan ýuka dielektrik diskiň bir tarapy σ üst dykyzlykly zarýadlar bilen deňölçegli zarýadlandyrylan. Bu disk öz okunyň daşynda ω burç tizligi bilen aýlandyrylýar. Diskiň magnit momentini we merkezindäki magnit meýdanynyň induksiýasyny kesgitlemeli.



5.2.8-nji çyzgy. *Özara perpendikulýar tekizliklerde ýerleşen tokly geçiriji*

5.2.19*. Üstünden tok geçýän tegelek sarymyň simini gurşap alýan *G* halka boýunça $\boldsymbol{B}$ wektoryň aýlanmasyny tapmaly (5.2.8 -nji çyzgy).

Eger *x* oky aýlaw toguň *O* merkezinden onuň tekizligine perpendikulýar ugurda geçýän bolsa $\int_{-\infty}^{+\infty} B_x(x)\,dx$ -i tapmaly. (B_x üçin anyk aňlatmadan peýdalanmaly däl !)

5.3. MAGNIT MEÝDANYNDAKY GÜÝÇLER

Esasy kesgitlemeler we aňlatmalar

• ***Magnit meýdanynda hereket edýän zarýada täsir edýän güýç***

$$\boldsymbol{F} = q[\vartheta \boldsymbol{B}], \qquad (5.3.1)$$

aňlatma, ýagny Lorensiň kanuny bilen kesgitlenilýär. Bu ýerde q -bölejigiň zarýady, ϑ - onuň tizligi.

• ***Elektrik we magnit meýdanlarynda hereket edýän zarýadlanan bölejige täsir edýän güýç:***

$$\boldsymbol{F} = q\boldsymbol{E} + q[\vartheta \boldsymbol{B}] \ . \qquad (5.3.2)$$

Bu ýerde ***E***- elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň wektory. Bu deňlik skalýar görnüşde:

$$F = qE + q\vartheta B\,sin\alpha \ . \qquad (5.3.3)$$

Bu ýerde α - zarýadlanan bölejigiň hereket edýän ugry bilen magnit meýdanynyň induksiýasynyň wektorynyň emele getirýän burçy.

MESELELERIŇ ÇÖZÜLIŞINE MYSALLAR

***M e s e l e* 5.3.1.** Elektron başlangyç tizliksiz potensiallaryň tapawudy U_1=10^4*W* bolan elektrik meýdanynda tizlendirilip, kondensatoryň içine göni çyzyk boýunça uçup girýär (5.3.1-nji çyzgy). Kondensatoryň uzynlygy l_1=20 *sm*, onuň

$$h = \vartheta_{AB}T = \vartheta cos\alpha \cdot T \ .$$

Bu ýerde *T* elektronyň bir aýlawynyň gaýtalanma wagty (periodydyr).Ony $T = 2\pi r/\vartheta_{\perp}$ görnüşde tapyp bolar:

$$T = \frac{2\pi R}{\vartheta sin\alpha}.$$

T-niň bu bahsyndan peýdalanyp, $h = 2\pi Rctg\alpha$ deňligi alarys. Meseläniň şertinde berlen ululyklardan peýdalanyp, ahyrky deňlik boýunça $h = 2{,}3 \cdot 10^{-3}$ *m* deňdigini taparys.

***M e s e l e* 5.3.3.** Zarýad hemişelik tizlik bilen birhilli magnit meýdanyna onuň induksiýasynyň güýç çyzyklaryna perpendikulýar ugur boýunça uçup girýär (5.3.3-nji çyzgy). Magnit induksiýasy *B*=1*T1*, *t*=0,0001 *s* wagtyň dowamynda magnit meýdanyna parallel , güýjenmesi *E*=100 *W/m* bolan elektrik meýdany täsir edýär. Zarýadyň hyr boýunça hereketiniň hemişelik ädimini kesgitlemeli .

Ç ö z ü l i ş i : Magnit meýdanynda hereket edýän zarýada

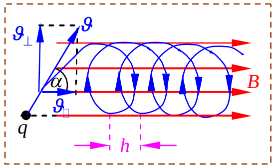
$$F_L = q\vartheta Bsin\alpha \ ,$$

ululykdaky Lorensiň güýji täsir edýär. Bu ýerde *q*- bölejigiň zarýady, ϑ - onuň tizligi, *B* -magnit meýdanyň induksiýasy. Eger magnit meýdany birhilli, $\boldsymbol{\vartheta}$ we ***B*** wektorlar hem özara perpendikulýar bolsalar, $\boldsymbol{F}_L = q\boldsymbol{\vartheta B}$ $= hemişelik$ bolar we zarýadlanan bölejik *R* radiusly tówerek boýunça hereket eder. Bu halda Lorensiň güýji merkeze ymtylýan güýje deň bolar:

$$q\vartheta B = \frac{m\vartheta^2}{R}. \qquad (1)$$

hereketiniň traýektoriýasynyň r egrilik radiusyny we onuň ýazan hyrynyň h ädimini kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i : Zarýadlanan bölejik magnit meýdanynyň güýç çyzyklarynyň ugruna α ýiti burç bilen girende bölejige Lorensiň güýjüniň täsir etmegi bilen onuň hyr boýunça hereket edýändigi nazaryýetden bellidir. Bölejigiň ϑ tizligi magnit meýdanynyň induksiýasynyň güýç çyzyklaryna $\vartheta_{\perp}$ perpendikulýar we $\vartheta_{\parallel}$ parallel ugrukdyrylan düzüjilere dargadyp, elektronyň hyr boýunça hereket etmeginiň sebäbine düşünip bolar (5.3.2-nji çyzgy).



5.3.2-nji çyzgy. *Zarýadly bölejigiň magnit meýdandaky hereketi*

Elektron özüniň tizliginiň $\vartheta_{\perp}$ perpendikulýar düzüjisiniň hasabyna Lorensiň güýjüniň täsiri bilen magnit meýdanynda töwerek boýunça hereket eder. Bu hereketde oňa goşmaça merkeze ymtylýan güýjüň täsiri hem dörär. Bu güýçler özara deňdirler $F_L = F_{m.y.}$. Çyzga laýyklykda

$$F_{m.y.}\frac{m\vartheta_{\perp}^2}{R} = \frac{m\vartheta^2 sin^2\alpha}{R}.$$

Ýa-da :

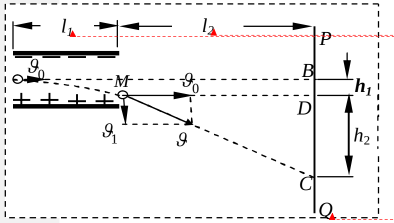
$$\frac{m\vartheta^2 sin^2\alpha}{R} = e\vartheta B sin\alpha .$$

Bu ýerde R -halkalaryň radiusy, e we m - degişlilikde elektronyň zarýady we massasy, $\boldsymbol{B}$ -magnit meýdanynyň induksiýasy, α - elektronyň tizligi bilen magnit meýdanynyň induksiýasynyň güýç çyzyklarynyň arasyndaky burç. Elektronyň magnit meýdanyndaky hyrlaýyn hereketiniň ädimi elektronyň tizliginiň $\vartheta_{\parallel}$ parallel düzüjisiniň onuň bir aýlaw etmäge harç eden T wagtyna köpeldilmegine deňdir:

plastinalarynyň arasy d=2 *sm*. Kondensatordan l_2=1 *m* daşlykdaky *PQ* ekrandaky *BC* aralygy tapmaly.

Ç ö z ü l i ş i : Elektronlaryň kondensatoryň içindäki hereketi iki düzüjiden ybaratdyr. Olaryň birinjisi başda elektron kondensatora çenli U_0 (katodyň we anodyň) potensiallarynyň tapawudy arkaly alan we *AB* çyzygyň ugruna inersiýa boýunça ϑ_0 hemişelik tizlik bilen hereket edýär. Ikinjisi bolsa, elektron kondensatoryň elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň täsiri astynda wertikal ugra položitel plastina tarap deňtizlenýän hereket edýär. Çyzgydan (5.3.1-nji) görnüşi ýaly,

$$BC = h_1 + h_2 . \qquad (1)$$



5.3.1-nji çyzgy. *Elektronyň elektrik meýdanyndaky hereketi*

Bu ýerde h_1 - elektronyň kondensatoryň içindäki gyşarma aralygy, h_2- elektronyň kondensatordan çykandan soňra ϑ tizlik bilen hereket edip, ekrandaky D nokatdan C nokada çenli süýşen aralygy.

Deňtizlenýän hereketiň aňlatmasyndan peýdalanyp taparys:

$$h_1 = \frac{at^2}{2}. \qquad (2)$$

Bu ýerde a we t degişlilikde kondensatoryň içinde elektronyň hereket tizlenmesi we hereketiniň bolup geçýän wagty.

Nýutonyň ikinji kanunyndan

$$a = \frac{F}{m} \ , \tag{3}$$

elektronyň tizlenmesini ýazyp bolar. Bu ýerde $F = eE$ - elektrik meýdany tarapyndan elektrona täsir edýän güýç, m - elektronyň massasy. Bu güýji

$$F = eE = e\frac{U_1}{d} \ , \tag{4}$$

gömüşde hem aňladyp bolar. Bu ýerde e - elektronyň zarýady, d, U_1-, degişlilikde kondensatoryň plastinalarynyň arasyndaky uzaklyk we potensiallaryň tapawudy .

Elektronyň kondensatoryň içinde deňölçegli hereket edip geçýän ýolunyň uzynlygyny $l_1 = \vartheta_0 t$ deňliginden tapyp bolar:

$$t = \frac{l_1}{\vartheta_0} \ . \tag{5}$$

Energiýanyň saklanma kanunyndan:

$$\frac{m\vartheta_0^2}{2} = eU_0 \ .$$

Elektronyň tizligi:

$$\vartheta_0^2 = \frac{2eU_0}{m} \ . \tag{6}$$

Indi 3-6-njy deňlikleri hasaba alyp,

$$h_1 = \frac{U_1 l_1^2}{4dU_0} \ . \tag{7}$$

Kesimiň h_2 uzynlygyny MDC we $M\vartheta_0\vartheta$ üçburçlyklaryň meňzeşliginden tapyp bileris:

$$h_2 = \frac{\vartheta_1 l_2}{\vartheta_0} \ . \tag{8}$$

Bu ýerde ϑ_1 - elektronyň M nokatdaky wertikal ugur boýunça tizligi, l_2 - kondensatordan ekrana çenli aralyk. Bu aňlatmadaky ϑ_1 tizligi aşakdaky deňlikden $\vartheta_1 = at$ ýazyp bolar. Indi 3-5-nji aňlatmalardan:

$$\vartheta_1 = \frac{eU_1 l_1}{m\vartheta_0 d} . \tag{9}$$

Bu deňligi 8-nji aňlatmada goýup,

$$h_2 = \frac{eU_1 l_1 l_2}{m\vartheta_0^2 d} ,$$

ýa-da 6-njy deňlikdäki ϑ_0^2-yň bahasyny çalşyryp taparys:

$$h_2 = \frac{U_1 l_1 l_2}{2dU_0} .$$

Indi biz gözlenýän BC aralyk üçin gutarnykly deňlik alarys:

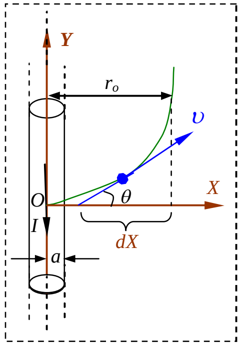
$$BC = \frac{U_1 l_1}{2dU_0}\left(\frac{l_1}{2} + l_2\right) . \tag{10}$$

Soňky deňlik boýunça geçirilen hasaplamalardan BC=5,5 *sm*.

***M e s e l e* 5.3.2.** Elektron $\vartheta = 2\cdot 10^6$ m/s tizlik bilen birhilli magnit meýdanynyň güýç çyzyklarynyň ugruna $\pi/6$ gradus burç bilen uçup girýär. Magnit meýdanynyň induksiýasy $B = 30\cdot 10^{-3}$ Tl -a deň bolsa, onda elektronyň aňlatma bilen kesgitlener. Bu halda meseläniň şertinde soralýan tegekden akjak toguň ululygy:

$$I = \frac{e_{ind}}{R} = \frac{e_{ind}}{\rho l} S = \frac{\alpha \upsilon \pi r^2 S}{2\pi r \rho} = \frac{\alpha \upsilon r S}{2\rho} .$$

***M e s e l e* 5.4.5** ***.** Üstünden I hemişelik tok güýji geçýän, a radiusly tükeniksiz uzyn göni geçirijiden onuň üstüne perpendikulýar ugurda υ_0 başlangyç tizlikli elektron uçup çykýar. Geçirijidäki togy döredýän magnit meýdanynyň täsiri astynda elektronyň yzyna öwrülýänçä geçirijiniň okundan daşlaşan iň uly aralyk r_0 –a deň bolsa, onda elektronyň υ_0 tizligini hasaplamaly.



5.4.3-nji çyzgy. *Tokly göni tükeniksiz uzyn geçirijiniň magnit meýdanyndaky elektronyň hereketi*

Ç ö z ü 1 i ş i : Koordinata oklaryny 5.4.3-nji çyzgyda görkezilişi ýaly ugrukdyralyň.

Tükeniksiz uzyn göni tokly geçirijiniň döredýän magnit meýdanynyň induksiýasy meseläniň şertine görä:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi x} . \qquad (1)$$

Magnit meýdanynda hemişelik tizlikli hereket edýän zarýadyň geçirijiniň okundan X aralykdaky traýektoriýasynyň egrilik radiusyny onuň hereket deňlemesinden taparys:

$$\frac{m\upsilon_0^2}{R} = e\upsilon_0 B.$$

Bu ýerden bolsa

***M e s e l e* 5.3.7** ***.** Induksiýasy B bolan birhilli magnit meýdanynda r radiusly metal şarjgaz $\vartheta = hemişelik$ tizlik bilen hereket edýär. Şarjagazda potensiallaryň tapawudy iň uly baha eýe bolan nokatlaryny görkezmeli we bu potensiallar tapawudyny kesgitlemeli. Tizligiň ugry magnit induksiýasynyň ugry bilen α burçy emele getirýär diýip hasaplamaly.

Ç ö z ü 1 i ş i : Metal şarjagaz magnit meýdanynda hereket edende, ondaky erkin elektronlara Lorensiň güýjüniň täsir etmegi netijesinde şarjagazyň üst gatlagynda zarýadlaryň täzeden paýlanmasy bolup geçýär. Şunlukda şarjagazyň içinde döreýän netijeleýji elektrik meýdany birhilli häsiýete eýe bolar we magnit meýdanynyň täsirini kompensirlär (bitaraplaşdyrar). Şondan soň metalyň içinde elektronlaryň ugrukdyrylan hereketi tamamlanýar.

Elektrik we magnit meýdanlarynda hereket edýän zarýadlara

$$\boldsymbol{F}_{el} + \boldsymbol{F}_{mag} = 0, \quad \text{ýa-da} \quad \boldsymbol{E}q + q[\boldsymbol{\vartheta B}] = 0 \ ,$$

güýçler täsir edýär. Bu ýerden:

$$\boldsymbol{E} = -[\boldsymbol{\vartheta B}] = [\boldsymbol{B\vartheta}].$$

Şarjagazyň içinde

$$|\boldsymbol{E}| = |\boldsymbol{B}||\boldsymbol{\vartheta}| sin\,\alpha$$

ululykly birhilli elektrik meýdany döreýär. Potensiallaryň tapawudynyň iň uly bahasy şarjagazyň diametriniň $\boldsymbol{E}$ wektora parallel bolan nokatlarynyň arasynda döreýär, onuň bahasy

$$\Delta\varphi_{iňuly} = [\boldsymbol{E}]d = [\boldsymbol{E}]2r = 2r|\boldsymbol{B}||\boldsymbol{\vartheta}| sin\,\alpha.$$

TALYPLARYŇ ÖZBAŞDAK TAÝÝARLYKLARYNY BARLAMAK ÜÇIN SORAGLAR

1. Elektrik meýdany nähili haldaky zarýadlara täsir edýändigini we onuň ugruny düşündirmeli.
2. Magnit meýdany nähili haldaky zarýadlara täsir edýändigini we onuň ugruny düşündirmeli.
3. Hereket edýän položitel we otrisatel zarýadlary bilelikde döredilende hemişelik elektrik we magnit meýdanlarynda özlerini hähili alyp bararlar?
4. Amperiň we Lorensiň güýçleriniň täsir edýän ugurlaryny kesgitlemeli.
5. Magnetron usulynyň manysyny düşündirmeli.

***M e s e l e* 5.4.4[*].** Radiusy r bolan geçiriji tegek magnit meýdanynda Z okuň boýuna υ tizlik bilen hereket edýär (5.4.2-nji çyzgy). Magnit meýdanynyň induksiýasy $B = B_0 + \alpha Z$ kanun boýunça artýar. Eger geçirijiniň kese kesiginiň meýdany S, udel garşylygy ρ bolsa tegekden akýan tok güýjüni kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i : Tok güýji :

$$I = \frac{e}{R}. \qquad (1)$$

Tegek magnit meýdanynda hereket edende onuň içinden geçýän magnit akymy wagt birliginde üznüksiz üýtgeýär. Bu sebäpli tegekde induksiýanyň EHG-si we tok döreýär. Tegegiň içinden geçýän magnit akymy :

$$\Phi = BS_0 = \left(B_0 + \alpha Z\right)S_0. \qquad (2)$$

Bu ýerde $S_0 = \pi r^2$ tegegiň kese kesiginiň meýdany, Z tegegiň koordinatasy. Tegegiň deňölçegli hereket edýändigi üçin onuň koordinatasy $Z = Z_0 + \upsilon t$ görnüşde aňladylar. Bu ýerde Z_0 tegegiň başlangyç t=0 pursatdaky koordinatasy. Onda 2-nji deňligi

$$\Phi = \left[B_0 + \alpha\left(Z_0 + \upsilon t\right)\right]\pi r^2,$$

görnüşde ýazyp bolar.

Magnit akymynyň Δt wagtda üýtgemegi

$$\Delta\Phi = \alpha\upsilon\pi r^2 \Delta t\ . \qquad (3)$$

Induksiýanyň EHG-si

$$\left|e_{ind}\right| = \left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right| = \alpha\upsilon\pi r^2$$

deňlik bilen aňladylýar. Şeýlelikde, mesele geçiriji halkada e_0 we e_{ind} EHG-leri bolan iki sany dürli tok çeşmesi özara yzygider birikdirilen halyna syrygýar. Bu halda eger $e_0 > e_{ind}$ şetr yerine ýetse, zynjyrdaky netijeleýji e EHG

$$e = e_0 - e_{ind} \qquad (2)$$

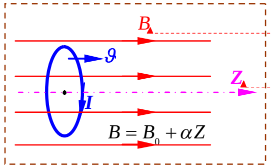
deňlik bilen aňladylar.

Şeýle hem geçiriji halkadaky netijeleýji tok güýji

$$I = \frac{e}{R+r}, \qquad (3)$$

baha eýe bolar.

Çeşmäniň zarýadsyzlanýandygyna görä, onuň gysgyçlaryndaky napryaženiýe:



5.4.2-nji çyzgy. *Magnit meýýdanynda hereket edýän geçiriji tegek*

$$U = e_0 - Ir \; . \qquad (4)$$

Kese atylan l uzynlykly hereket edýän geçirijiden bölünip çykýan ýylylyk ýitgisiniň kuwwaty :

$$P = I^2 R \; . \qquad (5)$$

Şunlukda 1- 5-nji deňliklerden gözlenilýän ululyklar üçin aşakdaky aňlatmany alarys:

$$U = \frac{e_0 R + \upsilon Blr}{R+r}, \quad P = \frac{\left(e_0 - e_{ind}\right)^2 R}{\left(R+r\right)^2}. \qquad (6)$$

Meselede soralýan ululyklary 6-njy deňliklerden hasaplap bolar.

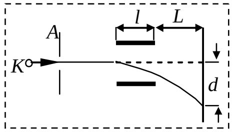
Отформатировано: Шрифт: полужирный, Цвет шрифта: Красный

Отформатировано: Шрифт: полужирный, курсив, Цвет шрифта: Лиловый

ÖZBAŞDAK ÇÖZMEK ÜÇIN MESELELER

Gönükme 5.3.

