A. Gurbanmuhammedow, A. Ataýew,
G. Orazow

ELEKTRIK WE MAGNIT HADYSALARY BOÝUNÇA MESELELER ÝYGYNDYSY

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw gollanmasy

Türkmenistanyň Bilim ministrligi
tarapyndan hödürlenildi

Aşgabat
Türkmen döwlet neşirýat gullugy
2020

UOK 378 : 621.31
G 79

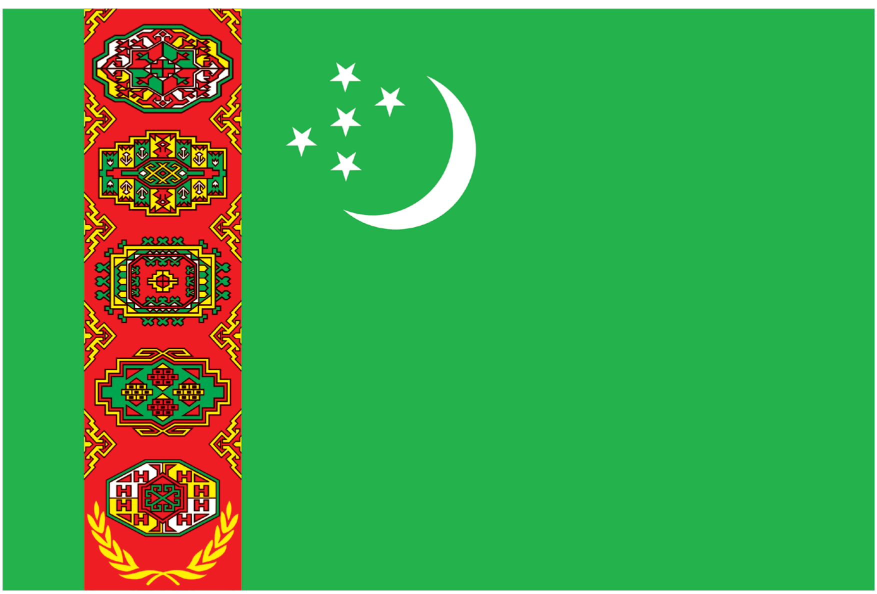
Gurbanmuhammedow A. we başg.
G 79 **Elektrik we magnit hadysalary boýunça meseleler ýygyndysy.** Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw gollanmasy. – A.:Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2020.

Bu okuw gollanmasy Magtymguly adyndaky Türkmen döwlet uniwersitetiniň «Elektrik we magnit hadysalary» dersiniň okuw maksatnamasyna laýyklykda meseleler ýygyndysy hökmünde taýýarlanyldy. Okuw gollanmasy fizika, radiofizika we elektronika hünärleriniň talyplaryna niýetlenilip, ondan ýokary okuw mekdepleriniň inžener-tehniki hünärlerinde okaýan talyplar hem peýdalanyp bilerler.

TDKP № 134, 2020 KBK 31.22 ýa 73

TÜRKMENISTANYŇ PREZIDENTI
GURBANGULY BERDIMUHAMEDOW

TÜRKMENISTANYŇ DÖWLET TUGRASY



TÜRKMENISTANYŇ DÖWLET BAÝDAGY

TÜRKMENISTANYŇ
DÖWLET SENASY

Janym gurban saňa, erkana ýurdum,
Mert pederleň ruhy bardyr köňülde.
Bitarap, garaşsyz topragyň nurdur,
Baýdagyň belentdir dünýäň öňünde.

Gaýtalama:

Halkyň guran Baky beýik binasy,
Berkarar döwletim, jigerim-janym.
Başlaryň täji sen, diller senasy,
Dünýä dursun, sen dur, Türkmenistanym!

Gardaşdyr tireler, amandyr iller,
Owal-ahyr birdir biziň ganymyz.
Harasatlar almaz, syndyrmaz siller,
Nesiller döş gerip gorar şanymyz.

Gaýtalama:

Halkyň guran Baky beýik binasy,
Berkarar döwletim, jigerim-janym.
Başlaryň täji sen, diller senasy,
Dünýä dursun, sen dur, Türkmenistanym!

GIRIŞ

Talyp ýaşlaryň dünýä derejesinde bilim almagy üçin döwrebap okuw kitaplarynyň we gollanmalarynyň taýýarlanylmagy wajyp mesele bolup durýar.