5.3.1. Örän kiçi tizlikli elektronlar, gyzdyrylan K katoddan çykyp, A ýarçykly perdeden inçe desse görnüşde potensiallaryň tapawudy U bolan meýdanda belli bir tizlige eýe bolýarlar. Soňra olar l uzynlykly kondensatoryň plastinalarynyň arasyndan geçip, ondan L uzaklykda ýerleşdirilen ekrana düşýärler (5.3.5-nji çyzgy). Kondensatorda elektrik meýdany döredilse ekrandaky menejik d aralyga süýşýär.



5.3.5-nji çyzgy. *Elektrik meýdanyndaky elektronyň hereketi*

Kondensatordaky elektrik meýdanynyň güýjenmesini kesgitlemeli.

5.3.2. Elektronlar $\vartheta_0 = 3 \cdot 10^6 \; m/s$ tizlik bilen keseleýin ýerleşdirilen tekiz kondensatoryň plastinalarynyň arasyna parallel uçup girýärler. Kondensatoryň plastinalarynyň uzynlygy l=5 *sm*, elektrik meýdanynyň güýjenmesi E=200 W/m. Elektronlar dessesiniň kondensatordan çykýan pursadyndaky gyşarma burçyny kesgitlemeli.

5.3.3. Elektron $\vartheta_0 = 10^7 \; m/s$ tizlik bilen keseleýin ýerleşen kondensatoryň içine, onuň plastinalaryna parallel uçup girýär. Kondensatoryň plastinalarynyň uzynlygy l =5 *sm*, elektrik meýdanynyň güýjenmesi E=100 W/m. Elektronyň kondensatordan uçup çykýan pursatyndaky tizliginiň ululygyny we ugruny kesgitlemeli. Elektron başdaky ugrundan nähili burça gyşarar ?

5.3.4. Massasy m, zarýady q we kinetik energiýasy W bolan agyr bölejik, potensiallaryň tapawudy U bolan tekiz kondensatoryň plastinalarynyň arasyna uçup girýär. Degişlilikde kondensatoryň plastinalarynyň aralygy d we uzynlygy l. Kondensatordan L daşlykda ekran ýerleşdirilen. Bölejigiň başlangyç tizligi kondensatoryň plastinalaryna parallel ugrukdyrylan. Bölejigiň ekrandaky orun üýtgetmesiniň h ululygyny tapmaly. Eger uçup girýän bölejik elektron bolsa, onda jogap nähili üýtgär?

5.3.5. Elektron kondensatoryň plastinalarynyň arasyna α burç bilen uçup girýär we ondan β burç bilen çykyp gidýär ($\alpha > \beta$). Kondensatoryň uzynlygy l, plastinalarynyň arasyndaky uzaklyk d, olaryň arasyndaky potensiallaryň tapawudy U. Elektronyň başlangyç tizligini hem-de onuň kondensatordan uçup çykan pursatyndaky energiýasyny kesgitlemeli

5.3.6. Elektron tekiz kondensatoryň plastinalarynyň arasyna oňa parallel $\vartheta_0 = 10^7\ m/s$ tizlik bilen uçup girýär we ondan α=35° burç bilen çykyp gidýär. Eger plastinalarynyň uzynlygy l=3 sm we olaryň aralygy d=2sm-e deň bolsa kondensatoryň plastinalarynyň arasyndaky U potensiallaryň tapawudyny kesgitlemeli.

5.3.7. Elektron U=100W potensiallaryň tapawudyndan geçende nähili tizlige eye bolýar?

5.3.8. Elektron ϑ tizlik bilen birhilli $\boldsymbol{H}$ magnit meýdanynyň güýjenmesiniň ugruna perpendikulýar düşýär. Elektron nähili radiusly töweregi çýzar?

5.3.9. Elektron potensiallarynyň tapawudy ΔU bolan elektrik meýdanynda tizlenip, birhilli magnit meýdanynyň $\boldsymbol{B}$ induksiýa çyzyklaryna perpendikulýar ugurda oňa uçup girýär we r radiusly töwerek boýunça hereket edip başlaýar. Elektronyň udel zarýadyny kesgitlemeli.

M e s e l e 5.4.3. Iki sany parallel daşy goragsyz geçirijileriň biri tok çeşmesiniň položitel ikinjisi bolsa çeşmäniň otrusatel gysgyjyna birikdirilen (5.4.1-nji çyzgy). Tok çeşmesiniň içki garşylygy r we EHG-si e_0. Bu parallel ýerleşdirilen geçirijileriň üstünde sürtülmesiz süýşmäge ukyply, l uzynlykly we R garşylykly geçiriji keseleýin iki geçirijä-de galtaşar ýaly edilip ýerleşdiirilen. Okyýjydan bu geçirijileriň ýatan tekizliginiň üstüne perpendikulýar ugur boýunça $\boldsymbol{B}$ induksiýaly magnit meýdany döredilse, l uzynlykly kese ýerleşdirilen geçiriji υ tizlik bilen çyzgyda görkezilen ugra herekete geler.Geçirijileriň garşylygyny öz-özünden induksiýany hasaba almazdan, çeşmäniň uçlaryndaky napräženiýäni we geçirijiden bölünip çykýan ýylylyk ýitgisiniň kuwwatyny kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i s i : Magnit meýdanynyň induksiýasynyň güýç çyzyklary l uzynlykly geçirijiniň üstini kesip geçende onda induksiýanyň e_{ind} EHG-si dörär. Bu halda l geçirijiniň hereket ugruna baglylykda e_0 we e_{ind} birikme uçlary bir alamatly ýa-da dürli alamatly bolup biler. Eger olaryň bir atly uçlary birikse, zynjyrdaky tok güýji peseler, tersine dürli atly uçlary birikse bolsa ol artar. Seredilýan halda çep eliň düzgüninden peýdalanyp, I_{ind} induksiýa togunyň güýjüniň ugrunyň çeşmäniň I tok güýjüniň garşysyna ugrugandygyna göz ýetirmek bolar. Diýmek, seredilýän halda e_0 we e_{ind} biri-birine garşyiykly ugrukdyrylandyr. Şunlukda l uzynlykly geçiriji magnit meýdanynyň $\boldsymbol{B}$ induksiýasynyň ugruna perpendikulýar ugur boýunça hereket edende onda döreýän induksiýanyň e_{ind} EHG-sinin ululygy

$$e_{ind} = \upsilon Bl\,, \qquad (1)$$

Bu ýerde solenoidiň induktiwligi

$$L = \mu_0 n^2 V = \mu_0 \frac{N^2}{l_1}\frac{\pi d_1^2}{4},$$

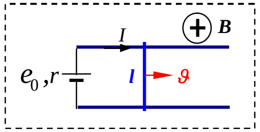
onuň R garşylygy bolsa:

$$R = \rho\frac{l}{S} = \rho\frac{4Kd_1}{d^2}.$$

Bu ýerde μ_0 magnil hemişeligi, N solenoidiň sarymlarynyň sany, l_1 solenoidiň uzynlygy, S onuň kese kesiginiň meýdany, ρ geçirijiniň udel garşylygy, l geçirijiniň uzynligy, d onuň diametric, d_1 solenoidiň diametri. Ahyrky deňliklerden peýdalanyp, 2-nji deňlik boýunça alarys:

$$q = I_0\frac{\mu_0 N\pi d_1 d^2}{16\rho l_1}\ . \quad (3)$$

Geçirijiniň l uzynlygyny solenoidiň d_1 diametri arkaly $l = \pi d_1 N$, şeýle hem geçirijiniň d diametrini $d = l_1/N$ görnüşde aňladyp bolar. Bulary göz öňünde tutup, 3-nji deňligi aşakdaky görnüşde ýazyp bolar:



5.4.1.-nji çyzgy. *Magnit meýdanyndaky hereket etmäge ukyply tokly geçiriji*

$$q = \frac{\pi\mu_0}{16\rho}dd_1 I_0. \quad (4)$$

Bu deňlik boýunça edilen hasaplar hem edil 2-nji deňlik bilen ýerine ýetirilen hasaplamalardaky $q = 3,63\cdot10^{-6}\,Kl$ netijäni alarys.

5.3.10. Elektron potensiallarynyň tapawudy U=1000 W bolan elektrik meýdanynda tizlenip, undukaiýsy $B = 10^3\,Tl$ bolan birhilli magnit meýdanyna perpendikulýar uçup girýär Elektronyň hereket etjek töwereginiň radiusyny kesgitlemeli.

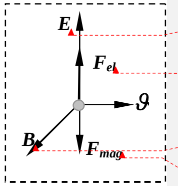
5.3.11. Kinetik energiýasy W_k - a deň bolan zarýadlanan bölejik birhilli magnit meydanynda r radiusly töwerek boýunça hereket edýär. Bu bölejige meýdan tarapyndan täsir edýän güýji kesgitlemeli.

5.3.12. Elektron $\boldsymbol{B}$ induksiýaly birhilli magnit meýdanynyň güýç çyzyklaryna perpendikulýar ugurda hereket edýär. Eger elektronyň hereketiniň egrilik radiusy r-e deň bolsa, onda oňa meýdan tarapyndan tasir edýän F güýjüň ululygyny kesgitlemeli.

5.3.13. Induksiýasy B bolan magnit meydanynda töwerek boýunça hereket edýän elektronyň aýlanma ýygylygyny kesgitlemeli.

5.3.14. Elektron B= 0,1Tl induksiýaly birhilli magnit meydanynda töwerek boýunça hereket edýär. Elektronyň hereketi zerarly döreýän aýlaw toguň ululygyny kesgitlemeli.

5.3.15. Induksiýasy B=10mTl bolan birhilli magnit meýdany, güýjenmesi $E = 17\,kW/m$ bolan birhilli elektrik meýdanyna perpendikulýar ugrukdyrylan. Ion U = I5 kW güýçlendiriji potensiallaryň tapawudyndan geçip, bu iki meýdanyň tutýan giňişligine perpendikulýar ugurda gönüçyzykly we deňölçegli tizlik bilen hereket edýär (5.3.4-nji çyzgy). Bu ionyň q/m udel zarýadyny kesgitlemeli.



5.3.4-nji çyzgy. *Zarýadyň elektrik we magnit meýdanlaryndaky hereketi*

Отформатировано: Шрифт: полужирный

Отформатировано: Шрифт: полужирный

Отформатировано: Шрифт: полужирный

Отформатировано: Шрифт: полужирный

5.3.16. Tizligi $\vartheta_0 = 10^7\,m/s$ -a deň bolan elektron uzynlygy l=5 sm bolan kondensatoryň gorizontal ýerleşdirilen plastinalarynyň arasyna uçup giryär. Kondensatoryň elektrik meydanynyň guýjenmesi $E = 10\,kW/m$ – e deň, elektron kondensatordan çykyp, birhilli magnit meýdanyna ϑ_0 wektoryň ugruna parallel düşýär. Magnit meýdanyň induksiýasy B=15 *mkTl* -a deň. Elektronyň elektrik we magnit meýdanlaryndaky gyşarmasyny kesgitlemeli.

5.3.17. Elektron induksiýasy $B = 3{,}14 \cdot 10^{-2}\,Tl$ bolan birhilli magnit meýdanynyň ugruna α =30^0 burç bilen $\vartheta = 8 \cdot 10^8\,sm/s$ tizlikli uçup girýär. Elektronyň hyr görnüşdäki hereketiniň ädimini we radiusyny kesgitlemeli.

$$q = \int_0^\infty I_0 e^{-Rt/L} dt = I_0 \int_0^\infty e^{-Rt/L} dt = I_0 \left(-\frac{R}{L}\right) e^{-Rt/L}\Big|_0^\infty = \qquad (2)$$

$$= I_0\left(-\frac{L}{R}\right)(0-1) = I_0 \frac{L}{R},$$

gutaniykly q-nyň ululygyny hasaplamaga mümkünçilik berýän aňlatmany alarys.

II usul . l-nji deňlikdäki I tok güýjüniň ululygyny solenoidde döreýän induksiýanyň EHG-siniň we onuň R garşylygynyň üşti bilen $I = e/R$, görnüşde aňladyp, 1-nji deňligi

$$dq = \frac{e}{R} dt,$$

ýazyp bolar. Indi induksiýanyň e EHG-siniň ,

$$e = \frac{d\Phi}{dt}, \quad \text{ýa-da} \quad e = -L\frac{dI}{dt},$$

deňligini hasaba alyp ýokarky aňlatmany

$$dq = -L\frac{dI}{R},$$

görnüsde ýazyp bolar.Soňky aňlatmany integrirläp taparys:

$$q = -\int_0^{I_0} L\frac{dI}{R} = I_0 \frac{L}{R}.$$

Bu 3-nji deňlik boýunça hasaplamalaryň görkezişi ýaly, $e = 471W$ -a deňdir.

***M e s e l e* 5.4.2 .** Solenoidiň sarymlary mis sim bilen biri - birine jebis, bir gat edilip saralan. Mis simiň diametri d = 0,2 *mm*, solenoidiň diamelri d_s=5 *sm*-e deň. Solenoidiň sarymlaryndan I =1 A tok güýji geçýär. Eger solenoidiň sarymlarynyň ujy utgaşdyrylsa, simiň kese kesiginden näçe mukdarda zarýad akyp geçer? Simiň daşky goragynyň galyňlygyny göz öňünde tutmaly däl.

Ç ö z ü l i ş i : Meseläni iki usulda çözmek bolar.

I usul . Geçirijiniň kese kesiginden *dt* wagtda geçýän *dq* elektrik mukdaryny *I* tok güýjüniň üsti bilen

$$dq=I\,dt, \qquad (1)$$

aňladyp, solenoidiň sarymlaryndan geçýän *I* tok güyjüni 5.4.9-njy deňlige laýyklykda

$$I = I_0 e^{-R\,t/L},$$

gömüşde ýazalyň. Bu ýerde I_0 salenoidiň uçlary özara birikdirilmänkä ondan geçýän tok güýjüniň bahasy, *R* solenoidiň sarymlarynyň garşylygy, *L* onuň induktiwligi. Tok güýjüniň bu aňlatmasyny l-nji deňlikde goýup, bu deňligi *t* -niň 0-dan ∞-ge çenli aralygynda integrirläp ,

5.4. ELEKTROMAGNIT INDUKSIÝA HADYSASY

Esasy kesgitlemeler we aňlatmalar

• Elektromagni**t** induksiýasynyň esasy kanuny (Faradeýiň kanuny): geçiriji halkada döreýän induksiýanyň e EHG-si , bu halka bilen çäklenen meýdandan geçýän $d\Phi$ magnit akymynyň üýtgeýiş tizligine göni baglydyr:

$$e = -\frac{d\Phi}{dt}\ . \qquad (5.4.1)$$

Bu ýerde $d\Phi/dt$ - magnit akymynyň üýtgeýiş tizligi. 5.4.1-nji aňlatmadaky minus alamaty Lensiň düzgünine laýyklykda induksiýa togunuň ugrunyň özüni döredýän sebäplere garşylyk görkezmek üçin onuň garşylykly tarapyna ugrugandygyny aňladýar.

• Induksiýa hadysasyny döretmäge ukyply bolan R garşylykly ýapyk geçiriji halkadan geçýän induksiýanyň tok güýji:

$$I_{ind} = \frac{e}{R}\ . \qquad (5.4.2)$$

Magnit akymynyň üýtgeýiş döwründe geçiriji halkadan geçýän doly *q* zarýadyň mukdary

$$q = \int_0^t I_{ind}\,dt = -\frac{1}{R}\int_{N_0}^{N} d\Phi = -\frac{\Delta\Phi}{R}\ , \qquad (5.4.3)$$

gömüşde aňladylýar.

• Geçiriji halkadan *I* tok güýji geçende döreýän magnit akymy:

$$\Phi = IL\ . \qquad (5.4.4)$$

• Oz-öziinden induksiýanyň EHG-si:

$$e_{öz} = -\frac{d\Phi}{dt} = -L\frac{dI}{dt}. \qquad (5.4.5)$$

Birhilli magnit meýdanynda l uzynlykly geçiriji ϑ tizlik bilen hereket edende, geçirijide doreýän induksiýanyň EHG-si:

$$e = Bl\vartheta sin\alpha \quad . \qquad (5.4.6)$$

Bu ýerde α geçirijiniň hereketiniň ϑ tizliginiň ugry bilen magnit meýdanynyň $\boldsymbol{B}$ induksiýasynyň emele getirýän burçy.

- Geçiriji zynjyr utgaşdyrylanda ýa-da ýazdyrylanda döreýän tok güýji:

$$I = I_0 e^{-Rt/L} + e\frac{\left(1-e^{-Rt/L}\right)}{R} \quad . \qquad (5.4.7)$$

Bu ýerde I_0 zynjyrdan geçýän tok güýjüniň amplitud bahasy, e natural logarifmanyň esasy, R zynjyryň garşylygy, L geçirijiniň induktiwligi, e tok çeşmesiniň EHG-si, t zynjyryň utgaşdyrylma ýa-da ýazdyrylma wagty. Elektriyk zynjyry tok çeşmesine utgaşdyrylanda ($I_0=0;\ t=0$) 5.4.7-nji deňligi

$$I = \frac{e}{R}\left(1-e^{-Rt/L}\right), \qquad (5.4.8)$$

görnüşe getirip bolar we tok güýji özüniň in uly $(I_0 = e/R)$ bahasyna eksponent boýunça artar.

Elektrik zynjyry tok çeşmesinden ýazdyrylanda (e =0; t =0) 5.4.7-nji deňlik

$$I = I_0 e^{-Rt/L} \quad , \qquad (5.4.9)$$

görnüşi alar. Ýagny zynjyrdaky tok güýji özüniň başlangyç I_0 bahasyndan eksponent boýunça nola çenli azalar.

MESELELERIŇ ÇÖZÜLIŞINE MYSALLAR

***M e s e l e* 5.4.1.** Sarymlarynyň sany N=1000 bolan ramka, B=1Tl induksiýaly birhilli magnit meýdanynda deňölçegli aýlanýar. Ramkanyň meydany S=150 sm^2- a deň bolup, ol $\nu = 10$ *aýl/s* ýygylyk bilen aýlanýar. Ramka α =30° burça öwrülendäki EHG-niň pursatlaýyn bahasyny kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i : Induksiýanyň EHG-siniň pursatlaýyn bahasy:

$$e = -N\frac{d\Phi}{dt}. \qquad (1)$$

Bu ýerde $d\Phi$ - magnit akymynyň dt wagtdaky üýtgemesi, N-içinden magnit akymy geçýän sargylaryň sany.

Ramka aýlananda onuň içinden geçýän magnit akymy t wagta görä $\Phi = BScos\omega t$, kanun boýunça üýtgeýär. Bu ýerde B magnit meýdanynyň induksiýasy, S ramkanyň meýdany, ω ramkanyň aýlaw ýygylygy, ýagny ωt ramkanyň tekizliginiň üstüne geçirilen pependikulýar bilen $\boldsymbol{B}$ wektoryň arasyndaky burçuň pursatlaýyn bahasy. Magnit akymynyň bu bahasyny ulanyp , l-nji deňlikden

$$e = KBS\omega sin\omega t \, , \qquad (2)$$

alyp bolar. Ramkanyň ω aýlaw ýygylygy bilen onuň sekuntdaky v aýlaw sany $\omega = 2\pi\nu$ gömüşde baglydyr. ω-niň bu bahasyny 2-nji deňlikde goýup alarys:

$$e = 2\pi\nu NBSsin2\pi\nu\, t \quad . \qquad (3)$$

$$U'_{0L} = I_0 (R + R').$$

Bu ýerde R' ýürekçeli sarymyň işjeň garşylygy.

Wektor diagrammadan:

$$R' = \frac{\omega L}{tg\alpha}.$$

Tok güýjünden fazasy boýunça $\pi/2$ öňe düşýän naprýaženiýäniň amplitudasy:

$$U''_{0L} = I_0\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right).$$

Doly naprýaženiýäniň amplitudasy:

$$U_0 = \sqrt{U'^2_{0L} + U''^2_{0L}} = I_0\sqrt{(R+R')^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}.$$

Tok güýjüniň täsir ediji bahasy ýokardaky deňlige görä:

$$I_{t.ed.} = \frac{U_{t.ed}}{\sqrt{(R+R')^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}.$$

Elektrik zynjyrynyň islendik böleginde bölünip çykýan kuwwat :

$$P = I^2_{t.ed.} R.$$

$$R = \frac{m\upsilon_0}{eB} = \frac{2\pi m\upsilon_0}{e\mu_0 I} X \quad . \qquad (2)$$

Çyzgydan görnüşi ýaly OX ok bilen elektronyň traýektoriýasyna geçirilen galtaşmanyň arasyndaky θ burçundan peýdalanyp,

$$dX = R\cos\theta d\theta, \quad \text{ýa-da} \quad \cos\theta d\theta = \frac{dX}{R}.$$

Çyzgydan görnüşi ýaly X koordinata a-dan r_0-e çenli üýtgände, θ burç noldan $\pi/2$ çenli üýtgeýär. Şonuň üçin:

$$\int_0^{\pi/2} \cos\theta d\theta = \int_a^{r_0} \frac{dX}{R}.$$

Bu aňlatmany 2-nji deňligi hasaba alyp ýazyp bolar:

$$\int_a^{r_0} \frac{dX}{2\pi m\upsilon_0 X}\mu_0 eI = \int_0^{\pi/2} \cos\theta d\theta \text{ . Ýa-da } \quad \frac{\mu_0 eI}{2\pi m\upsilon_0}\int_a^{r_0}\frac{dX}{X} = 1.$$

Bu ýerden

$$ln\left(\frac{r_0}{a}\right) = \frac{2\pi m\upsilon_0}{e\mu_0 I},$$

bu ýerden bolsa,

$$\vartheta_0 = \frac{ln(r_0/a)}{2\pi m} e\mu_0 I = \frac{e}{m}\frac{\mu_0 I}{2\pi} ln\left(\frac{r_0}{a}\right).$$

TALYPLARYŇ ÖZBAŞDAK TAÝÝARLYKLARYNY BARLAMAK ÜÇIN SORAGLAR

1. Elektromagnit induksiýa hadysasyny we Faradeýiň tejribelerini düşündirmeli.
2. Lensiň düzgüniniň kesgitlemesini düşündirmeli we ony tejribede görkezmeli.
3. Öz-özünden induksiýa we elektromagnit hadysalarynyň arasyndaky tapawudyny anyklamaly.
4. Öz-özünden induksiýa hadysasynyň ýüze çykarylýan tejribelerini (shemalaryny) düşündirmeli.
5. Elektrik zynjyry tok çeşmesine utgaşdyrylanda we ýazdyrylanda döreýän pursatlaýyn tok güýçleriniň aňlatmalaryny we grafiklerini düşündirmeli.

ÖZBAŞDAK ÇÖZMEK ÜÇIN MESELELER

Gönükme 5.4.

5.4.1. Induktiwlik koeffisiýenti L=100 *mGn* bolan tegekde öz-özünden induksiýanyň e=80*W* EHG-si döreýän bolsa, tegekdäki tok güýjüniň üýtgeýiş lizligini hasaplamaly.

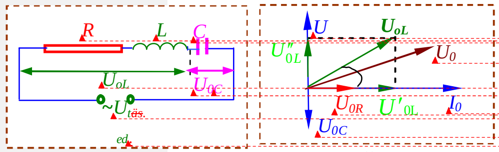
5.4.2. Biri-birinden l=0,3 *m* aralykda, özara parallel ýerleşdirilen daşy dielektriksiz metal geçirijiniň üstünde olaryň boýuna süýşmäge ukyply keseligine geçiriji bölek sim goýulan. Bu gurliş inbuksiýanyň güýç çyzyklaryna perpendikulýar ýerleşdirilen. Eger geçirijilerden I=5*A* tok güýji goýberilse, parallel geçiriji simleriň boýuna bölek simiň deňölçegli hereket etmegi üçin nähili ululykdaky magnit meýdanynyň indtiksiýasyny döretmeli bolar? Bölek simiň massasy m=0,5 *kg* , onuň geçirijiler bilen sürtülme koeffisiýenti k=0,2 .

tegek we C=18 *mkF* sygymly kondensator yzygider birikdirilen. Bu halda napräženiýe toguň güýjünden fazasy boýunça α=60^0 öňe düşýär.

Zynjyryň her bir düwmesindäki we ähli zynjyrdaky bölünip çykýan kuwwaty, şeýle hem ähli zynjyr üçin kuwwat koeffisiýentini kesgitlemeli .

Ç ö z ü l i ş i **:** Elektrik ulanyjylaryň zynjyra birikdirilişi 6.1.2-nji çyzgyda, naprýaženiýeleriň diagrammasy bolsa, 6.1.3-nji çyzgyda görkezilen. Elektrik zynjyrynyň düzümine girýän ulanyjylar yzygider birikdirilendigi üçin olaryň üstünden akýan tok güýçleri deňdirler. Emma kondensatordaky naprýaženiýäniň amplitudasy U_{oc} tok güýjüniň I_0 amplitudasyndan fazasy boýunça $\varphi = \pi/2$ yza galýar .

Ýürekçeli tegekdäki naprýaženiýäniň amplitudasy U_{OL} tok güýjüniň amplitudasyndan fazasy boýunça α burç öňe düşýär.



6.1.2-nji çyzgy. *Ýapyk elektrik zynjyry*

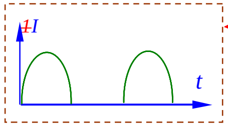
6.1.3-nji çyzgy. *Naprýaženiýeleriň wektor diagrammasy*

Ýürekçeli tegekdäki naprýaženiýäniň amplitudasyny iki sany işjeň $U'_{0L} = U_{0L} cos\alpha$ (tok güýji bilen bir fazada yrgyldaýar) we işjeňdäl $U''_{0L} = U_{0L} sin\alpha$ (tok güýji fazasy boýunça $\pi/2$ öňe düşýär) düzüjä dargadalyň. Doly naprýaženiýäniň amplitudasy zynjyrdaky aýry-aýry $U'_{0L}, U''_{0L}, U_{0C}$, we U_{0R} naprýaženiýeleriň wektor jemine deňdir.

Fazasy boýunça tok güýji bilen gabat gelýän naprýaženiýäniň amplitudasy:

Ç ö z ü l i ş i : Elektroliz wagtynda bölünip çykýan maddanyň massasy:

$$m = \frac{1}{F}\frac{A}{n}q. \qquad (1)$$



6.1.1-nji çyzgy. *Pulsirleýji (Çyrpynjyraýjy ~~(pulsirleýji)~~) tok*

Üýtgeýän toguň pursatlaýyn bahasy:

$$I = I_0 \sin\omega t.$$

Bir periodyň dowamynda elektrolit arkaly geçýän elektrik mukdary:

$$q = \int_0^{T/2} I_0 \sin\omega t\, dt = \frac{I_0}{\omega}(-\cos\omega t)\Big|_0^{T/2} = \frac{I_0 T}{\pi}, \qquad (2)$$

elektrolitiň üstünden t wagtyň dowamynda geçýän zarýadyň mukdaryny bolsa,

$$q = \frac{q_1 t}{T} = \frac{I_0}{\pi}t,$$

görnüşde aňladyp bolar. Indi 1-nji we 2-nji deňlikleriň esasynda

$$I_0 = \frac{Fmn\pi}{At}.$$

Bu ýerde F=9,65· 10^7 $\frac{Kl.}{kg.ekw.}$, A=63, n=2 bahalaryny tablisadan alyp, I_0=3,2 A –e deňdigini hasaplap bolar.

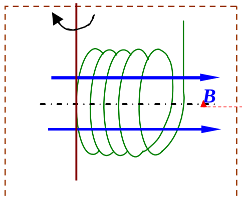
***M e s e l e* 6.1.4.** Napryaženiýäniň täsir ediji bahasy $U_{täs.ed.}$=220 W (ýygylygy ν=50 Gs) bolan üýtgeýän toguň zynjyrynda R=10 Om işjeň garşylyk, L=0,6 Gn induktiwlikli

5.4.3. Radiusy r=5 sm bolan geçiriji halka, induksiýasy 1Tl bolan birhilli magnit meýdanynda onuň güýç çyzyklaryna perpendikulýar ugur boýunça aýlanýar. Eger geçiriji halka Δt=0,2 s wagt dowamynda α=90° burça öwrülse, halkada dörän induksiýanyň EHG-siniň e oraça bahasyny kesgitlemeli.

5.4.4. Induksiýasy B bolan birhilli magnit meýdanynda aýlanma oky öz tekizliginde ýatan S meýdanly ramka ν ýygylyk bilen deňölçegli aýlanýar. Magnit meýdanynyň induksiýasynyň güýç çyzyklary ramkanyň aýlanma okuna perpendikulýar ugrukdyrylan. Ramkada döreýän induksiýanyň EHG-siniň e_0 gerim bahasyny kesgitlemeli.

5.4.5. Diametri d, sarymlarynyň sany K bolan tegek magnit meýdanynda ýerleşdirilen. Magnit meýdanynyň induksiýasynyň güýç çyzyklary tegegiň okuna paralleldir. Eger Δt wagt aralygynda magnit meýdanynyň induksiýasy B_1-den B_2 –ä çenli artýan bolsa, onda bu tegekdäki induksiýanyň EHG-siniň orta bahasy nämä deň bolar?

5.4.6. Uzynlygy l geçiriji υ tizlik bilen magnit meýdanynyň güýç çyzyklarynyň ugruna hereket edýär. Magnit meýdanynyň induksiýasynyň ulylygy B bolsa, geçirijiniň uçlarynda döreýän induksiýsnyň EHG-sini kesgitlemeli.



5.4.4-nji çyzgy. *Hususy okuna we magnit meýdanynyň güýç çyzyklaryna perpendikulýar tekizlikde aýlanýan tegek*

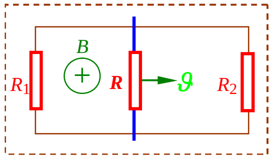
5.4.7. Sarymlarynyň sany N bolan tegek, B induksiýaly magnit meýdanynda deňölçegli aýlanýar. Tegegiň kese kesiginiň meýdany S, bir sekuntdaky aýlaw sany ν -e deň. Aýlanma ok tegegiň hususy okuna we magnit meýdanynyň güýç çyzyklaryna perpendikulýar (5.4.4-nji çyzgy). Aýlanýan tegekde döreýän induksiýanyň EHG-siniň amplituda bahasyny kesgitlemeli.

5.4.8. Uzynlygy l=20 *sm* bolan geçiriji B=0,1*Tl* induksiýaly birhilli magnit meýdanynda onuň güýç çyzyklary bilen geçirijiniň oky $\alpha = 30^0$ burç emele getirer ýaly edilip gönüçyzykly herekete getirilen. Geçirijiniň uçlaryndaky potensiallaryň tapawudyny 1W-a çenli artdyrmak üçin, oňa nähili tizlenme bermek zerur?

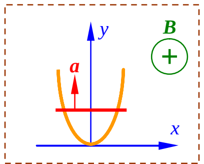
5.4.9. Induksiýasy B=10^{-2} *Tl* bolan birhilli magnit meýdanynda *absd* gönüburçly ramka şekilli geçiriji ýerleşdirilen. Bu geçirijiniň uzynlygy l=0,1*m* bolan *ab* tarapy meýdanyň güýç çyzyklaryna perpendikulýar ugurda $\upsilon = 25\ m/s$ tizlik bilen hereket edende onuň uçlarynda döreýän EHG-ni kesgitlemeli.

5.4.10. Induksiýasy B bolan birhilli magnit meýdanynda r radiusly mis disk induksiýanyň çyzyklaryna perpendikulýar tekizlikde aýlanýar we sekuntda v aýlaw edýär. Geçiriji disk typýan utgaşdyryjylar bilen elektrik zynjyryna birikdirilen halatynda onuň garşylygy R. Geçiriji disk aýlandanda döreýän induksiýanyň EHG-sini , ondan geçýän q zarýadlaryň mukdaryny, şeýle hem diskiň K aýlaw eden wagtynda zynjyrdan bölünip çykýan Q ýylylyk mukdaryny kesgitlemeli.

5.4.11. Induksiýasy B=0,4*Tl* bolan birhilii magnit meýdanynyň güýç çyzyklaryna perpendikulýar tekizlikde



5.4.5-nji çyzgy. *Birhilli magnit meýdanynda ýerleşdirilen ýapyk elektrik geçiriji zynjyr*



5.4.64-njy çyzgy. *Birhilli magnit meýdanynda ýerleşdirilen germewli parabola şekilli geçiriji*

l =10 *sm* uzynlykly geçiriji steržen özüniň bir ujundan geçýän

Bu ýerde I_0 we U_0 degişlilikde tok güýjüniň we naprýaženiýäniň amlitud bahalary. Tok güýjüniň I_0 amplitud bahasyny aşakdaky deňlikden tapyp bileris:

$$I_0 = \frac{U_0}{Z}.$$

Onda

$$P = \frac{U_0^2}{2Z} cos\varphi .$$

Bu ýerde Z zynjyryň doly garşylygy. Indi 6.1.5 - nji deňligi göz öňünde tutup, üýtgeýän toguň kuwwatyny aşakdaky ýaly aňladyp bolar:

$$P = \frac{U_0^2}{2\sqrt{R^2 + (2\pi\nu L - \frac{1}{2\pi\nu C})^2}} cos\varphi \ . \qquad (2)$$

Ýokarda getirilen 1-nji deňlige degişli san bahalaryny goýup, taparys:

$$tg\varphi = -3{,}02; \quad \varphi = -71^0 41 .$$

Bu ýerde otrisatel alamat naprýaženiýäniň tok güýjünden fazasy boýunça yza galýandygyny aňladýar.

Tablisadan $\cos\varphi \approx 0,31$-e deň bolany üçin 2-nji deňlikde ýerine goýup, kuwwatyň $P \approx 0,5Wt$ -a deňdigini taparys.

***M e s e l e* 6.1.3 .** Elektrik göneldiji gural üýtgeýän toguň diňe ýarym gaýtalanma periodyny geçirýär (6.1.1-nji çyzgy). Eger 10 minutda mis kuporosynyň ergindäki elektrodda 200 *mg* mis bölünip çykýan bolsa, onda tok güýjüniň amplitudasy nähili bolar?

$$20\pi T = 2\pi \qquad T = \frac{2\pi}{20\pi} = 0{,}1s.$$

Toguň ν ýygylygy $\nu = \frac{1}{T} = 10\,Gs$ -e deňdir.

***M e s e l e* 6.1.2.** Işjeň garşylygy R=10^3 *Om* , induktiwligi L = 0,5 *Gn* bolan tegegiň we C =1 *mkf* sygymly kondensatoryň yzygider birikdirilen zynjyryndaky $U = U_0\,sin(\omega t + \varphi)$ napryaženiyaniň we $I = I_0\,sin\,\omega t$ tok güýjüniň arasyndaky faza süýşmesiniň burçuny kesgitlemeli. Elektrik toguň ýygylygyny ν = *50 Gs* we napryaženiýäniň amplitudasy U_0 = *100 W-a* deň hasaplap, zynjyrdaky kuwwaty kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i : Berlen $U = U_0\,sin(\omega t + \varphi)$ napryaženiýe bilen $I = I_0\,sin\omega t$ tok güýjüniň arasyndaky faza süýşme burçy aşakdaky gatnaşykdan kesgitlenilýär:

$$tg\varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}\ .$$

Üýtgeýän toguň aýlaw ýygylygy $\omega = 2\pi\nu$ **.** Onda:

$$tg\varphi = \frac{2\pi\nu L - \frac{1}{2\pi\nu C}}{R}\ . \qquad (1)$$

Üýtgeýän toguň kuwwaty *P:*

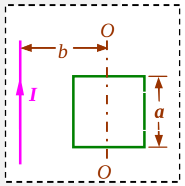
$$P = \frac{1}{2} I_0 U_0 cos\varphi\ .$$

okuň töwereginde n=16 *aýl./s* ýygylyk bilen aýlanýar. Geçiriji sterženiň ujunda döreýän potensiallaryň tapawudyny kesgitlemeli.

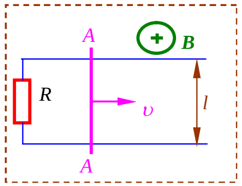
5.4.12. Göniburçly dörtburç geçirijiniň uzyn garşylykly taraplarynyň üstüne olar bilen galtaşmada bolup süşmäge ukyply R garşylykly geçiriji germelen. Bu geçirijileriň ýatan tekiziigine perpendikulýar birhilii, B induksiýaly magnit meýdany ugrukdyrylan. Dörtburçlygyň germewe parallel taraplarynyň garşylyklary 5.4.5 -nji çyzgyda görkezilen. Seredilýän geçirijilerde induksiýanyň EHG-si ýüze çykmaýar hasaplap, germew ϑ hemişelik tizlik bilen öňe hereket edende ondan akyp geçýän tok güýjüniň aňlatmasyny kesgitlemeli.

5.4.13. Geçiriji $y=kx^2$ görnüşdäki parabola bolup, ol 5.4.6-nji çyzgygyda, görkezilişi ýaly gönüburçly koordinatalar okunda birhilli magnit meýdanynda ýerleşdirilen. Magnit meýdanynyň B induksiýasy çyzgynyň ýatan tekiziigine perpendikulýar ugrukdyrylan. Parabolanyň üstüne geçiriji germewi goýup, ony parabolanyň depesinden t=0 wagt pursatyndan başlap $\boldsymbol{a}$ hemişelik tizlenme bilen y okuň ugruna oňe süýşürip başlaýarlar. Germewiň süýşmeginden emele gelen geçiriji halkada döran induksiýanyň EHG-siniň $e = f\,(y)$ baglylygyny kesgitlemeli.

5.4.14. Üstünen I tok güýji geçýän taraplary a deň bolan kwadrat geçiriji ramka we göni geçiriji bir tekizlikde ýerleşdirilen



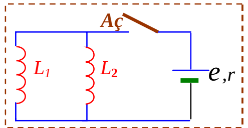
5.4.7~~2~~-nji çyzgy. *Tokly göni geçirijiniň ýanynda ýerleşdirilen~~n~~ aýlanma okly ~~inedördül~~ kwadrat ~~çarçuwa~~rama*



5.4.8-nji çyzgy. *Birhilli magnit meýdanynda ýerleşdirilen süýşmäge ukyply germewli geçiriji*

(5.4.7-nji cyzgy). Ramanyň induktiwligi we garşylygy degişlilikde L, R. Tokly geçirijiden b daşlykdaky rama OO okuň töwereginde 180° burça aýlandyrylanda ondan geçen elektrik zarýadlarynyň mukdaryny kesgitlemeli.

5.4.15. Massasy m bolan AA germew biri-birinden l aralykda ýerleşen iki sany uzyn geçiriji boýunça sürtülmesiz süşýär (5.4.8-nji çyzgy). Bu geçirijiler çyzgynyň tekizligine perpendikulýar ugrukdyrylan $\boldsymbol{B}$ induksiýaly birhilli magnit meýdanynda ýerleşdirilen. Geçirijileriň çep uçlary R garýylyk bilen birikdirilen. Bu AA germew t=0 wagt pursatynda υ_0 başlangyç tizlik bilen herekete başlaýar. Germewiň, geçiriji simleriň garşylyklaryny we germewiň süýşmeginden dörän geçiriji konturyň öz-özünden induksiýasyny hasaba alman germewiň tizliginiň wagta baglylygyny $\upsilon = f(t)$ we onuň tizlenmesini kesgitlemeli.



5.4.94-nji çyzgy. *Ýapyk elektrik zynjyry*

5.4.16. Hödürlenýän 5.4.9-njy çyzgydaky tok çeşmesiniň EHG-sini, onuň r içki garşylygyny we aşageçiriji tegekleriň L_1 we L_2 induktiwliklerini belli hasaplap, *Aç* açar utgaşdyrylandan soňra tegeklerdäki durgunlaşan tok güýjüni hasa kesgitlemeli.

5.4.17. Massasy m=0,5 kg bolan bütewi tegelek mis bölegi magnit meýdanynyň tekizliginde ýerleşdirilen. Eger mis bölegini oňa perpendikulýar okuň daşynda 90° burça gyşardylsa, onda döreýän (induktirlenýän) elektrik mukdaryny kesgitlemeli. Ýeriň magnit meýdanynyň gorizontal düzüjisini $B_{gor} = 32\cdot10^{-3}Tl$ hasaplamaly. Misiň dykyzlygy ρ_1 deň diýip kesgitlemeli.