Eliňizdäki okuw gollanmasy Magtymguly adyndaky Türkmen döwlet uniwersitetiniň fizika fakultetinde fizika, radiofizika we elektronika boýunça taýýarlanylýan hünärmenlere «Elektrik we magnit hadysalary» dersiniň amaly okuwy üçin niýetlenen maksatnama esasynda taýýarlanyldy. Gollanma 6 bölümden ybarat bolup, onuň I bölümi «Hemişelik elektrik meýdanyna», II bölümi «Elektrik meýdanyndaky maddalara», III bölümi «Hemişelik elektrik toguna», IV bölümi «Dürli gurşawlardaky elektrik toguna», V bölümi «Magnit meýdanyna we elektromagnit induksiýasyna», VI bölümi «Üýtgeýän elektrik toguna we elektromagnit meýdanyna» bagyşlanan.

Okuw gollanmasynda her bir bölüme degişli esasy kesgitlemeler, kanunlar we käbir meseleleriň işleniliş usuly görkezilýär. Amaly sapaklaryň geçirilişini aňsatlaşdyrmak maksady bilen meseleler degişli temalar boýunça biri-birinden aýyl-saýyl edilip, kiçi toparlara bölünýär. Onuň bölümlerine talyplaryň nazary okuw boýunça taýýarlyk derejelerini barlamaga mümkinçilik berýän soraglar girizildi. Okuw gollanmasyndaky ulanylan meseleleriň dürli çylşyrymlylykda bolmaklygy amaly sapaklarda bilim derejeleri deň bolmadyk talyplar topary bilen önjeýli işlemäge mümkinçilik berer.

Okuw gollanmasy fakultatiw sapaklarda, fizikadan döwlet bäsleşiklerine taýýarlanmakda orta mekdep okuwçylaryna, ýokary inžener tehniki okuw mekdepleriniň talyplaryna we orta mekdepleriň mugallymlaryna hem peýdaly bolup biler.

I. HEMIŞELIK ELEKTRIK MEÝDANY

1.1. ELEKTRIK MEÝDANYNY HÄSIÝETLENDIRÝÄN ULULYKLAR

Esasy kesgitlemeler we aňlatmalar

Güýjenme elektrostatik meýdanynyň güýç häsiýetnamasyny aňladýar. Potensiallaryň tapawudy bolsa elektrostatik meýdanyň iki dürli nokadynyň energiýa häsiýetnamasyny häsiýetlendirýär.

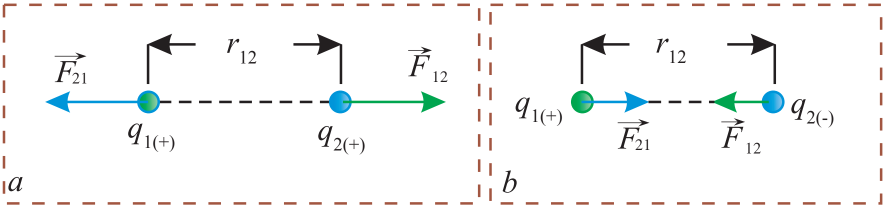
Elektrostatikada otnositel dynçlykda duran elektrik zarýadlary bilen baglanyşykly hadysalary hem-de elektrik zarýadlarynyň ýerleşişi boýunça elektrik meýdanyny hasaplamak we bu meýdany häsiýetlendirýän esasy ululyklary tapmaklyk öwrenilýär.

Kulonyň kanuny. Wakuumda ýerleşdirilen iki sany nokatlanç zarýadyň özara täsir güýji ol zarýadlaryň ululyklaryna göni, olaryň arasyndaky uzaklygyň kwadratyna ters baglydyr. Bu güýç zarýadlaryň ýerleşdirilen nokatlarynyň üstünden geçýän göni çyzyk boýunça ugrukdyrylandyr (*1.1-nji surat*) we ol skalýar görnüşde:

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2} \qquad (1.1)$$

we wektor görnüşinde bolsa aşakdaky ýaly aňladylýar:

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2}\frac{\vec{r}_{12}}{r}; \quad \vec{F}_{21} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2}\frac{\vec{r}_{21}}{r}, \qquad (1.2)$$



1.1-nji surat. Nokatlanç zarýadlaryň özara täsir güýji:
a – biratly; *b* – dürli atly zarýadlar

bu ýerde $\vec{F}_{12}, \vec{F}_{21}$ – degişlilikde birinji zarýadyň ikinjä we ikinji zarýadyň birinjä täsir edýän güýçleri; Halkara ulgamda (HU) ε_0 = 8,85·10^{-12} *F/m*-e deň bolan elektrik hemişeligi; q_1, q_2 – degişlilikde nokatlanç zarýadlaryň ululygy *Kl*-de; $\vec{r}_{12}, \vec{r}_{21}$ – q_1, q_2 – zarýadlary birikdirýän radius wektorlar.