5.4.18. Uzynlygy l=l,2 m bolan göni geçiriji çeýe geçiriji sim arkaly r=0,5 Om içki garşylykly, e=24 W EHG-li tok çeşmesi bilen birikdirilen we ol induksiýasy B=0,8$T1$ bolan

$$P_{ort} = \frac{I_0 U_0}{2} cos\varphi ,$$

ýa-da

$$P_{ort} = I_{t.ed.} U_{t.ed.} cos\varphi . \qquad (6.1.7)$$

Bu ýerde P_{ort} üýtgeýän toguň orta kuwwaty, $cos\varphi$ kuwwat koeffisiýenti, $I_{t.ed.}$ we $U_{t.ed.}$ degişlilikde tok güýjüniň we naprýaženiýäniň täsir ediji bahalary.

MESELELERIŇ ÇÖZÜLIŞINE MYSALLAR

***M e s e l e* 6.1.1.** Üýtgeýän toguň EHG-si $e = 100sin20\pi t$ deňleme arkaly berlen. EHG-niň amplitud we täsir ediji bahalaryny, şeýle hem onuň fazasy $\pi/6$ deň bolandaky bahasyny, toguň gaýtalanma periodyny we ýygylygyny tapmaly.

***Ç ö z ü l i ş i* :** EHG- niň amplitud bahasy haçanda $sin20\pi t$=1 şert ýerine ýetende $e = e_0$ deň alynýar,ýgny e_0 =100 W, EHG- niň täsir ediji bahasy bolsa,

$$e_{t.ed.} = \frac{e_0}{\sqrt{2}} = 70,7W .$$

Eger $\varphi = 20\pi t = \pi/6$ -a deň bolsa onda:

$$e_\varphi = 100sin\left(\frac{\pi}{6}\right) = 100sin30^0 = 50W .$$

Toguň gaýtalanma periodyny aşakdaky şertden tapyp bileris:

d) Gaýtalanma periodynyň dowamynda toguň eýe bolýan iň uly bahasyna tok güýjüniň amplitud bahasy diýilýär. Ol 6.1.2 –nji deňlikde I_0 -a deňdir.

- Üýtgeýän toguň zynjyry üçin Omuň kanuny:

$$I_0 = \frac{U_0}{Z} . \quad (6.1.4)$$

Bu ýerde $U_0=U_R+U_L+U_C$ işjeň, induktiw we sygym garşylyklaryň uçlaryndaky naprýaženiýeleriň amplitud bahalary. Z zynjyryň umumy garşylygy, ol

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega c}\right)^2}, \quad (6.1.5)$$

deňdir. Bu ýerde R işjeň, $R_L = \omega L$ induktiw we $R_c = \dfrac{1}{\omega C}$ -sygym garşylyklar.

- Tok güýjüniň I_0 we naprýaženiýäniň U_0 amplitud bahalarynyň arasyndaky φ faza süýşmesi:

$$tg\varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} . \quad (6.1.6)$$

Bu ýerde ω üýtgeýän toguň aýlaw ýygylygy, L tegegiň induktiwligi, C kondensatoryň sygymy, R işjeň garşylyk.

- Üýtgeýän toguň orta kuwwaty P:

magnit meýdanynyň güýç çyzyklaryna perpendikulýar ugurda $\upsilon = 12,5\ m/s$ tizlik bilen hereket edýär. Daşky zynjyryň garşylygyny 2,5 *Om* hasaplap, zynjyrdan geçýän tok güýjüni tapmaly. Eger geçirijiniň hereketi togtadylsa, zynjyrdaky tok güýji näçe esse üýtgär?

5.4.19*. Garşylygy R we massasy m bolan halka ýerden beýiklige görä $|\boldsymbol{B}| = B_0(1+\alpha H)$ kanun boýunça üýtgeýän magnit meýdanynda uly beýiklikden gaçýar. Eger halkanyň durnugyşan tizligi υ bolsa, onda onuň diametrini tapmaly. Halkanyň tekizligi hereketiň bütin dowamynda gorizontal.

VI. ÜÝTGEÝÄN TOK WE ELEKTROMAGNIT MEÝDANY

6.1. ÜÝTGEÝÄN TOK

Esasy kesgitlemeler we aňlatmalar

• Geçirijiniň kese kesiginden wagt birliginde geçýän toguň ululygy we ugry hemişelik bolmasa, onda oňa üýtgeýän tok diýilýär.

Elektromagnit induksiýa kanunyna görä:

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d\left(BScos\omega t\right)}{dt} = BS\omega sin\omega t = e_0 sin\omega t \qquad (6.1.1)$$

Bu ýerde e_{ind} - induksiýanyň EHG-si, dN/dt- magnit akymynyň dt wagtda üýtgeýşi, B- magnit meýdanynyň induksiýasy, S-geçiriji halkanyň meýdany, $e_{ind} = e$, e_0 - EHG-niň amplitud bahasy, ω -elektik yrgyldynyň (signalyň) aýlaw ýygylygy.

• Üýtgeýän elektrik yrgyldysynyň aýlaw ω we ν ýygylyklary bilen T priody özara aşakdaky ýaly baglydyr:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu , \quad \nu = \frac{1}{T}.$$

Eger elektrik zynjyryna diňe R işjeň garşylyk dakylan bolsa, onda üýtgeýän toguň güýji:

$$I = \frac{e_{ind}}{R} = \frac{e_0}{R} sin\omega t = I_0 sin\omega t . \qquad (6.1.2)$$

Işjeň R garşylygyň uçlarynda bolsa

$$U = IR = RI_0 sin\omega t , \qquad (6.1.2')$$

napryaženiýe dörär. Bu ýerde I_0 tok güýjüniň amplitud bahasy.

• Üýtgeýän toguň pursatlaýyn, täsir ediji, orta we amplitud ululyklary:

a) Berlen wagtdaky elektrik toguna pursatlaýyn tok diýilýär we ol 6.1.2-nji deňlik bilen aňladylýar.

b) Berlen R garşylykdan geçip, şol bir wagtyň dowamynda edil üýtgeýän toguňky ýaly mukdarda ýylylyk (energiýa, şöhlelenme energiýasyny) bölüp çykarýan hemişelik toguň bahasyna üýtgeýän toguň täsir ediji bahasy diýilýär:

$$I_{t.ed.} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} \; ; U_{t.ed.} = \frac{U_0}{\sqrt{2}} \; . \qquad (6.1.3)$$

Bu ýerde I_0 we U_0 degişlilikde toguň we napryaženiýäniň amplituda bahalary.

ç) Üýtgeýän tok güýjüniň orta bahasy:

$$I_{ort} = \frac{1}{T/2}\int_0^{T/2} Idt = \frac{2I_0}{\pi} \approx 0,637 I_0 .$$

Üýtgeýän toguň napryaženiýesiniň orta bahasy hem edil şeýle çemeleşme boýunça tapylýar:

$$U_{or} \approx 0,637 U_0 \; .$$

Onda

$$B=\mu_0 H=\mu_0\frac{\pi R^2}{2\pi R}\frac{\partial D}{\partial t}=\mu_0\frac{R}{2}\frac{\partial D}{\partial t}= \\ =-\frac{1}{2}\mu_0\varepsilon_0 R\omega\frac{U_m}{d}sin\omega t=\frac{1}{2}\mu_0\varepsilon_0 R\omega\frac{U_m}{d}\left|sin\omega t\right| \quad . \qquad (3)$$

ýokardaky 3-nji deňlikden $\frac{\partial D}{\partial t}$-niň bahasyny 2-nji deňlikde ýerine goýup, şeýle hem halka görnüşidäki kiçi göerümiň $dV=2\pi R\cdot dR\cdot d$ aňlatmasyny ulanyp taparys:

$$W_m=\frac{1}{2}\int\frac{B^2}{\mu_0}dV=\frac{\pi}{16}\mu_0\varepsilon_0^2\alpha\omega^2\frac{U_m}{d}R^4 sin^2\omega t \quad . \qquad (4)$$

Şeýlelikde, magnit we elektrik meýdanlaryň energiýalarynyň amplituda bahalarynyň gatnaşygyny tapyp bolar:

$$\frac{W_m}{W_e}=\frac{1}{8}\mu_0\varepsilon_0\omega^2 R^2 .$$

Ýa-da meseläniň şerti boýunça bu gatnaşygyň

$$\frac{W_m}{W_e}=5\cdot 10^{-15}$$

deňdigini hasaplap bolar.

***M e s e l e* 6.2.5*.** Plastinalary parallel tekiz kondensatory hyýalymyzda zarýadlandyralýň. Wagt birliginde kondensatoryň gapdal üsti boýunça energiýasynyň artmagynyň Poýtingiň wektorynyň akymyna deňdigini görkezmeli. Hasaplamalarda

Kondensatorda bölünip çykýan kuwwat nola deňdir, ýagny P_1=0. Sebäbi kondensatoryň garşylygy işjeňdäldir.

Işjeň R garşylykda bölünip çykýan kuwwat

$$P_2=I^2_{t.ed.}R .$$

Ýürekçeli tegekdäki bölünip çykýan kuwwat

$$P_3=I^2_{t.ed.}R' .$$

Ähli zynjyrdaky bölünip çykýan kuwwat bolsa

$$P_4=P_2+P_3.$$

Ähli zynjyr üçin kuwwat koeffisiýenti $cos\varphi=\frac{P_4}{IU}$

Geçirilen hasaplamalara laýyklykda :

$$R'=10{,}9\ Om;\ I_{t.ed.}=9{,}3\,A;\ P_2=846Wt;$$

$$P_3=925Wt;\ P_4=1771Wt;\ cos\varphi=0{,}875$$

TALYPLAYŇ ÖZBAŞDAK TAÝÝARLYKLARYNY BARLAMAK ÜÇIN SORAGLAR

1. Üýtgeýän toguň alnyşy we onuň deňlemeleriniň derňewi.
2. Üýtgeýän toguň zynjyryna işjeň R garşylyk dakylanda tok güýji we naprýaženiýesi. Olaryň grafikleri.
3. Üýtgeýän toguň güýjüniň we naprýaženiýesiniň täsir ediji bahalary.
4. Üýtgeýän toguň aýlaw, çyzykly ýygylyklary we fazasy.
5. Üýtgeýän tok üçin Omuň kanuny.
6. Üýtgeýän toguň güýjüniň we naprýaženiýesiniň amplituda bahalarynyň arasyndaky faza süýşmesi.
7. Üýtgeýän toguň orta kuwwaty.

ÖZBAŞDAK ÇÖZMEK ÜÇIN MESELELER

Gönükme 6.1.

6.1.1. Zynjyra yzygider birikdirilen rezistoryň garşylygy R=20 *Om*, tegegiň induktiwligi L=1 *mGn*, kondensatoryň sygymy C=0,1*mkF* bolup, olara sinusoidal üýtgeýän e EHG täsir edýär. Eger EHG-niň täsir ediji bahasy 30 *W*-a deň bolsa, onda rezonans wagtyndaky toguň I güýjüniň we zynjyra dakylan ähli ulanyjylardaky naprýaženýeleriň U_R,,U_L,,U_C täsir ediji bahalaryny kesgitlemeli.

6.1.2. Eger R=1 *Om*, L=1 *mGn*, C=0,11 *mkF*, e=30 *W*, ω =10^5 rad/s -a deň bolsa, onda 6.1.2.-nji çyzgyda görkezilen elektrik zynjyrynyň ähli böleklerinde tok güýçleriniň täsir ediji bahalaryny kesgitlemeli.

6.1.3. Ýygylygy ν =50 *Gs* bolan üýtgeýän toguň zynjyryndaky naprýaženiýäniň täsir ediji bahasy 127 *W* , oňa C=24 *mkF* sygymly kondensator, L=0,6 *Gn* induktiw tegek we R=100*Om* işjeň garşylyk parallel birikdirilen. Zynjyrdaky tok güýjüniň täsir ediji bahasyny kesgitlemeli.

6.1.4. Sygymy 100 *mkF* bolan kondensator we induktiw tegek yzygider birikdirilip, üýtgeýän toguň zynjyryna dakylan. Induktiw tegek kese kesiginiň meýdany 1mm^2 bolan diametri 1*mm* mis simden biri-birine jebis degirilip, 1000 sargy saralan. Eger zynjyrdaky naprýaženiýäniň amplituda bahasy 120 *W* bolsa tok güýjüniň yrgyldysynyň bir periody içinde induktiw tegekde näçe mukdarda ýylylyk bölünip çykar? Geçiriji simleriň garşylygyny hasaba almaly däl.

6.1.5. Ýygylygy ν=50 *Gs* bolan U=220 *W* naprýaženiýeli üýtgeýän toguň zynjyryna C_1=0,4 *mkF* we C_2= 0,2 *mkF* sygymly kondensatorlar yzygider birikdirilen. Zynjyrdaky tok güýjüni we her kondensatordaky naprýaženiýäniň peselmegini kesgitlemeli.

elektrikmeýdanlaryň energiýalarynyň amplitud bahalarynyň gatnaşygyny kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i : Goý, kondensatorda naprýajeniýe $U = U_m\cos\omega t$ kanun boýunça üýtgäp, onuň plastinalarynyň aralygy d -e deň bolsun. Kondensatoryň plastinalarynyň arasyndaky elektrik energiýa meselede berlen şerte görä:

$$W_e = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2 V = \frac{1}{2}\varepsilon_0\frac{U_m^2}{d^2}cos^2\omega\, t\cdot\pi R^2 d = \\ = \frac{1}{2}\varepsilon_0\pi R^2\frac{U_m^2}{d}cos^2\omega\, t. \qquad (1)$$

Kondensator üýtgeýän naprýaženiýä birikdirilendigi üçin onda döreýän magnit meýdanynyň energiýasy :

$$W_m = \int\frac{1}{2}BHdV = \frac{1}{2}\int\frac{B^2}{\mu_0}dV\,. \qquad (2)$$

Bu integraly hasaplamak üçin, ilki bilen magnit meýdanyň $\boldsymbol{B}$ induksiýasyny onuň $\boldsymbol{H}$ güýjenme wektorynyň aýlanmagy baradaky teoremadan peýdalanalyp tapalyň:

$$\int Hdl = \int\frac{\partial D}{\partial t}dS\,,$$

ýa-da

$$2\pi RH = \pi R^2\frac{\partial D}{\partial t}\,.$$

Bu ýerde

$$\frac{\partial D}{\partial t} = \varepsilon_0\frac{\partial E}{\partial t} = \varepsilon_0\frac{\partial(U_m cos\omega t)}{d\cdot\partial t} = -\varepsilon_0\omega\frac{U_m}{d}sin\omega t\,.$$

Ikilendirilen geçirijiniň okundan r ($r_1<r<r_2$) daşlykdaky nokadyň E elektrik we H magnit meýdanlarynyň güýjenmeleri degişlilikde (Ostrogradskiýniň we Gaussyň teoremasyna görä):

$$E=\frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0 r}; \qquad H=\frac{I}{2\pi r}.$$

Bu ýerde τ -içki geçiriji simiň birlikleýin zarýady, I- içki geçiriji sim boýunça akýan toguň ululygy. Indi E-niň we H –yň bahalaryny 1-nji deňlikde ýerine goýup, soňra bolsa integrirläp, alarys:

$$W=\frac{I\tau}{2\pi\varepsilon_0}ln\frac{r_2}{r_1}. \qquad (2)$$

Meseläniň şertinde τ, r_1, r_2 ululyklaryň san bahalary berilmändir.Ýöne olara derek U berlen. Bu ululyklaryň özara baglanşygyny tapalyň:

$$U=\int_{r_1}^{r_2}Edr=\frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0}ln\frac{r_2}{r_1}. \qquad (3)$$

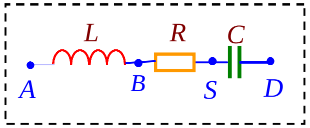
Ýokardaky 2-nji we 3-nji aňlatmalardan peýdalanyp, ulanyjyda bölünip çykýan N kuwwaty taparys:

$$N=I\,U. \qquad (4)$$

***M e s e l e* 6.2.4.** Tekiz, içi howaly kondensatoryň plastinalary radiusy R= 6 *sm* bolan tegelek disk görnüşinde bolup, ol ω=1000 *rad/s* ýygylykly sinusoidal üýtgeýän naprýaženiýä birikdirilen. Kondensatoryň içindäki magnit we

6.1.6. Kese kesiginiň meýdany S_1 bolan, r radiusly, l uzynlykly, N sarymly mis simden taýýarlanan tegek ν ýygylykly üýtgeýän toguň zynjyryna birikdirilen.Tegegiň degişlilikde işjeň we induktiw garşylyklarynyň zynjyryň doly garşylygyna bolan gatnaşyklaryny kesgitlemeli.

6.1.7. Elektrik zynjyryndan sinuslar kanuny boýunça üýtgeýän tok geçýär (6.1.4-nji çyzgy). Eger zynjyrdaky naprýaženiýeleriň işjeň bahalary U_{AB} =30 *W*, U_{AS}=10 *W* we U_{SD}=15 *W* bolsa, zynjyryň *AD* böleginiň işjeň naprýaženiýesini kesgitlemeli.



6.1.4.-nji çyzgy. *Düzümi L, R we C-den ybarat elektrik zynjyry*

6.1.8. Induktiwligi L= $4\cdot10^{-7}$ *Gn* bolan solenoidiň kese kesiginiň meýdany S =4 sm^2, uzynlygy l=60 *sm*-e deň. Tok güýjüniň nähili bahasynda solenoidiň içindäki magnit meýdanynyň energiýasynyň göwrümleýin dykyzlygy $\omega=2\cdot10^{-2}\ Wt/m^3$ deň bolar?

6.1.9. Eger üýtgeýän tok güýjüniň amplitudasy I_0=5*A*, naprýaženiýäniň amplituda bahasy U_0=157 *W* we toguň ýygylygy ν=50 *Gs*-e deň bolsa, onda tegegiň induktiwligi nämä deň bolar ? Tegegiň işjeň garşylygyny hasaba almaly däl.

6.1.10. Üýtgeýän toguň $U=300sin200\pi t$ naprýaženiýeli çeşmesine L=0,5*Gn* induktiwlikli tegek, C=10 *mkF* sygymly kondensator we R=100 *Om* işjeň garşylyk yzygider birikdirilen. Toguň amplituda bahasyny, toguň güýji bilen naprýaženiýäniň arasyndaky faza süýşmesini, kuwwat koeffisiýentini hem-de ulanyljak kuwwaty kesgitlemeli.

6.1.11. Naprýaženiýesiniň täsir ediji ululygy $U_{t.ed.}$=120 *W* bolan üýtgeýän toguň zynjyryna R=15 *Om* işjeň garşylyk we L=50 *mGn* induktiwlikli tegek yzygider birikdirlen. Eger zynjyrdaky tok güýjüniň amplitudasy I_0 =7*A*-e deň bolsa, onda toguň ýygylygyny kesgitlemeli.

6.1.12. Işjeň garşylygy *R* we induktiwligi *L* bolan tegek, wagtyň t=0 pursatynda $U = U_0 cos\omega t$ kanuna laýyklykda üýtgeýän toguň naprýaženiýeli çeşmesine birikdirlen. Zynjyrdaky tok güýjüniň wagta baglylygyny kesgitlemeli.

6.1.13. Amplituda bahasy U_0=100 *W* bolan üýtgeýän toguň naprýaženiýeli çeşmesine *R*=110 *Om*, işjeň garşylyk we kondensator yzygider birikdirilen. Bu halda tok güýjüniň durnugyşan amplitud bahasy I_0=0,5 *A*-e deň bolan üýtgeýän toguň güýji bilen onuň naprýaženiýesiniň arasyndaky faza burçuny kesgitlemeli.

6.1.14. Üýtgeýän toguň zynjyryna işjeň garşylykly tegek we kondensator yzygider birikdirilen. Zynjyryň üýtgeýän naprýaženiýesiniň amplituda bahasyny üýtgetmezden onuň ýgylygyny üýtgedip bolýar. Elektrik zynjyrdaky toguň ω_1 we ω_2 ýygylyklarynda ondan geçýän tok güýçleiniň amplitud bahalary özara deň halatynda tok güýjüniň rezonans ýygylygyny kesgitlemeli.