Elektrostatik meýdan zarýad bilen baglanyşykly ulgamda döreýär. Diýmek, elektrostatik meýdanyň çeşmesi bolup, dynçlykda duran zarýad hyzmat edýär.

Elektrostatik meýdanyň güýjenmesi meýdanyň berlen nokadynda ýerleşdirilen synag birlik položitel zarýada täsir edýän *F* güýje san taýdan deň bolan ululykdyr:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}. \tag{1.3}$$

(1.1) we (1.3) deňlemelerden alarys:

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r^2}. \tag{1.4}$$

Elektrik meýdanynyň 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 şol nokatda döredýän elektrik meýdanlarynyň güýjenmeleriniň wektorlaýyn jemine deňdir:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + ... + \vec{E}_n = \sum \vec{E}_i, \tag{1.5}$$

bu ýerde $\vec{E}_1, \vec{E}_2, \vec{E}_3, \vec{E}_i$ – elektrik meýdanynyň kesgitli nokatlardaky güýjenmeleri; i = 1,2,3...n nokatlanç zarýadlaryň sany.

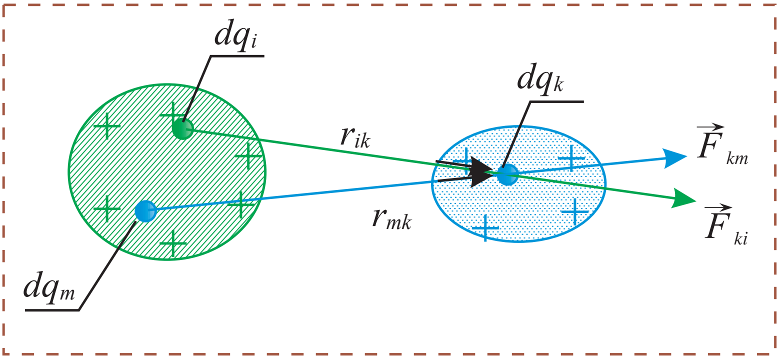
Eger täsirleşýän zarýadlar nokatlanç bolmasalar, onda olar nokatlanç hasaplanýança *dq* ülüşlere bölünýär we olaryň jübüt bölekleriniň arasyndaky özara täsir güýji tapylýar:

$$dF_{ik} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{dq_i dq_k}{r_{ik}^2}. \tag{1.6}$$

Soňra netijeleýji güýç geometrik goşulyp tapylýar:

$$\vec{F}_{21} = \int d\vec{F}_{ik}, \tag{1.7}$$

bu ýerde $\vec{F}_{ik}$ – birinji jisimiň i-nji zarýadynyň 2-nji jisimiň k-njy zarýadyna täsir edýän güýji (*1.2-nji surat*).



1.2-nji surat. Biratly zarýadlanan jisimleriň Kulon özara täsir güýçleriniň kesgitlenilişi

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

$$\sum_{i=1}^{n} Q_i = const, \tag{1.8}$$

bu ýerde Q_i – goralgy ulgama girýän i-nji zarýadyň ululygy; n – zarýadyň sany.