6.1.15. Üýtgeýän toguň zynjyryna *R* işjeň garşylygy bolan *L* induktiwlikli tegek we *C* sygymly kondensator yzygider dakylyp, ω ýygylykly, U_0 amplitudaly daşky üýtgeýän naprýaženiýeli çeşmä birikdirilen. Bu halda zynjyrdaky tok güýji daşky naprýaženiýeden öňe düşýär hasaplap, degişli wektor diagrammasyny gurmaly. Diagrammanyň kömegi bilen tegekdäki tok güýjüniň amplituda bahasyny kesgitlemeli.

6.1.16. Üýtgeýän toguň zynjyrynyň bölegindäki naprýaženiýe wagtyň geçmegi bilen $U=U_0 sin(\omega t-\pi/6)$ kanun boýunça üýtgeýär. Wagtyň $t = T/2$ pursatynda naprýaženiýe $U=10W$-a deň . Yrgyldynyň periody T=0,01 *s* deň bolan pursatynda naprýaženiýäniň U_0 amplitudasyny, ω we ν - ýygylyklaryny kesgitlemeli .

6.1.17. Üýtgeýän toguň zynjyryna *R*=1 *kOm* işjeň garşylyk, *L*=0,5 *Gn* induktiwlikli tegek we *C*=1*mkF* sygymly

$$2\pi RH = I \ .$$

Soňky iki deňlikden *E* we *H* ululyklary kesgitläp, soňra bolsa $I = \tau\vartheta$ hem-de $m\vartheta^2/2 = eU$ energiýanyň saklanma kanunyny göz öňünde tutup, gutarnykly alarys:

$$P = E \cdot H \frac{I^2}{4\pi^2\varepsilon_0 r^2\vartheta} = \frac{I^2\sqrt{\frac{m}{2eU}}}{4\pi^2\varepsilon_0 r^2} .$$

***M e s e l e* 6.2.3.** Hemişelik *U* naprýaženiýeli çeşmeden energiýany işjeň garşylygyny hasaba alardan kiçi bolan göni uzyn umumy okly silindr şekilli biri-birinden elektrik gorawly geçirijiler arkaly ulanyja geçirilýär. Bu geçirijiden akýan tok güýji *I*-e deň. Geçirijiniň kese kesigi arkaly geçýän energiýanyň akymyny kesgitlemeli. Bu geçirijiniň daşky gatlagy ýuka diwarly diýip hasaplamaly.

Ç ö z ü l i ş i : Meseledäki geçirijiniň kese kesiginiň *dS* meýdany arkaly (6.2.7-nji çyzgy) wagt birliginde geçýän *dW* energiýa akymy

$$dW = PdS ,$$

görnüşde aňladylýar. Bu ýerde $dS = 2\pi rdr$ radiusy *dr*-e deň bolan elementar halkanyň meýdany.

Eger içki geçiriji simiň radiusy r_1, onuň daşky gatlagynyň radiusy r_2-ä deň bolsa onda gözlenilýän energiýa akymy aşakdaky deňlik arkaly kesgitlenilýär:

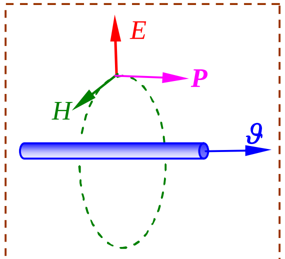
$$W = \int_{r_1}^{r_2} P\, 2\pi rdr \ . \qquad (1)$$

$$j = \frac{1}{2}\varepsilon_0 B'' \frac{R^2}{r} \ .$$

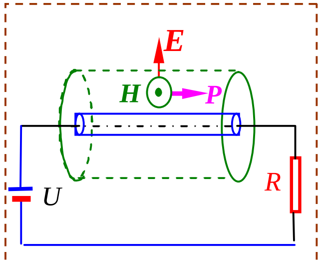
M e s e l e **6.2.2.** Tizlikleri relýatiwist bolmadyk protonlar U potensiallaryň tapawudy arkaly tizlendirilende I tok desse görnüşli aýlaw kesigi döredýär. Onuň okundan r aralykda dessäniň daşyndaky Poýntingiň wektorynyň modulyny we ugruny kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i : Getirilen 6.2.6 -njy çyzgydan görnüşine görä $\boldsymbol{P} \uparrow\uparrow \vartheta$. S wektoryň modulyny tapalyň:

$$\boldsymbol{P} = [\boldsymbol{E} \times \boldsymbol{H}] \ .$$



6.2.6-njy çyzgy. *Tizlendirilen protonyň elektromagnit meýdany*



6.2.7-nji çyzgy. *Ýapyk elektrik zynjyry*

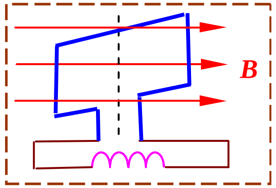
Bu ýerde E we H r-e baglydyr. Ostrogradskiýniň we Gaussyň teoremasyna görä :

$$2\pi E = \frac{\tau}{\varepsilon_0}.$$

Bu ýerde τ uzynlyk birligine düşýän zarýad. Magnit meýdanynyň güýjenmesiniň $\boldsymbol{H}$ wektoryň aýlanmasy baradaky teorema görä:

kondensator yzygider birikdirilen. Uýtgeýän toguň $\nu_1 = 50\,Gs$ we $\nu_2 = 10\,kGs$ ýygylyklaryndaky X_L induktiw, X_C sygym we Z doly garşylyklargy krsgitlemeli.

6.1.18. Amplituda bahasy U_0=*220W* bolan naprýaženiýeli elektrik zynjyra käbir işjeň garşylykly tegek we aktiw R garşylyk yzygider birikdirlen. Eger R=0,16 *kOm* garşylykdaky we tegekdäki napraženiýeleriň täsir ediji bahalary degişlilikde U_1=80*W* we U_2=180 *W* deň bolsa, onda tegekden bölünip çykjak ýylylygyň kuwwatyny kesgitlemeli.



6.1.5-nji çyzgy . *Magnit meýdanynda aýlanýan induktiw tegekli rama*

6.1.19. Kwadrat şekilli rama birhilli magnit meýdanynyň güýç çyzyklaryna perpendikulýar ugurda ω burç tizligi bilen aýlanýar (6.1.5-nji çyzgy). Ramkanyň uçlary aýlanmanyň ähli wagtynda L induktiwlikli tegege birleşdirilgi saklanylýar. Ramkanyň nähili ýagdaýynda ondaky toguň güýji iň uly baha eýe bolar?

6.1.20. Eger 6.1.19-njy meseledäki zynjyra L induktiwlikli tegekden başga C sygymly kondensator we R işjeň garşylyk yzygider birikdirilse, onda ramkanyň nähili ýagdaýynda toguň güýji amplitude baha deň bolar?

.

6.2. ÜÝTGEÝÄN ELEKTOMAGNIT MEÝDANY

Esasy kesgitlemeler we aňlatmalar

Makswelliň deňlemeleriniň integral görnüşi :

- *Makswelliň birinji deňlemesi* $\frac{\partial \boldsymbol{B}}{\partial t}$ üýtgeýän magnit meýdanynyň köwlenme häsiýetli elektrik meýdanyny döredýändigini aňladýar:

$$\left.\begin{aligned} \oint_l \boldsymbol{E}d\boldsymbol{l} &= -\frac{dN}{dt} = -\frac{d}{dt}\int_s \boldsymbol{B}d\boldsymbol{S}, \\ \oint \boldsymbol{E}d\boldsymbol{l} &= -\int_s \frac{\partial \boldsymbol{B}}{\partial t}d\boldsymbol{S} \end{aligned}\right\}. \qquad (6.2.1)$$

Diýmek, üýtgeýän magnit meýdany üýtgeýän elektrik meýdanyny döredýär.

- ***Makswelliň ikinji deňlemesi*** magnit meýdany *(H)* diňe bir geçirijiniň *(I)* togy tarapyndan däl-de, eýsem $d\Phi/dt$ süýşme elektrik akymy bilen hem döredilýändigini aňladýar:

$$\oint \boldsymbol{H}d\boldsymbol{l} = I + \frac{d}{dt}\int_s \boldsymbol{D}d\boldsymbol{S} = I + \frac{dD_s}{dt}. \qquad (6.2.2)$$

Üýtgeýän elektrik meýdany üýtgeýän magnit meýdanyny ýüze çykarýar.

- ***Makswelliň üçünji deňlemesi*** Ostrogradskiýniň we Gaussyň elektrik meýdany üçin teoremasydyr:

dykyzlygyny solenoidiň okundan r aralygyň funksiýasy hökmünde tapmaly. Solenoidiň kesiginiň radiusy R.

Ç ö z ü l i ş i : Süýşme toguň güýjüniň dykyzlygyny tapmak üçin, $\boldsymbol{j} = \frac{\partial \boldsymbol{D}}{\partial t}$ deňligiň esasynda , ilki bada elektrik meýdanyň E güýjenmesini tapmaly. Bu meýdan köwlenme häsiýetlidir. Makswelliň deňlemesinden (6.2.2) peýdalanyp taparys:

$$2\pi r\boldsymbol{E} = \pi r^2 \frac{\partial \boldsymbol{B}}{\partial t}.$$

Bu ýerden $$\boldsymbol{E} = \frac{r}{2}\,\frac{\partial \boldsymbol{B}}{\partial t}.$$

Solenoid üçin magnit meýdanynyň induksiýasy :

$$B = \mu_0 nI = \mu_0 nI_0 \sin\omega t.$$

Onda $$\frac{\partial B}{\partial t} + B = \mu_0 nI_0\omega\cos\omega t,$$

$$\frac{\partial^2 B}{\partial t^2} = -\mu_0 n\omega^2 I_0 \sin\omega t.$$

Şeýlelikde süýşme toguň dykyzlygy üçin gutarnykly alarys:

$$j = \frac{\partial D}{\partial t} = \varepsilon_0\frac{\partial E}{\partial t} = \frac{1}{2}\varepsilon_0 rB',$$

(r>R bolanda).

Eger r<R bolsa:

• **Elektromagnit tolkunlarynyň intensiwligi:**

$$I = \frac{1}{2}E_m H_m = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{\varepsilon_0\varepsilon}{\mu_0\mu}}\cdot E_m^2 . \qquad (6.2.10)$$

Bu ýerde E_m we H_m degişlilikde elektrik we magnit meýdanlarynyň güýjenmeleriniň amplitud bahalary.

• ***Elektromagnit tolkunlarynyň impulsy :***

$$\boldsymbol{p} = \frac{\boldsymbol{P}}{\vartheta^2} . \qquad (6.2.11)$$

• ***Elektromagnit tolkunlarynyň massasy:***

$$m = \frac{W}{c^2} . \qquad (6.2.12)$$

Bu ýerde $W = \omega V$ garalýan göwrümdäki meýdanyň energiýasy, c ýagtylygyň wakuumdaky tizligi, ω göwrüm birligindäki elektrtomagnit tolkunynyň dykyzlygy:

$$\omega = \frac{1}{2}\varepsilon\varepsilon_0 E^2 + \frac{1}{2}\mu\mu_0 H^2 .$$

MESELELERIŇ ÇÖZÜLIŞINE USULY GÖRKEZMELER

***M e s e l e* 6.2.1.** Uzyn göni solenoidiň uzynlyk birligine düşýän sarymlarynyň sany n-e deň. Solenoidden $I = I_0 \sin\omega t$ üýtgeýän toguň güýji geçýär. Süýşme toguň güýjüniň

$$\int_s D_n dS = \sum q_i \ . \qquad (6.2.3)$$

Ilendik dS üst boýunça D wektoryň akymy bu üstüň içinde ýerleşen zarýadlaryň ululyklarynuň algebraik jemine deňdir.

• ***Makswelliň dördünji deňlemesi*** Ostrogradskiýniň we Gaussyň teoremaasyny magnit meýdany üçin umumylaşdyryp ýazyp bolar :

$$\int_s \boldsymbol{BdS} = 0 \ . \qquad (6.2.4)$$

Ýagny, dS ýapyk üst boýunça B induksiýasynyň doly akymy hemişe nola deňdir.

Makswelliň deňlemeleriniň kömegi bilen meseleler çözülende $\boldsymbol{B} = \mu_0\mu\boldsymbol{H}$ we $\boldsymbol{D} = \varepsilon_0\varepsilon\boldsymbol{E}$ ululyklary göz öňünde tutmak zerurdyr. Şeýle hem elektrik we magnit meýdanlaryny baglanyşyksyzlykda garamak mümkin däldir. Sebäbi wagta baglylykda olaryň biriniň üýtgemegi ikinjisini we tersine ikinjisiniň üýtgemegi birinjisini döredýär. Makswelіň deňlemeleri ýeke-täk elektromagnit meýdanyny beýan edýär.

Eger ***E****=hemişelik* ***B****=hemişelik* şert berjaý bolsa, Makswelliň deňlemeleri biri-birine bagly bolmadyk iki sany topara bölünýär:

$$1.\ \oint \boldsymbol{Edl} = 0 \qquad 2.\ \oint \boldsymbol{Bdl} = \mu_0 I \quad \left(\oint \boldsymbol{Hdl} = I\right)$$

$$\oint \boldsymbol{DdS} = q \qquad\qquad \oint \boldsymbol{BdS} = 0$$

Makswelliň deňlemeleriniň differensial görnüşi:

Makswelliň integral deňlemelerini differensial görnüşde ýazmak mümkin:

$$rot\boldsymbol{E} = -\frac{\partial \boldsymbol{B}}{\partial t}; \qquad div\boldsymbol{D} = \rho \qquad (6.2.5)$$

$$rot\boldsymbol{H} = \boldsymbol{j} + \frac{\partial \boldsymbol{D}}{\partial t}; \qquad div\boldsymbol{B} = 0 \quad . \qquad (6.2.6)$$

Bu 6.2.5-nji we 6.2.6-nji deňlemeler elektrik meýdanynyň diňe iki sebäpden: 1) elekrtik meýdanynyň E çeşmesiniň bolmagy ($\rho = \frac{dq}{dv}$ - zarýadlaryň göwrümleýin dykyzlygy);

2) $(\partial \boldsymbol{B}/\partial t)$- wagta görä üýtgeýän magnit meýdanynyň elmydama wagt birliginde üýtgeýän E elektrik meýdanyny döredýändigi sebäpli döräp biljekdigini görkezýär.

Ýokardaky 6.2.6-njy deňlemeler magnit meýdanynyň induksiýasyny hereket edýän zarýadlaryň ýa-da $(\partial \boldsymbol{D}/\partial t)$ wagta görä üýtgeýän elektrik meýdanynyň döredýändigini, şeýle hem olaryň ikisiniň hem bir wagtda döräp bilýändigini görkezýär.

Elektromagnit meýdanyny doly beýan etmek üçin, Makswelliň deňlemeriniň üstüni gurşawy häsiýetlendirýän ululyklar bilen doldurmak zerurdyr.

Giňişlikde wagta görä haýal üýtgeýän gowşak elektromagnit meýdanlary üçin material deňlemeler şeýle ýazylýar:

$$\boldsymbol{D} = \varepsilon_0 \varepsilon \boldsymbol{E}, \quad \boldsymbol{B} = \mu_0 \mu \boldsymbol{H}, \quad \boldsymbol{j} = \gamma\left(\boldsymbol{E} + \boldsymbol{E}^*\right). \qquad (6.2.7)$$

Bu ýerde ε, μ gurşawy häsiýetlendirýän elektrik we magnit hemişelikleri, γ geçirijiniň geçirijiligi; ε_0, μ_0 elektrik we magnit hemişelikleri. $\boldsymbol{E}^*$ gaýry güýçleriň döredýän elektrik meýdanynyň güýjenmesi.

Makswelliň deňlemeleri :

Seredilýän gurşawda ferromagnit we segnetoelektrik maddalary we hemişelik magnit ýok halatynda;

Meýdanda ýerleşen ähli maddalar gozganmaýan halatynda, ε, μ, γ ululyklar wagta-da, meýdanyň güýjenmelerine-de bagly bolmadyk halynda dogrudyrlar.

- **Makswelliň kanuny:**
- Elektromagnit tolkunlarynyň ýaýraýyş tizligi ϑ :

$$\vartheta = \frac{1}{\sqrt{(\varepsilon_0 \varepsilon \mu_0 \mu)}} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon \mu}} \; . \qquad (6.2.8)$$

Bu ýerde $c \approx 3 \cdot 10^8$ m/s $\left(c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}\right)$ elektromagnit tolkunlarynyň (ýagtylygyň) wakuumda ýaýraýyş tizligi, $\sqrt{\varepsilon \mu} = n$ gurşawyň döwülme görkezijisi.

- **Umowyň we Poýntingiň wektory:**

Meýdan birliginden wagt birliginde geçýän energiýa akymyna, energiýa akymynyň dykyzlygy ýa-da *Umowyň we Poýntingiň wektory* diýilýär,ýagny:

$$\boldsymbol{P} = [\boldsymbol{E} \times \boldsymbol{H}]. \qquad (6.2.9)$$

Bu ýerde $\boldsymbol{P}$ wektor $\boldsymbol{E}$ we $\boldsymbol{H}$ wektorlaryň ýatan tekizligine perpendikulýar bolup, elektromagnit tolkunyň ýaýraýan ugry bilen gabat gelýär.

5.1.3. $\begin{cases} a)\ B = \mu_0 I \big/ (2R) = 6{,}3 mkTl; \\ b)\ B = \mu_0 R^2 I \big/ 2\left(R^2 + x^2\right)^{3/2} = 2{,}3 mkTl \end{cases}$.

5.1.4. $B = (2S\rho g)tg\alpha \big/ I = 9{,}3\cdot 10^{-3} Tl$.

5.1.5. $\begin{cases} B_A = \dfrac{\mu_0}{2\pi}\left(\dfrac{I_1}{l_1} + \dfrac{I_2}{l_2}\right); \\ B_K = \dfrac{\mu_0}{2\pi}\left(\dfrac{I_1}{l_1} - \dfrac{I_2}{l_2}\right) \end{cases}$.   5.1.6. $U = \dfrac{4\pi l^2 \rho}{\mu_0 \mu BS}$.

5.1.7. $B_A = \dfrac{\mu_0}{2\pi}\left(\dfrac{I_1}{l_1 + d} + \dfrac{I_2}{d}\right)$.   5.1.8. $B = B_1 = \dfrac{\mu_0}{2\pi l} I$.

5.1.9. $B = \dfrac{2\mu_0 I}{\pi ab}\sqrt{a^2 + b^2}$.   5.1.10. $\dfrac{B_{ind}}{B_{halk}} = 8\dfrac{\sqrt{2}}{\pi^2} = 1{,}15$ esse.

5.1.11. $H = H_1 + H_2 = \dfrac{I_1}{2\pi r} + \dfrac{I_2}{2\pi r} = 60\dfrac{A}{m}$.

5.1.12. $B = \dfrac{2\mu_0 I}{3\pi a} = 13{,}3 mkTl$.   5.1.13. $H_1 = \dfrac{Hr^3}{\left(r^2 + h^2\right)^{3/2}} = 15{,}4\dfrac{A}{m}$.

5.1.14. $B = \dfrac{\mu_0 I}{2r^3} R^2 = 62{,}8 mkTl$.

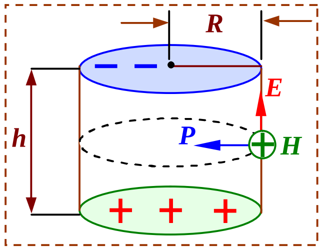
5.1.15. $B_0 = \dfrac{(\pi - \varphi + tg\varphi)}{2\pi r}\mu_0 I = 28 mkTl$.

kondensatoryň gyralarynda elektrik meýdanynyň üýtgemesini hasaba almaly däl.

Ç ö z ü l i ş i : Goý, kondensatoryň aşaky plastinasy položitel, ýokarkysy bolsa, otrisatel zarýadlandyrylan bolsun. Onda kondensatordaky elektrik meýdanyň güýjenmesi ýokary ugrukdyrylýar we ol birhillidir. Sebäbi meseläniň şertine görä gyra hadysalary hasaba alynmaýar. Kondensatoryň plastinasyndaky zarýadyň artmagy bilen onuň döredýän elektrik meýdanynyň $\boldsymbol{E}$ güýjenmesi ulalýar. Plastinalaryň üstündäki magnit meýdanynyň $\boldsymbol{H}$ güýjenmesini kesgitlemek üçin Makswelliň integral görnüşdäki:

$$\oint \boldsymbol{H}d\boldsymbol{l} = \int_S \boldsymbol{j}d\boldsymbol{S} + \frac{d}{dt}\int_S \boldsymbol{D}d\boldsymbol{S} = \int_S \frac{d\boldsymbol{D}}{dt}d\boldsymbol{S}\,, \qquad (1)$$

deňlemesinden peýdalanalyň. Soňky 1-nji aňlatmada kondensatoryň üstünden geçiriljek elektrik akymyň geçmeýändigi we magnit meýdanynyň diňe süýşme tok arkaly kesgitlenýändigi hasaba alyndy. Ýapyk integrirlenme kontury hökmünde 6.2.8-nji çyzgyda üznükli çyzyk bilen görkezilen töweregi alalyň. Simmetriýa düşünjesinden ugur alynsa, magnit meýdanyň güýjenmesiniň diňe silindrik üste geçitlen galtaşma boýunça onuň okuna perpendikulýar ugrukdyrylyp bilinjekdigi düşnüklidir. Ýokardaky 1-nji deňligiň sag tarapynda integrirlenme R radiusly tegelegiň meýdany boýunça amal edilýär. Onda



6.2. 8-nji çyzgy.
Plastinalary tegelek kondensator

$$\oint \boldsymbol{H}d\boldsymbol{l} = H\int_0^{2\pi R} dl = 2\pi RH\ ,$$

$$\int_S \frac{d\boldsymbol{D}}{dt}d\boldsymbol{S} = \pi R^2\frac{dD}{dt} \quad \text{we} \quad 2\pi RH = \pi R^2\frac{dD}{dt}$$

Bu ýerden bolsa

$$H = \frac{R}{2}\frac{dD}{dt}.$$

Poýtingiň $\boldsymbol{P} = [\boldsymbol{EH}]$ wektory kondensatoryň içine tarap ugrukdyrylandyr. Onda kondensatoryň S gapdal üsti boýunça elektromagnit energiýanyň N akymy $N = SP = 2\pi RhP = 2\pi RhEH$, bolar.

Indi $H = \frac{R}{2}\frac{dD}{dt}$ hasaba alyp,

$$N = \pi R^2 hE\frac{dD}{dt} = VE\frac{d}{dt}(\varepsilon_0 eE) = V\frac{d}{dt}\left(\frac{\varepsilon_0 eE^2}{2}\right) = V\frac{d\omega}{dt}.$$

Bu ýerde $V = \pi R^2 h$ kondensatoryň göwrümi, $\omega = \frac{\varepsilon_0 eE^2}{2}$ kondensatoryň içindäki elekrtik meýdanyň energiýasynyň göwrümleýin dykyzlygy. Kondensatoryň doly elektrik energiýasynyň $W = V\omega$ deňdigini we $\frac{dW}{dt} = V\frac{d\omega}{dt}$ bolany üçin, gutarnykly suratda alarys

$$N = \frac{dW}{dt}.$$

Gönükme 4.3.

4.3.1. M=65,4 10^{-3} *kg/mol*. 4.3.2. $Z_{Fe} = 3$.
4.3.3. m = 0,83 *g*. 4.3.4. h = 54 *mkm*.
4.3.5. m = 6,6 *mg*. 4.3.6. N = 9.3 10^{12} *atom*.
4.3.7. $m_2 \approx$ 1,71 m_1. 4.3.8 t_1= 8,1 *sag* ; P= 2,8 *mWt*.
4.3.9. T=309,7 *K*. 4.3.10. $\eta = 53{,}0\%$.
4.3.11. Yok. Ampermetr $I = 4{,}3\ A$ tok güýjüni görkezmeli.
4.3.12. t$\approx$9 *sag* 32 *min*. 4.3.13. P =134 *MJ*.
4.3.14. R=3.4 10^{14} *Om*. 4.3.15. $n = 2\cdot 10^{9}$ sm^{-3}.
4.3.16. $J_{doýg}$=8·10^{-16} *A*. 4.3.17. n= 1,4·10^{12} m^{-3}.
4.3.18. *a*) $j = 2{,}4\cdot 10^{-17}\ A/m^2$; *b*) $I_+ / I = 10^{-4}$.
4.3.19. U = 1,46 10^{-6} *W*. 4.3.20. $I_{doyg} = 9.92.10^{-8}\ A$.
4.3.21. $j = 4{,}810^{-12}\ A/m^2$. 4.3.22. n = 3.4· 10^{14} m^{-3}.

Gönükme 4.4.

4.4.1. ΔE =1,1*eW* 4.5.2. T_0=294 *K*.
4.5.3. T_2=2073 *K*. 4.5.4. j=3,4 10^{-4} A/mm^2.
4.5.5. n = 21 10^{18} m^{-3}. 4.5.6. γ =2,04 *A/(Wm)* ; E=490 *W/m*.
4.5.7. $j_2 / j_1 = 2{,}4$ *esse*.

Gönükme 5.1.

5.1.1. $B_0 = B_{DC} - B_{AC} = \left(\frac{\sqrt{3}}{4\pi} - \frac{1}{12}\right)\frac{\mu_0 I}{r} = 6{,}9\,mkTl$.

5.1.2. $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{a_1^2} + \frac{1}{a_2^2} - \frac{2}{a_1 a_2}\cos\varphi}$;

$$\cos\varphi = \frac{a^2 - (a_1^2 + a_2^2) + 2a_1 a_2}{4a_1 a_2}.$$

3.6.3. *a*) $U=0$; *b*) Eger elementleriň sany täk bolsa $U=e_1$. Eger elementleriň sany jübüt bolsa $U=0$.

3.6.4 $e=41$ *W;* $r=30$ *Om.* 3.6.5. $n=59$.

3.6.6. I = 20 *A*-den ýokary tok alyp bolmaz.

3.6.7. 1)$U_1 = 9$ *W* , $U_2 = 1$ *W*; 2) Şol bir kuwwat dürli garşylykdan bölünip bilýar; $R_1 = 9$ *Om;* $R_2 = 1/9$ *Om.*

3.6.8. $P_{iňuly}=25$ *Wt;* $R = r$.

3.6.9. $P_p = eI = (eU - e)^2 / r$; $P = I^2 r = (U - e)^2 / r$.

Gönükme 4.1.

4.1.1. $<\vartheta>=5\cdot10^{-5}\ m/s$. 4.1.2. $<\vartheta>=3,7\cdot10^{-6}\ m/s$.

4.1.3. $<\vartheta>=10^{-4}\ m/s$. 4.1.4. $E=5\cdot10^{-2}\ W/m$.

4.1.5. $N=1..27\cdot10^{19}\ s^{-1}$. 4.1.6. E = 0.1 *W/m.*

4.1.7. $F=e\dfrac{I\rho}{S}$. 4.1.8. $I=1{,}05\cdot10^{-3}\ A$.

4.1.9. $K=0,4\ mkN\cdot s$.

Gönükme 4.2.

4.2.1. Hawa goparylar, $\vartheta=0,833\cdot10^{6}\ m/s$. 4.2.2. *d*=4,3*mm.*

4.2.3. $j_2/j_1=2,6$. 4 .2.4. $\vartheta=0,987\cdot10^{6}\ m/s$.

4.2.5. ϑ = 59,5·!0 ^{6} *m/s*; *W*=10,0 *keW*.

4.2.6. N=6,25·10^{16} elektron. 4.2.7. $n=10^{11}\ m^{-3}$.

4.2.8. $q_{iňuly}=5{,}5\cdot10^{3}$ *Kl.* 4.2.9. *I*=80 *mkA.*

4.2.10. $t_1 = 1015^0 S$. 4.2.11. e =25,0 *mW.*

4.2.12. $R_g = 2{,}0$ *kOm.* 4.2.13. U=730 *mW.*

4.2.14. $U^{`}$ = 40 *mW.* 4.2.15. *n*=89,5 *böl;* ΔT=8,7 *K.*

TALYPLARYŇ ÖZBAŞDAK TAÝÝARLYKLARYNY BARLAMAK ÜÇIN SORAGLAR

1. Süýşme togunyň döreýşini düşündiriň.
2. Elektrik we magnit meýdanlaryň arabaglanyşygy.
3. Makswelliň dört deňlemesiniň fiziki manylary. Elektrik we magnit meýdanlarynyň häsiýetnamalary.

ÖZBAŞDAK ÇÖZMEK ÜÇIN MESELELER

Gönükme 6.2.

6.2.1. Kesiginiň radiusy r=6 *sm* bolan solenoidiň sarymlaryndan ýygylygy $\omega = 1000\, rad/s$ bolan sinusoidal tok akýar. Solenoidiň içindäki elektrik we magnit meýdanlaryň energiýalarynyň gatnaşygyny tapmaly.

6.2.2. Plastinalary tekiz kondensator haýal zarýadlandyrylýar. Kondensatoryň gapdal üstünde Poýtingiň wektor akymynyň, kondensatoryň wagt birligindäki energiýasynyň artmasyna deňdiguini görkezmeli. Kondensatoryň plastinalarynyň gyrasyndaky elektrik meýdanyň ýaýramasyny hasaba almaly däl.

6.2.3. Uzyn silindir şekilli kondensatory tok çeşmesiniň EHG-si arkaly zarýadlandyrýarlar. Kondensatoryň plastinalarynyň arasyndaky giňişligi doldurýan dielektrigiň süýşme togunyň zynjyr daky EHG-iň toguna deňligini subut etmeli. Kondensatoryň uçlaryndaky meýdanyň üýtgemesini hasaba almaly däl.

6.2.4. Kuwwatlylygy 500 *KWt* bolan radiostansiýa gije-gündiziň dowamynda 20 sagatlap energiýany şöhlelendirýär.Bu radiopstansiýanyň 30 gije-gündizdäki şöhlelendirýän energiýasyna degişli bolan massasyny tapmaly.

6.2.5. Elektromagnit tolkunlarynyň energiýasyny geçirmek üçin umumy okda ýerleşdirilen (koaksial) geçiriji ulanylýar. Bu geçirijiniň kese kesiginden wagt birliginde geçýän elektromagnit tolkunlarynyň energiýasynyň şonça wagtda umumy okda ýerleşdirilen geçirijini iýmitlendirýän çeşmäniň energiýäsyna deňdigini görkezmeli.

6.2.6. Tolkunyň ýaýraýyş ugruna perpendikulýar ýerleşen S=10 sm^2 meýdança arkaly tekiz sinusoidal elektromagnit tolkunlarynyň t=1 minut wagtda geçýän energiýasyny kesgitlemeli.Tolkunyň elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň

Gönükme 3.5.

3.5.1. $q \approx 46$ *Kl.* 3.5.2. *a*) Q =3,25 *J* ; *b*) R_3 = 6 *Om*.

3.5.3. $Q = \dfrac{q_0^2}{2C}(1 - e^{-\frac{2t}{RC}})$. 3.5.4. $A_{meh} = \dfrac{1}{2}(t-1)C_0U^2$.

3.5.5. $Q = \dfrac{4\pi\gamma}{\varepsilon}\sum q_k\varphi_k$.

3.5.6. *a*) $t_{yzyg.}$= 30 *min* ; b) $t_{gapdal.}$= 7 *min.*

3.5.7. t = $9\cdot10^3$ *s.* 3.5.8. P= 4 10^8 *Wt/m*^{3}.

3.5.9. $P_1 = \dfrac{\rho_1 d_1 SU^2}{(\rho_1 d_1 + \rho_2 d_2)}$; $P_2 = \dfrac{\rho_2 d_2 SU^2}{(\rho_1 d_1 + \rho_2 d_2)^2}$.

3.5.10. $P_1 = \dfrac{U^2 R_1}{(R_1+R_2)^2}$; $P_2 = \dfrac{U^2 R_2}{(R_1+R_2)^2}$.

Bu ýerde $R_1 = \dfrac{\rho_1 \ln(r_2/r_1)}{2\pi l}$; $R_2 = \dfrac{\rho_2 \ln(r_3/r_2)}{2\pi l}$.

3.5.11. p =0,25. 3.5.12. $p_{iň\ uly}$ =15*Wt.*

3.5.13. p = 1,68 *kWt.*

3.5.14. n =23 . 3.5.15. S = 40 *mm*^{2}.

3.5.16. $p = \dfrac{100+n}{10(1+n)}$.

3.5.17. $p_1 = I\,e - I^2 r$; Grafigi parabola; $I_{in\,uly} = e/(2r)$ bolanda ($p = p_{iň\ uly}$).

3.5.18. $P_{iň\ uly} \approx 18$ *Wt.*

3.5.19.$P_{iň\ uly} \approx 33$ *Wt*; η=50%. 3.5.20. $R=r$; $P_{iň\ uly}$ =1,25 *Wt.*

3.5.21. 1). $P_1 / P_2 \geq 4$; 2). $P_1 / P_2 = 4$.

3.5.22. $T - T_0 = \dfrac{U^2}{kR}(1 - e^{-\frac{KT}{C}})$.

Gönükme 3.6.

3.6.1. e =15 *W*; r=4,5 *Om*; I=0,6 *A*. 3.6.2. r_{AB}=3*Om*; e =35*W.*

3.2.10. $R = \frac{\rho}{2\pi}\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b}\right).$ **3.2.11.** $\boldsymbol{R = \rho / (2\pi a)}$.

Gönükme 3.3.

3.3.1. I= 5,4 A; 3.3.2. $I=(\varepsilon-1)\varepsilon_0\, e\, \upsilon b/d$.

3.3.3. P=12 Wt. 3.3.4. e =34 W; r= 1,4 Om

3.3.5 e =4.1 W; r=0,05 Om.

3.3.6. $U_W = U\dfrac{R_W lx}{R_0 lx + R_W l^2 - R_o x^2}$. 3.3.7. $R=3r$.

3.3.8. e =12 W.

3.3.9. $I = I_0 e^{-\eta t/RC}$, bu ýerde $I_0=(\eta-1)\, e\, / R$..

3.3.10. $q_1 = \dfrac{RC}{R+R_0}(e-e_0)$.

3.3.11. $U_2 = \dfrac{eR_1}{R_1+R_3+r}\cdot\dfrac{C_1}{C_2+C_1} = 0,2W$.

Gönükme 3.4.

3.4.1. I_A=0,5 A. 3.4.2. τ = 9,2·$10^{-3}$$s$.

3.4.3 R_1=470 Om. 3.4.4. U_w =80W.

3.4.5. I=0,57 A; U_w= U =110 W.

3.4.6. U_w = 35,6 W; I=0.089 A. 3.4.7. $U_{iňuly}$ = 1000 W.

3.4.8. $r_ş$ =250 Om.

3.4.9. Ölçeýji abzala $r_ş$ =0,5 Om garşylygy parallel birikdirmeli.

3.4.10. Ululygy $r_ş$=0,5 Om bolan garşylygy abzala parallel birikdirmeli.

3.4.11. I_0=2 A. 3.4.12. I_1 =0,006A; φ_1- φ_2 =0,9W.

3.4.13. I_1=6,4 A; I_2=5,8 A; I=0,6 A. 3.4.14. I=0,63 A.

3.4.15. I_1=3 A; I_2=4 A; I_3=1A.

3.4.16. I_1=0,8 A; I_2=0,3 A; I_3=0,5 A. 3.4.17. e_2 = 4W.

3.4.18. I≈0,89 A; I_1≈0,47 A; I_2≈0,42 A.

amplitudaasy E_0=1 mW/m-e deňTolkunyň peeriody t-den has kiçi (T<< t) deňdigini görkezmeli.

6.2.7. Tekiz kondensator iki sany tegelek geçiriji diskden ybarat bolup, onuň aralygynda birhilli gowşak geçiriji gurşaw ýerleşdirilen. Kondensator zarýadlandyrylyp, naprýajeniýe çeşmeden ýazdyrylan. Çetki hadysalary hasaba almazdan kondensatoryň içinde magnit meýdanynyň ýokdugyny görkezmeli.

6.2.8. Kondensatoryň plastinalary tegelek geçiriji disk görnüşinde bolup, onuň arasyndaky guňişlik γ udel geçirijilikli we ε dielektrik syzyjylykly birhilli gowşak ulgam bilen doldurylan. Plastinalaryň aralygy d. Eger, kondensatora $U = U_m \cos\omega t$ üýtgeýän naprýajeniýe berlen bolsa, onda çetki hadysalary hasaba almazdan, plastinalaryň merkezini birikdirýän okdan r araltykdaky magnit meýdanynyň güýjenmesini tapmaly.

6.2.9. Käbir inersial hasaplanyş ulgamyň çäginde ω burç tizligi bilen aýlanýan, induksiýasy $\boldsymbol{B}$ bolan magnit meýdany bar. Bu çäkde elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň üýtgemesini $\boldsymbol{B}$ we $\boldsymbol{\omega}$ wektorlaryň funksiýasy hökmünde tapmaly.

6.2.10. Uzyn göni solenoidiň sarymyndan akýan tok ýeterlik haýal artýar. Solenoidiň magnit meýdanynyň energiýasynyň üýtgeýiş tizligini onuň gapdal üsti boýunça Poýtingiň wektor akymyna deňdigini görkezmeli.

Gönükmelerdäki meseleleriň jogaplary

Gönükme 1.1.

1.1.1. $F_{el}/F_{Gr} = 4\cdot10^{42}$; $m/q = 0,86\cdot10^{-10}$ *Kl/kg.*

1.1.2. $F=2\cdot10^{15}$ *N.*

1.1.3. *q*=2786 *SGSE zb.*

1.1.4. $\Delta T = \dfrac{qq_0}{8\pi^2\varepsilon r^2}$.

1.1.5. $\mathbf{E} = 2,7\mathbf{i} - 3,6\mathbf{j}$; $E = 4,5$ *W/m* .

1.1.6. *E*=50,4 *kW/m.*

1.1.7. $Q = -\dfrac{q}{\sqrt{3}}$.

1.1.8. $E = \dfrac{qb}{\pi\varepsilon_0\left(b^2 + \dfrac{a^2}{2}\right)^{3/2}}$.

1.1.9. $E = \dfrac{q}{2\pi^2\varepsilon_0 R^2}$.

1.1.10. $E = \dfrac{qz}{4\pi\varepsilon_0\left(a^2+z^2\right)^{3/2}}$.

1.1.11. $E = \dfrac{qz}{4\pi\varepsilon_0 x\sqrt{l^2+x^2}}$.

1.1.12. $E = \dfrac{q\sqrt{19}}{4\pi\varepsilon_0 R^2}$.

1.1.13. $E = \dfrac{4q}{3\sqrt{2}\pi\varepsilon_0 l}$.

1.1.14. $Q \geq 2\dfrac{mgd^2}{q}$.

1.1.15*. *Bissektrissa boýunça.*

1.1.16. $\rho = \dfrac{3q^2 ctg\,\alpha/2}{64\pi^3\varepsilon_0^3 rgl^2\sin^2\alpha} \approx 2\cdot10^2\,\dfrac{kg}{m^3}$.

Gönükme 1.2.

1.2.1. $E = \dfrac{\tau\sqrt{R}}{4\pi\varepsilon_0 d}$.

1.2.2. $q = \dfrac{2mg}{\sigma}tg\alpha$.

2.3.6. $W = \dfrac{3q^2}{20\pi\varepsilon_0 R}$; $\dfrac{W_1}{W_2} = \dfrac{2}{5}$.

Gönükme 3.1.

3.1.1. $I = 1,5$ *mkA.*

3.1.2. *I=5 nA.*

3.1.3. *q=50 Kl.*

3.1.4. $E_1=1,7\cdot10^{-3}$ *W/m;* $E_2=35$ *W/m.*

3.1.5. $\rho=1,0\cdot10^{-6}$ *Om·m* .

3.1.6. *l*=3,75 *m;* $U_{iň\,uly}=0,3$ *W.*

3.1.7. *q*= 20 *K.l.*

3.1.8. $j = 6,1\,mA/m^2$.

3.1.9. *R*=18,8 *Om.*

3.1.10. *t*=3 *ms; F*=1 *MN.*

3.1.11. $R_{AB} = \dfrac{5}{6}R$.