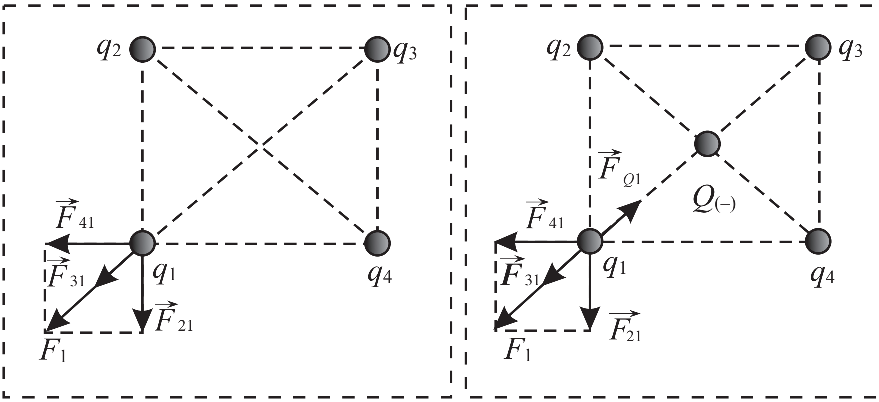
Meseleleriň çözülişine mysallar

1-nji mesele. Kwadratyň depelerinde q = 2,33 nKl zarýadlar ýerleşen. Her bir q zarýada täsir edýän güýçleriň deň täsir edijisiniň 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 ugruny takyklamak üçin q_1 zarýada beýleki hemme zarýadlaryň täsir güýjüni 1.3-nji *a* suratda görkezilişi ýaly edip gurmaly. Bu suratdan görnüşi ýaly q_1 zarýada kwadratyň beýleki depelerindäki zarýadlaryň $\vec{F}_{31}\vec{F}_{21,}\,\vec{F}_{41,}$ we $\vec{F}_{41}$ täsir güýçleri itekleşme häsiýete eýedir. $\vec{F}_{21}$ we $\vec{F}_{41}$ güýçleriň deň täsir edijisini $\vec{F}_1$ bilen belläp aşakdaky görnüşde aňladarys:

$$\vec{F}_{21} + \vec{F}_{41} = \vec{F}_1. \tag{1}$$

Diýmek, kwadratyň depelerindäki zarýadlaryň hemmesi q_1 zarýada $\vec{F}_1 + \vec{F}_{31}$ güýç bilen täsir edýär. Munuň ýaly güýç kwadratyň depelerindäki her bir zarýada täsir edýär.



1.3-nji surat. Kwadratyň depelerindäki we onuň merkezindäki zarýadlaryň özara täsiri

Bu güýjüň täsiriniň nola deň bolmagy üçin depelerindäki zarýadlaryň her birine şonuň ýaly ululykly kwadratyň merkezine tarap ugrukdyrylan güýjüň täsir etmegi zerurdyr. Munuň ýaly merkeze ugrukdyrylan güýji kwadratyň merkezinde ýerleşdirilen otrisatel zarýad döredip biler. Biz bu zarýady $Q_{(-)}$ bilen 1.3-nji *b* suratda görkezilişi ýaly edip ýerleşdireliň. Bu halda q_1 zarýada täsir edýän netijeleýji wektor güýç:

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

ýa-da skalýar görnüşde:

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

Seredilýän q_1 zarýada kwadratyň beýleki depelerindäki we onuň merkezindäki zarýadlaryň täsir edýän $\vec{F}_{21}$, $\vec{F}_{31}$, $\vec{F}_{41}$, we $\vec{F}_{Q1}$ güýçlerini

(*1.3-nji sur. ser.*) degişli ululyklar bilen Kulonyň kanuny esasynda ýazyp, ol aňlatmadaky r Pifagoryň teoremasy esasynda tapylýar. Ýagny q_1-nji zarýada q_3-nji zarýadyň täsir (itekleýji) güýji:

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

bu ýerde $r_{31}^2 = a^2 + a^2 = 2r_{31}^2 = 2a^2$; a – kwadratyň iki goňşy depesiniň arasyndaky aralyk.

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

q_4-nji zarýadyň q_1-nji zarýada täsir güýji:

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

F_{Q1} täsir güýjüň ululygy:

$$F_{Q1} = \frac{qQ}{4\pi\varepsilon_0 r_{1Q}^2}, \tag{6}$$

bu ýerden:

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

Onda

$$F_{Q1} = \frac{2qQ}{4\pi\varepsilon_0 a^2}. \tag{6'}$$

1.3-nji *b* suratdan görnüşi ýaly $F_{41} = F_{21}$ (3) deňligi aşakdaky görnüşde ýazyp bolar:

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

ýa-da (4), (6) deňlikleri göz öňünde tutup, ahyrky deňligi aşakdaky görnüşde alarys:

$$\frac{2qQ}{4\pi\varepsilon_0 a^2} = \frac{q^2}{8\pi\varepsilon_0 a^2} + \frac{q^2\sqrt{2}}{4\pi\varepsilon_0 a^2}. \tag{7}$$

Bu ýerden:

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

ýa-da

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

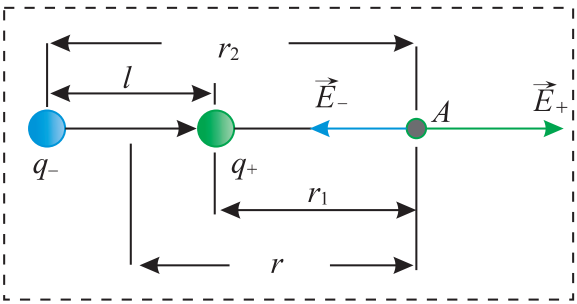
Berlen q zarýadyň bahasyny ornuna goýup, gözlenýän zarýadyň $Q = 2{,}33\ nKl$ bolýandygyny we alamatynyň otrisateldigini anyklap bolar.