3.1.12. $R_{DG} = \dfrac{7}{12}R$.

3.1.13. $I_{AC} = \dfrac{I}{2}$.

3.1.14. *σ=Dcosα ;* $j = \dfrac{D\sin\alpha}{\varepsilon_o\varepsilon\rho}$.

3.1.15. 1) $E = \dfrac{2\pi aI}{S^2}$; 2) $R_{birl} = \dfrac{E}{I} = \dfrac{2\pi a}{S^2}$.

Gönükme 3.2.

3.2.1. *R*= 0, 17 *Om.*

3.2.2. *R=14,4Om;* $\alpha = 4,5\cdot10^{-3}\,{}^0S^{-1}$

3.2.3. *d=5,6 mm.*

3.2.4. $R = \dfrac{R_1}{2} + \sqrt{\dfrac{R_1^2}{4} + R_1R_2} = 4Om$.

3.2.5. $R = \dfrac{5}{11}r$;

3.2.6. $\dfrac{Rn}{Rp} = 0,02675$;

3.2.7. $l_1 = 43,6\,l_2$.

3.2.8. *n = 4;*

3.2.9. $\alpha = \dfrac{\alpha_1 + n\alpha_2 + m\alpha_3}{1+n+m}$

2.1.5. $\sigma = \dfrac{ql}{2\pi\left(R^2 + l^2\right)^{3/2}}; \quad \varphi = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\dfrac{q}{R} - \dfrac{q}{\sqrt{R^2 + 4l^2}}\right).$

Gönükme 2.2.

2.2.1. $\varphi_1 = -\dfrac{\rho}{\varepsilon_0\varepsilon}\dfrac{x^2}{2}; \qquad \varphi_2 = \dfrac{\rho\, l^2}{\varepsilon_0} - \dfrac{\rho\, l^2}{2\varepsilon_0\varepsilon} - \dfrac{\rho\, l}{\varepsilon_0}x.$

2.2.2. $C = \dfrac{\varepsilon_0 S}{l-a} = 44\, nF.$

2.2.3. $\sigma^{erk} = 5{,}3\cdot10^{-6}\ Kl/m^2; \qquad \sigma_{pol} = 4{,}4\cdot10^{-6}\ Kl/m^2$.

2.2.4. $E_1 = \dfrac{U\varepsilon_2}{\varepsilon_2 l_1 + \varepsilon_1 l_2};\ E_2 = \dfrac{U\varepsilon_1}{\varepsilon_2 l_1 + \varepsilon_1 l_2};\ E_0 = \dfrac{U\varepsilon_1\varepsilon_2}{\varepsilon_2 l_1 + \varepsilon_1 l_2}.$

2.2.5. $P = 1{,}6\, mkKl/m^2; \quad \varepsilon = 1{,}17$.

2.2.6. $\chi = 1{,}27; \quad \varepsilon = 1{,}00342.$ 2.2.8. $p = 2{,}4\cdot10^{-37}\ Kl\cdot m.$

2.2.9. $\sigma' = -\dfrac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 1}\dfrac{ql}{2\pi\, r^3}.$

Gönükme 2.3.

2.3.1. $W = 6\,\varepsilon_0\ (acb)^3.$

2.3.2. $A = \dfrac{q^2\left(1 + 1/2\right)}{4}\left(\dfrac{1}{R_1} - \dfrac{1}{R_2}\right).$

2.3.3. $A = \dfrac{q}{8\pi\varepsilon_0}\dfrac{a-b}{ab} < 0.$

2.3.4. $A = \dfrac{q^2}{2\varepsilon_0\, S}\left(x_2 - x_1\right).$

2.3.5. $W = W_1 + W_2 + W_3 = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\dfrac{q_1^2}{2R_1} + \dfrac{q_2^2}{2R_2} + \dfrac{q_1 q_2}{R_2}\right).$

1.2.3. $E = \dfrac{8\tau\, d}{d_2 + 4h_2}.$

1.2.4. $E_{maks} = \dfrac{2\tau}{\pi\,\varepsilon_0\, l}.$

1.2.5. a) $r < R \rightarrow E = \dfrac{\rho\, r}{3\varepsilon_0}\left(1 - \dfrac{3r}{4R}\right); \qquad r > R \rightarrow \quad E = \dfrac{\rho_0 R^3}{9\varepsilon_0};$

b) $E_{mak} = \dfrac{\rho_0 R}{9\varepsilon_0}\ ; \quad r_m = \dfrac{2}{3}R.$

1.2.6. a) $E = \dfrac{ql}{4\pi\varepsilon_0(r^2 + l^2)^{3/2}}; \qquad E = \dfrac{ql}{4\pi\varepsilon_0 l^2};$

b) $E_{mak} = \dfrac{q}{6\sqrt{3}\,\pi\varepsilon_0 r^2}.$

1.2.7. a) $E = \dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0\sqrt{a^2 + r^2}}; \qquad$ b) $E = \dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0\,(a^2 + r^2)}.$

Gönükme 1.3.

1.3.1. a) E_c=1.4 *kN/Kl*; φ_c =840 *W*; E_d=0; φ_d =1,2 *W*.

b) güýjenmäniň ugry üýtgeýär, potensial nola deň ;

E_D=4 *kN / Kl*; φ_D=0.

1.3.2. *U*=34 *kW*; *A*=1 *mJ*.

1.3.3. $r_0 = 5.0\cdot10^{-14}$ *m*.

1.3.4. $A = 7{,}3\cdot10^{-5}$ *J*.

1.3.5. *A*=180 *mkJ*.

1.3.6. *U*=250*W*.

1.3.7. φ = 900 *W*.

1.3.8. W_n = - 63 *mkJ*.

1.3.9. W_p = 48.8 *mkJ*.

1.3.10. φ = 432 *W*.

1.3.11. 1) $\varphi = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\dfrac{Q_1}{R_1} + \dfrac{Q_2}{R_2}\right); \qquad$ 2) $\varphi = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\dfrac{Q_1}{r} + \dfrac{Q_2}{\varepsilon R_2}\right);$

3) $\varphi = \dfrac{Q_1 + Q_2}{4\pi\varepsilon_0 r}.$

1.3.12. $\varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{qh}{\left(R^2+h^2\right)^{3/2}}$.

1.3.13. a) $\boldsymbol{E} = -2a(x\boldsymbol{i} - y\boldsymbol{j})$; b) $\boldsymbol{E} = -a(y\boldsymbol{i} + x\boldsymbol{j})$;
$\boldsymbol{i}$ we $\boldsymbol{i}$ we $\boldsymbol{j}$ - x we y oklaryň birlik wektorlary.

1.3.14. $\Delta\varphi_1$=200 W; $\Delta\varphi_2$ =150 W.

1.3.15. $\varphi = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}\left[\sqrt{a^2+R^2} - a\right]$.

1.3.16. $\varphi = \frac{\sigma R}{\pi \varepsilon_0}$.

1.3.17. $\varphi = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\sqrt{R^2+h^2}}$.

1.3.18. $\varphi = -\frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0} ln\eta = 5\,kW$.

1.3.19. $\varphi = \frac{q}{4\pi\,\varepsilon_0 l}$.

1.3.20. $\varphi = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}(\frac{1}{r} - \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}) = 1\,kW$.

Gönükme 1.4.

1.4.1. C=0,025 mkF.

1.4.2. $a)$ U=260 W; $b)$ U=100 W.

1.4.3. C_4=6C_1;

1.4.4. U_2=400 W.

1.4.5. C=1,62 mkF.

1.4.6. C=4 mkF

1.4.7. $a)$ $\sigma_1' = 5{,}6\cdot 10^{-8}\,Kl/m^2$; $\sigma_2' = 4{,}2\cdot 10^{-8}\,Kl/m^2$;
$b)$ $q_1' = 4{,}6\cdot 10^{-10}\,Kl$; $q_2' = 2{,}0\cdot 10^{-10}\,Kl$.

1.4.8. $t = 1{,}2\cdot 10^{-10}\,s$.

1.4.9. $C = \frac{\pi\varepsilon_0}{ln\left(b/a\right)} = 7{,}1\,pF$.

1.4.10. $a)$ $C = \frac{\varepsilon_0 S}{\left(\frac{d_1}{r_1} + \frac{d_2}{r_2}\right)}$; $b)$ $\tau' = \varepsilon_0 U\left(\varepsilon_1 - \varepsilon_2\right)\left(\varepsilon_1 d_2 - \varepsilon_2 d_1\right)$.

1.4.11. $C = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon l}{ln\left(R_2/R_1\right)}$; $C = \frac{2\pi\varepsilon_0 a}{ln\left(R_2/R_1\right)}$.

1.4.12. $C = 2\pi\varepsilon_0\left(1+\varepsilon\right)\frac{ab}{b-a}$.

1.4.13. $C = \frac{\pi\varepsilon_0}{ln\left(b/a\right)}$.

Gönükme 1.5.

1.5.1. F=2qp / d^3.

1.5.2. $R = \left(\frac{p}{4\pi\varepsilon_0 E_0}\right)^{1/3}$.

1.5.3. $E = \sqrt{E_r^2 + E_0^2} = \frac{p}{4\pi\varepsilon_0}\sqrt{1+3cos^2\theta}$.

1.5.4. A=2pE=30 mkJ.

1.5.5. F=$p\frac{\partial E}{\partial X}$ =0,2 mN.

1.5.6. $\frac{\partial E}{\partial r} = \frac{q}{2\pi\varepsilon_0 r^3} = 1{,}8 mW/m^2$; F=$\frac{qp}{2\pi\varepsilon_0 r^3}$ =9 mkN .

1.5.7 . $\left|\frac{\partial E}{\partial r}\right| = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0 r^2} = 0{,}9 mW/m$; $F = p\frac{\partial E}{\partial r} = 3{,}9 mkN$.

Gönükme 2.1.

2.1.1. $a)\,\sigma_0 = \frac{\tau}{2\pi l}$; $b)\,\sigma = \frac{\tau}{2\pi(l^2+x^2)^{1/2}}$.

2.1.2. $A = \frac{q^2}{16\pi\varepsilon_0 l} = 0{,}15\,J$.

2.1.3. $F = \frac{\left(2\sqrt{2}-l)\right)q^2}{\left(8\pi\varepsilon_0 l^2\right)}$.

2.1.4. $F = \frac{\left(2\sqrt{2}-1)\right)q^2}{4\pi\varepsilon_0 l^2} = 8N$.

5.1.16. $\begin{cases} a)\ B=\dfrac{\mu_0 I}{4\pi}\left(\dfrac{2\pi-\alpha}{a}+\dfrac{\alpha}{b}\right); \\ b)\ B=\dfrac{\mu_0 I}{4\pi}\left(\dfrac{3\pi}{4a}+\dfrac{\sqrt{2}}{b}\right) \end{cases}$. 5.1.17. $I=\dfrac{2BR}{\mu_0 \sin^3\beta}=305A.$

5.1.18. $a=BI/(\rho S)=2,5\ m/s^2$.

5.1.19. $U=BR/(\mu_0\mu In)=720W$.

5.1.20. $\begin{cases} B_1=\mu_0 I/(2\pi r_1)=20mkTl; \\ B_2=\mu_0(I-I)=0. \end{cases}$

5.1.21. $H_{r_1\langle R}=I_2 r_1 \Big/ (2\pi R^2)$; $\quad H_{r_2\rangle R}=I \Big/ (2\pi r_2)$.

5.**1.22**[*]**.** $\begin{cases} \boldsymbol{B}=-\mu_0 j_s \dfrac{\boldsymbol{e}_y}{2}, x\langle 0\ bolanda; \\ \boldsymbol{B}=\mu_0 j_s \dfrac{\boldsymbol{e}_y}{2}, x\rangle 0\ bolanda. \end{cases}$

Gönükme 5.2.

5.2.1. B_1 =1,07 *Tl;* B_2=1,37 *Tl;*

$\mu_1=B/(\mu_0 H)=1700;\quad \mu_2=730;$

$J_1=B/\mu_0-H=0,85\ mA/m;\ J_2=1,09\ mA/m$.

5.2.2. $I=\dfrac{H}{n}+\dfrac{B_0 l_0}{\mu_0\pi dn}=1,32\,A$. 5.2.3. $L=\sqrt{L_1 L_2}$

5.2.4. $L=\mu_0\dfrac{R^2 S^2}{4\pi l\rho}$. 5.2.5. $\dfrac{n_1}{n_2}=\sqrt{\dfrac{L_1}{L_2}}=4$ esse.

5.2.6. $H = \frac{2KI}{\pi(d_1 + d_2)}$; $B = \mu_0 H = \mu_0 \frac{2KI}{\pi(d_1 + d_2)}$.

5.2.7. $B = \mu_0\, \mu\, n I$.   5.2.8. $B = \mu_0 \mu n I = \mu_0 \mu IK / (2\pi a)$.

5.2.9. $B = B_0 \sqrt{cos^2\alpha_0 + \mu^2 sin^2\alpha_0}$.

5.2.10. $I' = (\mu - 1)H = (\mu - 1)I/(2\pi r)$.

5.2.11. $B = \mu_0 \mu I / [(1+\mu)\pi r]$.   5.2.12. *W*=10 *J.*

5.2.13. $W = KIN/2 = 50\, mJ$.   5.2.14. *W*=0,15 *J.*

5.2.15. $\mu = 2 \cdot 10^3$.   5.2.16. $1,6 \cdot 10^3 esse$.

5.2.17. $\omega = 1,1 kJ/m^3$.   5.2.18*. $p_m = \frac{\pi\sigma\omega R^4}{4}, B = \mu_0 \frac{\sigma\omega R}{2}$.

5.2.19*. $\int_{-\infty}^{+\infty} B_x(x)dx = \mu_0 I$.

Gönükme 5.3.

5.3.1. $E = \frac{4d \cdot U}{(l+L)^2}$..   5.3.2. $tg\alpha = \frac{eE}{m\vartheta^2} l = 0,19;\ \alpha = 11^0$.

5.3.3. $\vartheta = \sqrt{\vartheta_0^2 + \left(\frac{eEl}{m\vartheta_0}\right)^2} = 1,3 \cdot 10^7 \frac{m}{s}$;

$$y = h = \frac{eE}{2m\vartheta_0^2} l^2 = 2,2 \cdot 10^{-2};\quad tg\alpha = \frac{eE}{m\vartheta^2} l = 0,9;\quad \alpha = 42^0.$$

5.3.4.
$$h = \frac{m}{2W}\left[\left(g \pm \frac{qU}{md}\right)\left(\frac{l^2}{2} + Ll\right) + \frac{gL^2}{2}\right];$$
$$h_{el.} = \pm\frac{1}{2W}\left[\frac{eU}{d}\left(\frac{l^2}{2} + Ll\right)\right].$$

5.3.5. $\vartheta = \sqrt{\frac{Uel}{md}\frac{tg\beta}{cos\alpha}}$; $W = \frac{m\vartheta^2}{2} = \frac{Ue}{d}\frac{tg\beta\, cos\alpha}{cos^2\beta}$.

5.3.6. $U = \frac{m\vartheta^2 d\cdot tg\alpha}{el} \approx 79{,}96W$. 5.3.7. $\vartheta = \sqrt{\frac{2eU}{m}} = 5{,}95\cdot 10^6\,\frac{m}{s}$.

5.3.8. $r = \frac{m\vartheta}{\mu_0 eH}$. 5.3.9. $\frac{e}{m} = \frac{2\Delta U}{B^2 r^2}$.

5.3.10. $r = \frac{1}{B}\sqrt{\frac{2m_e U}{e}}$. 5.3.11. $F = \frac{2W_k}{r}$.

5.3.12. $F = \frac{B^2 e^2 r}{m}$. 5.3.13. $\nu = \frac{eB}{2\pi m}$.

5.3.14. $I = \frac{e^2 B}{2\pi m}$. 5.3.15. $\frac{q}{m} = \frac{E^2}{2UB^2} = 10^8\,\frac{Kl}{kg}$.

5.3.16. $r = \frac{l^2 eE}{2m\vartheta_0^2} = 3{,}3\cdot 10^{-3}m$; $h = \vartheta_0 T = \frac{2\pi m\vartheta_0}{eB} = 2{,}4\cdot 10^{-2}m$.

5.3.17. $r = \frac{\vartheta\, sin\alpha}{eB/m} = 7\cdot 10^{-2}m$; $h = \frac{2\pi\vartheta sin\alpha}{eB/m} = 79\cdot 10^{-2}m$.

Gönükme 5.4.

5.4.1. $\Delta I/\Delta t = |e|/L = 800\,A/s$. 5.4.2. $B = kmg/(Il) = 6{,}6\cdot 10^{-2}Tl$.

5.4.3. $e = B\pi r^2/4\Delta t = 8{,}8\cdot 10^{-4}W$. 5.4.4. $e_0 = 2\pi\nu BS$.

5.4.5. $e = -\pi d^2 K(B_2 - B_1)/(4\Delta t)$. 5.4.6. $e = -Bl\vartheta$.

5.4.7. $e_0 = 2\pi BKS\nu$. 5.4.8. $a = -\frac{e}{Blsin\alpha} = -100\,m/s^2$.

5.4.9. $e = -Bl\,dx/dt = -Bl\vartheta = -2{,}5\cdot 10^{-2}W$.

5.4.10. $e=\pi r^2 \nu B;\ q=\pi r^2 BK/R;\ Q=\pi^2 r^4 \nu B^2 K/R.$

5.4.11. $U=\pi l^2 Bn=101 mW$. 5.4.12. $I=\dfrac{B\vartheta l}{R+R_1R_2/(R_1+R_2)}$.

5.4.13. $e=-yB\sqrt{\dfrac{2a}{k}}$. 5.4.14. $q=\dfrac{\mu_0 aI}{2\pi R}ln\dfrac{b+a}{b-a}$.

5.4.15. $\vartheta=\vartheta_0 e^{-at}$; $a=\dfrac{B^2l^2}{mR}$.

5.4.16. $I_1=\dfrac{e}{R}\dfrac{L_2}{L_1+L_2};\ I_2=\dfrac{e}{R}\dfrac{L_1}{L_1+L_2}$.

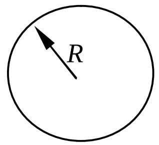
5.4.17. $q=\dfrac{Bm}{4\pi\rho\rho_1}=0{,}053Kl$.

5.4.18. $\begin{cases} I_1=\dfrac{e\pm Bl\vartheta}{R+r}; \\ I_2=\dfrac{e}{R+r}; \end{cases} \left(\begin{matrix} I_1'=4A;\ I_2'=12A; \\ I_1/I_2=2 \quad esse \end{matrix} \right).$

5.4.19*. $d=\dfrac{1}{2}\sqrt[4]{\dfrac{\pi^2 B_0^2 \alpha^2 \vartheta}{mgR}}$.

Gönükme 6.1.