2-nji mesele. Biri-birinden 0,1 m aralykda ýerleşen iki sany $q_1 = q_2$ 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 burç emele getirýän göniniň üstünde onuň merkezinden 1m daşlykda ýerleşen nokatda kesgitlemeli.



1.4-nji surat. Dipolyň özüniň okunyň dowamynda döredýän elektrik meýdanynyň güýjenmesi

Ç ö z ü l i ş i : a) Garalýan A nokat dipolyň okunyň üstünde ýerleşýär (*1.4-nji surat*). $\vec{E}_+$ we $\vec{E}_-$ wektorlar dipolyň okunyň üstünde ýerleşen we özara ters ugrukdyrylandyr. A nokatda döredilen elektrik meýdanynyň güýjenmelerini aşakdaky ýaly wektor görnüşinde aňladalyň:

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

bu ýerde $\vec{r}_1$ we $\vec{r}_2$ – degişlilikde dipolyň položitel we otrisatel zarýadlaryndan A nokada geçirilen radius wektorlar. Olar aşakdaky ýaly kesgitlenilýär:

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

$\vec{r}_1$ we $\vec{r}_2$ wektorlar $\vec{l}$ wektor bilen gabat gelýär. Şonuň üçin:

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

Netijede

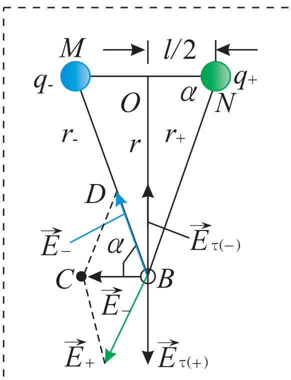
$$E_+ = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{\left(r - \frac{l}{2}\right)^2},\ \ E_- = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{\left(r + \frac{l}{2}\right)^2}.$$

Elektrik meýdanynyň 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 $q\vec{l} = \vec{p}$ dipolyň elektrik momenti bolany üçin alarys:

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



1.5-nji surat. Dipolyň egniniň merkezinden geçýän perpendikulýaryň üstünde döredýän elektrik meýdanynyň güýjenmesi

Meseläniň şertine görä $r>>l$ bolany üçin, l-iň ikinji we uly derejeleriniň juda kiçi ululyk bolany üçin, olary hasaba almaýarys. Onda elektrik dipolyň A nokatda döredýän netijeleýji elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň aňlatmasyndaky ýaly:

$$E_A = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{2p}{r^3}. \qquad (3)$$

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

b) Garalýan nokat dipolyň okuna onuň ortasyndan galdyrylan perpendikulýaryň üstünde ýerleşdirilen bolsun (*1.5-nji surat*). Bu B nokadyň dipolyň uçlaryndan deň uzaklykda ýatýandygy üçin:

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

1.5-nji suratdaky *BMN* we *BCD* üçburçluklar deňýanlydyrlar we $\angle BMN = \angle\ NBM = \angle\ BCD = \angle\ CBD = \alpha$. Bu üçburçluklarda *BM* we *BD*, *BN* we *DC* taraplar özara parallelldirler. Şonuň üçin hem $MN \parallel BC$, ýagny $\vec{E}$ wektor $\vec{p}$ wektora garşy ugrukdyrylandyr.

$$\vec{E} = -\ E\frac{\vec{p}}{p} = -\frac{E}{ql}\vec{p}. \tag{4}$$

$\vec{E}_+$ we $\vec{E}_-$ wektorlaryň tangensial düzüjileri ululyklary boýunça deň, ugurlary boýunça garşylykly bolany üçin, olar bir-birini özara ýok edýär. *B* nokatdaky netijeleýji güýjenme $\vec{E}_+$ we $\vec{E}_-$ wektorlaryň normal düzüjileriniň jemine deňdir:

$$E = |\vec{E}_+| + |\vec{E}_-|;$$

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

BMO üçburçlukdan: $\cos\alpha = \dfrac{l}{2\sqrt{r^2 + \frac{l^2}{4}}}$. 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