6.1.1. $\begin{cases} I_{rez}=\dfrac{e}{R}=1{,}5A; \qquad U_R=I_{rez}R=30W; \\ U_L=\dfrac{e\omega L}{R}=150W;\ U_C=I_{rez}\dfrac{1}{\omega C}=150W. \end{cases}$

<table>
<tr><td></td><td colspan="2">$a^2=b^2+c^2-2bc\cdot cos\alpha$
$b^2=c^2+a^2-2ca\cdot cos\beta$
$c^2=a^2+b^2-2ab\cdot cos\gamma$</td><td colspan="2">$\dfrac{sin\alpha}{a}=\dfrac{sin\beta}{b}=\dfrac{sin\gamma}{c}$</td></tr>
<tr><td rowspan="2"></td><td colspan="2">Uzynlygy (l)</td><td colspan="2">Meýdany (S)</td></tr>
<tr><td>Duganyň
$l=\alpha R$</td><td>Töweregiň
$l=2\pi R$
$\alpha=2\pi$</td><td>Sektoryň
$S=\dfrac{\alpha R^2}{2}$</td><td>Tegelegiň
$S=\pi R^2$</td></tr>
</table>

$\int\limits_0^\infty \frac{x^n dx}{e^x - 1} = \begin{cases} 2.31, & n = 1/2 \\ \frac{\pi^2}{6}, & n = 1 \\ 2.405, & n = 2 \\ \frac{\pi^4}{15}, & n = 3 \\ 24.9, & n = 4 \end{cases}$	$\int\limits_0^\infty \frac{x^3 dx}{e^x - 1} = \begin{cases} 0,225, & \alpha = 1 \\ 1,18, & \alpha = 2 \\ 2,56, & \alpha = 3 \\ 4,91, & \alpha = 5 \\ 6,43, & \alpha = 10 \end{cases}$

11.Ýakynlaşan hasaplamalar üçin aňlatmalar

$$\frac{1}{1 \pm x} \approx 1 \mp x, \quad x < 0,031$$

$$(1 \pm x)^{1/2} \approx 1 \pm \frac{1}{2}x, \quad x < 0,085$$

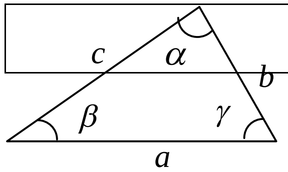
$$exp(\pm x) \approx 1 \pm x + \frac{1}{2}x^2, \quad x < 0,045$$

$$ln(1 \pm x) \approx 1 \pm x, \quad x < 0,045$$

$$sinx \approx x - \frac{1}{6}x^3, \quad x < 0,077\ rad\ (4,4^0)$$

$$cosx \approx 1 - \frac{1}{2}x^2, \quad x < 0,387\ rad\ (22,2^0)$$

12.Üçburçlyklardaky we tegeleklerdäki käbir gatnaşyklar

	Kosinuslar teoremasy	*Sinuslar teoremasy*
		

6.1.2. $\begin{cases} I_C = e\omega C = 0,33A; \\ I_{RL} = \frac{e}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \approx \frac{e}{L\omega} = 0,3A; \\ I = I_C - I_{RL} = 0,03A. \end{cases}$

6.1.3. $I_{t.ed.}$=0,515 *A*.

6.1.4. *Q=26 kal.*

6.1.5. $\begin{cases} I = \frac{U}{R_C} = 9 \cdot 10^{-3}\ A; \quad R_c = \frac{C_1 + C_2}{\omega C_1 C_2} \\ U_1 = \frac{UC_2}{C_1 + C_2} = 73,3W; \quad U_2 = \frac{UC_1}{C_1 + C_2} = 146,7W. \end{cases}$

6.1.6. $\begin{cases} \frac{R_0}{R} = \frac{l\rho}{\sqrt{\rho^2 l^2 + (\pi\nu\mu_0 NrS_1)^2}}; \\ \frac{R_L}{R} = \frac{\pi\mu_0 \nu rNS_1}{\sqrt{\rho^2 l^2 + (\pi\nu\mu_0 Nr)^2}}. \end{cases}$

6.1.7. $U_{AD} = \sqrt{U_{BS}^2 + (U_{AB} - U_{SD})^2} = 25W.$

6.1.8. $I = \sqrt{\frac{2\omega lS}{L}} = 1,55A.$

6.1.9. $L = \frac{U_0}{2I\pi\nu_0} = 0,1Gn.$

6.1.10. $\begin{cases} cos\varphi \approx 0,54, \ tg\varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}, \Rightarrow \varphi = 57^0; \\ P = IUcos\varphi = \frac{I_0}{\sqrt{2}} = \frac{U_0}{\sqrt{2}} cos\varphi = 134Wt. \end{cases}$

6.1.11. $\nu = \dfrac{\sqrt{2U^2_{tas.ed.} - I_0^2 R^2}}{2\pi L I_0} = 61Gs$.

6.1.12. $I(t) = I(t) = \dfrac{U_o}{\sqrt{R^2+\omega^2 L^2}}\left[cos(\omega t-\varphi) - e^{\frac{-R}{L}t} cos\varphi\right]$;

haçanda $t \to \infty,\ I(t) \sim cos(\omega t - \varphi)$.

6.1.13. $tg\varphi = -\sqrt{\left(\dfrac{U_0}{I_0 R}\right)^2 - 1}$.

6.1.14. $\omega_{rez} = \sqrt{\omega_1 \omega_2}$.

6.1.15. $I_0 = \dfrac{U_0}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \dfrac{1}{\omega C}\right)^2}}$.

6.1.16. $U_0 = 2U = 20W;\ \omega = 628 s^{-1};\quad \nu = 100\ Gs$.

6.1.17. X_{L1}=157 *Om* ; X_{S1}=3,18 *Om*; Z_1=3,33 *Om;*
X_{L2} = 31,4 *Om* ; X_{C2}=15,9 *Om*; Z_2=31,4 *Om*.

6.1.18. $P_L = \dfrac{\left(U_2^2 - U_1^2\right)}{2R} = 30Wt$.

6.1.19. *Ramkanyň tekizligi meýdanyň ugruna perpendikulýar bolanda.*

6.1.20. *Ramkanyň tekizligi meýdanyň ugry bilen*

$\varphi = arctg\left(\dfrac{\omega L - \dfrac{1}{\omega C}}{R}\right)$ *burç emele getirende.*

Gönükme 6.2.

Plankyň hemişeligi...................................... $h = 6{,}62 \cdot 10^{-34}\ J \cdot s$

10. Käbir matematiki aňlatmalar

$sin^2\alpha + cos^2\alpha = 1$ $sin(\alpha \pm \beta) = sin\alpha\, cos\beta \pm cos\alpha\, sin\beta$ $cos(\alpha \pm \beta) = cos\alpha\, cos\beta \mp si\alpha \sin\beta$ $tg(\alpha \pm \beta) = \dfrac{tg\alpha \pm tg\beta}{1 - tg\alpha + tg\beta}$ $sin\alpha + sin\beta = 2 sin\dfrac{\alpha+\beta}{2} cos\dfrac{\alpha-\beta}{2}$ $sin\alpha - sin\beta = 2cos\dfrac{\alpha+\beta}{2} sin\dfrac{\alpha-\beta}{2}$ $cos\alpha + cos\beta = 2cos\dfrac{\alpha+\beta}{2} cos\dfrac{\alpha-\beta}{2}$ $cos\alpha - cos\beta = -2 sin\dfrac{\alpha-\beta}{2} sin\dfrac{\alpha-\beta}{2}$	$sin\alpha = \dfrac{1}{(1+ctg^2\alpha)^{1/2}}$ $cos\alpha = \dfrac{1}{(1+tg^2\alpha)^{1/2}}$ $sin\left(\dfrac{\alpha}{2}\right) = \left(\dfrac{1-cos\alpha}{2}\right)^{1/2}$ $exp(i\alpha) = cos\alpha + isin\alpha$ $sin\alpha = (e^{i\alpha} - e^{-i\alpha})/2i$ $cos\alpha = (e^{i\alpha} + e^{-i\alpha})/2$
$\int\limits_0^\infty x^n e^{-x} dx = \begin{cases} 1, & n=0 \\ \sqrt{\dfrac{\pi}{2}}, & n = 1/2 \\ 1, & n=1 \\ 2, & n=2 \end{cases}$	$\int\limits_0^\infty x^n e^{-x^2} dx = \begin{cases} \sqrt{\pi}, & n=0 \\ 1/2, & n=1 \\ \sqrt{\pi}/4, & n=2 \\ 1/2, & n=3 \end{cases}$

9.Eesasy fiziki hemişelikler

Ýeriň massasy .... $5,97\cdot10^{24}$ *kg*

Ýeriň radiusy .... $6,37\cdot10^{6}$ *m*

Erkin gaçmanyň tizlenmesi........................ $9,8\ m/s^{2}$

Ýagtylygyň tizligi *c*.................................. $3\cdot10^{8}\ m/s$

Grawitasiýa hemişeligi γ .... $6,67\cdot10^{-11}\ m^{3}/\left(kg\cdot s^{2}\right)$

Awogadronyň hemişeligi N_A .... $6,025\cdot10^{23}\ mol^{-1}$

Loşmitdiň hemişeligi *L*............................... $2,69\cdot10^{25}\ m^{-3}$

Uniwersal gaz hemişeligi *R*........................ $8,314\ \ J/\left(mol\cdot K\right)$

Gazyň standart göwrümi V_m....................... $22,42\cdot10^{-3}\ m^{3}/mol$

Elementar zarýad *e*.................................... $1,6\cdot10^{-19}\ Kl$

Elektronyň massasy m_e .... $9,11\cdot10^{-31}\ kg$

Elektronyň udel zarýady e/m .... $1,76\cdot10^{11}\ Kl/kg$

Faradeýiň hemişeligi *F*............................... $9,65\cdot10^{4}\ Kl/mol$

Atomyň massa birligi *a.m.b.* .... $1,66\cdot10^{-27}\ kg$

Elektrik hemişeligi .... $\varepsilon_0=\dfrac{1}{4\pi\cdot9\cdot10^{9}}\dfrac{F}{m}=$

$=8,85\cdot10^{-12}\ F/m$

Magnit hemişeligi .... $\mu_0=4\pi\cdot10^{-7}\ Gn/m$

6.2.1. $\dfrac{W_m}{W_e}=5\cdot10^{-15}$. 6.2.2.

$$dW=d\left(\frac{ED}{2}V\right).$$

6.2.3. $I_{süýş}=I$. 6.2.4. $m=96$ *mg*.

6.2.5. $N=IU$. 6.2.6. $W=\dfrac{1}{2}\sqrt{\dfrac{\varepsilon_0}{\mu}}\cdot E_0^2St=8\cdot10^{-11}J$.

6.2.7. *Kondensatoryň içinde süýşme tokdan başga –da geçiriji toguň bardygyny göz öňünde tutmaly.*

6.2.8. $H=H_m\cos(\omega t+\alpha)$ *bu ýerde* $H_m=\dfrac{rU_m}{2d}\sqrt{\sigma^2+(\varepsilon_0\varepsilon\omega)^2}$;

$\alpha=arctg\left(\varepsilon_0\varepsilon\omega/\gamma\right)$.

6.2.9. $\Delta E=\left(\omega B\right)$.

GOŞMAÇA MAGLUMATLAR

1. Esasy fiziki hemişelikler

1	2
Ýagtylygyň wakuumdaky tizligi	C=2,998·10^8 *m/s*
Grawitasia hemişeligi	$\gamma = 6,67.10^{-11}\ m^3/kg$
Awogadranyň hemişeligi	$N_A = 6,02.10^{23} mol^{-1}$
Uniwersal gaz hemişeligi	$R = 8,31 J/kmol$
Bolsmanyň hemişeligi	k=1,38·10^{-23} *J/K*
Faradeýiň hemişeligi	$F = 9,65.10^4\ Kl/mol$
Elektronyň zarýady	e =1,6·10^{-19} *Kl*
Elektronyň udel zarýady	e/m =1,76·10^{11} Kl/kg
Elektrik hemişelik	ε_0 =8,85·10^{-12} F/m
Magnit hemişeligi	μ_0 =1,26 ·10^{-6} Gn/m
Plankyň hemişeligi	h = 6,62·10^{-34} *J· s* = = 4,14·10^{-15} *eW·s*

20	Doly kuwwat	$Q=IU$	Wolt-amper	$W \cdot A$
21	Maddalaryň magnit syzyjylygy	$\mu = \frac{B}{B_0}$	Metrde Genri	*Gn/m*

7. Elektronlaryň metallardan çykyş işleri

Metalyň ady	*A*, 10^{-19}*J*	**Metalyň ady**	*A*,10^{-19}*J*
Wolfram	7,2	Platina	8,5
Kaliý	3,2	Seziý	3,2
Litiý	3,8	Sink	6,6

8. Käbir elementar bölejikleriň esasy häsiýetnamalary

Bölejikler	**Bellenilişi**	**Zarýady ,** 10^{-19} *Kl*	**Massasy,** 10^{-27} *kg*
α -Bölejik	${}^4_2\alpha$	3,2	6,6446
Neýtron	${}^1_0 n$	0	1,6748
Pozitron	${}^0_1 e$	1,6	0,000911
Proton	${}^1_0 p$	1,6	1,6724
Elektron	${}^0_1 e$	-1,6	0,000911

9	Udel elektrik garşylyk	$\rho = \frac{R}{l} S$	Om .metr	*Om.m*
10	Elektrik geçirijilik	$G = \frac{1}{R}$	Simens	*Sm*

1	2	3	4	5
11	Udel elktrik geçirijilik	$\gamma = \frac{1}{\rho}$	Metrden Simens	*Sm/m*
12	Dielektrik syzyjylyk	$\varepsilon = \frac{E_0}{E}$		
13	Elektrohimiki barabarlyk	$k = \frac{m}{Q}$	Kulondan kg	Kg/ Kl
14	Magnit akymy	$\Phi = BS$	Weber	*Wb*
15	Magnit meýdanynyň induksiýasy	$B = \frac{F}{I \Delta l}$	Tesla	*Tl*
16	Magnit meýdanynyň güýjenmesi	$H = \frac{I}{l}$	Metrden Amper	*A/m*
17	Induktiwlik	$L = \frac{e}{I/\Delta t}$	Genri	*G*
18	Işjeň kuwwat	$P = \frac{A}{t}$	Wat	*Wt*
19	Işjeňdäl kuwwat	$Q = IUcos\varphi$	Wat	*Wt*

2.Onluk goşulmalar

Atlary	**Belgilenilişi**	**Esasybirlige atnaşygy**	**Atlary**	**Belgilenilişi**	**Esasybirlige atnaşygy**
Piko	*P*	10^{-12}	Tera	*T*	10^{12}
Nano	*N*	10^{-9}	Giga	*G*	10^{9}
Mikro	*mk*	10^{-6}	Mega	*M*	10^{6}
Milli	*m*	10^{-3}	Kilo	*k*	10^{3}
Santi	*s*	10^{-2}	gekto	*g*	10^{2}
Desi	*d*	10^{-1}	deka	*da*	10

3. Madalaryň dielektrik syzyjylyklary

Maddalaryň atlary	**Dielektrik syzyjylyklary**
1	**2**
Suw	81,0
Parafin	2,1
Ýag	2,5

Kerosin	2,0
Aýna	7,0
Slýuda	2,0
Ebonit	3,0

4. Käbir metallaryň we splawlaryň t=20^0 S temperaturadaky garşylygy we garşylygyň termiki koeffisiýentleri

Maddalar	$\rho_0 \cdot 10^{-8}$, ***Om·m***	α **,1/grad**
Alýuminiý	2,8	0,004
Wolfram	5,5	0,005
Latun	7,1	0,001
Mis	7,7	0,004
Nikelin	42	0,0001
Nihrom	110	0,0001
Gurşun	21	0,004
Kümüş	1,6	0,004
Polat	12	0,006

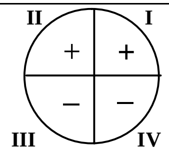
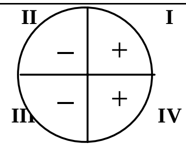
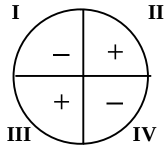
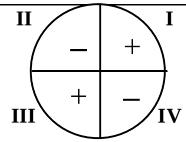
5.Elektrohimiki barabarlyklar (ekwiwalentler)

1. Kümüş (*Ag*)…… 1,12	5. Sink(Zn)……. 0,34
2. Mis(*Cu*)………… 0,33	6. Wodorod ((H_2) …0,0104
3. Alýuminiý (*Al*).......0,093	7. Kislorod (O_2)…0,0839
4. Nikel (Ni) ………. 0,30	8. Hrom (*Cr*)…….0,018

6. Elektrik we magnit ululyklaryň birlikleri

№	**Ululygyň ady**	**Kesgitlenýän deňlemesi**	**Atlandyrylyşy**	**Belgilenilişi**
1	**2**	**3**	**4**	**5**
1	Elektrik zarýadyň mukdary	$Q = Jt$	Kulon	*Kl*
2	Elektrik zarýadyň üst dykyzlygy	$\sigma = \frac{Q}{S}$	Metr kwadratdan Kulon	Kl / m^2
3	Elektrik toguň dykyzlygy	$j = \frac{I}{S}$	Metr kwadratdan Amper	A / m^2
4	Elektrik napraženiýe	$U = \varphi_1 - \varphi_2$	Wolt	*W*
5	Elektrik meýdanyň potensialy	$\varphi = \frac{A}{Q}$	Wolt	*W*
6	Elektrik meýdanyň güýjenmesi	$E = \frac{F}{q}$	Metrden wolt	*W/m*
7	Elektrik sygym	$C = \frac{Q}{U}$	Farada	*F*
8	Elektrik garşylyk	$R = \frac{U}{I}$	Om	*Om*

13. Trigonometrik funksiýalaryň käbir bahalary

Trigonometrik funksiýa	**Trigonometrik funksiýalaryň trigonometrik tegelekdäki alamatlary**	**Argumetiň bahasy**						**Funksiýanyň argumenti**	
		0	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\pi}{2}$	π	$\frac{\pi}{2} \pm \beta$	$\frac{\pi}{2} \pm \beta$
		0^0	30^0	45^0	60^0	90^0	180^0	$90^0 \pm \beta$	$180^0 \pm \beta$
		Trigonometrik funksiýalaryň bahalary						Getirilen funksiýa	
$sin\alpha$		0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1	0	$\mp \cos\beta$	
$cos\alpha$		1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{1}{2}$	0	-1	$\mp sin\beta$	
$tg\alpha$		0	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	1	$\sqrt{3}$	-	0	$\mp ctg\beta$	
$ctg\alpha$		-	$\sqrt{3}$	1	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	0	-	$\mp tg\beta$	

EDEBIÝAT

1. Gurbanguly Berdimuhamedow. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler,1-nji tom, Aşgabat, 2008.
2. Gurbanguly Berdimuhamedow. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler,2-nji tom,Aşgabat, 2009.
3. Савельев И.В. Сборник вопросов и задач по общей физике. Москва, Астрель. АСТ, 2001.
4. Бондарь В.А., Кульбицкий Д. И., Луцевич А.А. и др. Физика и технология решения задач. Минск. Тетра Систем 2003.
5. Гершензон Е.М., Малов Н.Н. Курс общей физики., Электродинамика, М.Просвещение, 2000.
6. Грабовский Р.И. Курс общей физики., Лан 2002.
7. Gurbanmuhammedow A. Elekrtik we magnit hadysalary. Aşgabat, TDNG. 2006.
8. GurbanmuhammedowA.,Orazow G.,Muhammetdurdyýewa O. Elekrtik we magnit hadysalary.1. Elektrostatika. Meseleler ýygyndysy. Magtymguly adyndaky TDU-nyň çaphanasy, 2006.
9. Gurbanmuhammedow A.,Orazow G. Elekrtik we magnit hadysalary. 2. Hemişelik elektrik akymy. Meseleler ýygyndysy. Magtymguly adyndaky TDU-nyň çaphanasy, 2007.
10. GurbanmuhammedowA.,OrazowG.,AtaýewA. Elekrtik we magnit hadysalary. 3. Hemişelik we üýtgeýän magnit meýdanlary. Elektromagnit yrgyldylary. Meseleler ýygyndysy. Magtymguly adyndaky TDU-nyň çaphanasy, 2007.
11. Orazow G. Maýyşgak we elektromagnit tolkunlary. Magtymguly adyndaky TDU-nyň çaphanasy, 2006.
12. Ильин и др. Задачи московских физических олимпиад, Том 2, М. Наука, 1988.
13. Иродов И. Е.Задачи по общей физике, М. Наука , 2003.

14. Новиков С.М. Сборник задач по общей физике. Москва. Оникс, Мир и образование 2007.
15. Всероссийские олимпиады по физике (1991-2001), М. Вербум 2002.
16. Савельев И.В.Курс общей физики. Том 2,М. Наука, 2000.
17. Сивухин Д.В. Курс общей физики Т.3 . Москва: Физматлит. 2002.
18. Сахаров Д.И., Сборник задач по физике. Москва. «Оникс 21 век» «Мир и образование» 2003.
19. Волкенштейн В.С. Задачи по общему курсу физики, Санкт-Петербург, “Книжный мир”, 2007.
20. Трофимова Т.И. Сборник задач по курсу физики для втузов. М; «Оникс 21 век» 2003.

MAZMUNY

**Amanmuhammet Gurbanmuhammedow,
Gylyçmämmet Orazow, Akmämmet Ataýew
Ogulşat Ekizowna Muhammetdurdyýewa**

UMUMY FIZIKADAN MESELELER ÝYGYNDYSY

ELEKTRIK WE MAGNIT HADYSALARY