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

(4) we (5) deňlemelerden:

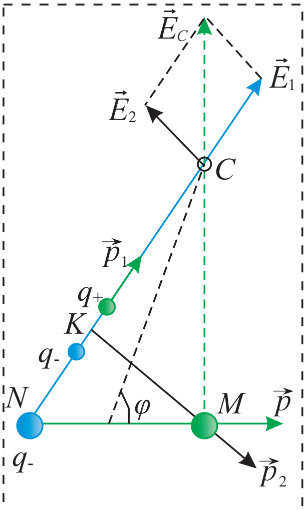
$$\vec{E}_B = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\vec{p}}{r^3}. \tag{6}$$

(3) we (6) deňlemelerden görnüşi ýaly:

$$|\vec{E}_B| = \frac{|\vec{E}_A|}{2}.$$

Hasaplamalar boýunça $E_B = 10{,}79\ V/m$.

ç) Garalýan *C* nokat dipolyň ortasynda *r* aralykda ýerleşýär. Bu nokadyň radius wektory dipolyň oky bilen φ burçy emele getirýär.



1.6-njy surat. Dipolyň *C* nokatda döredýän elektrik meýdanynyň güýjenmesi

1.6-njy suratda *M* nokatdan *NC* gönä *MK* perpendikulýar geçireliň. *K* nokatda ululyklary boýunça deň, alamatlary boýunça bolsa garşylykly bolan $+q$ we $-q$ iki sany nokatlanç zarýady ýerleşdireliň. Bu zarýadlar biri-biriniň täsirini ýok edýär we dipolyň elektrik meýdanyny üýtgetmeýär. Suratdaky *M*, *N* we *K* nokatlarda ýerleşdirilen dört zarýada *NK* we *MK* iki dipol hökmünde garamak bolýar. Şerte görä $l \ll r$ bolany üçin, dipollaryň elektrik momentleri degişlilikde:

$$p_1 = ql\cos\varphi = p\cos\varphi;$$

$$p_2 = ql\sin\varphi = p\sin\varphi. \qquad (7)$$

C nokat *NK* dipolyň okunda *MK* dipolyň bolsa okunyň ortasyndan galdyrylan perpendikulýarda ýerleşýär.

Netijede, (3) we (6) deňlemeler boýunça:

$$\vec{E}_1 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{2\vec{p}_1}{r^3}; \qquad \vec{E}_2 = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{2\vec{p}_2}{r^3},$$

bu ýerde $\vec{p}_1$ we $\vec{p}_2$ wektorlar özara perpendikulýar bolandyklary üçin, $\vec{E}_1$ we $\vec{E}_2$ wektorlar hem özara perpendikulýardyr. Onda *C* nokatda dipolyň döredýän elektrik meýdanynyň güýjenmesi san taýdan aşakdaky görnüşde kesgitlenilýär:

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

(7) deňlemeden p_1-iň we p_2-niň bahalaryny goýup alarys:

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

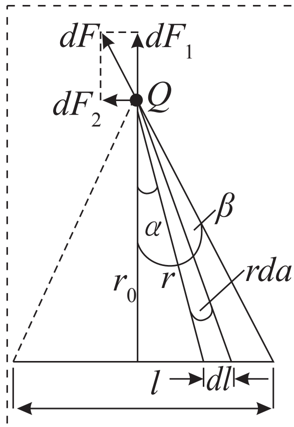
$$E_c = \frac{1}{4\pi\varepsilon}\frac{p_e}{r^3}\sqrt{3\cos^2\varphi + 1} = E_B\sqrt{3\cos^2\varphi + 1}.$$

Meselede berlen maglumatlardan peýdalanyp alarys:

$$E_C = 14{,}27\ V/m.$$

3-nji mesele. Uzynlygy $l_0 = 30\ sm$ bolan inçe geçiriji steržen $\tau = 1 mkKl/m$ zarýadyň çyzyk dykyzlygy bilen zarýadlandyrylan. Geçiriji sterženiň ortasyna geçirilen perpendikulýar sterženden r_0=20 *sm* daşlykda ýerleşdirilen Q = 10 *nKl* deňölçegli nokatlanç zarýad bilen geçiriji sterženiň özara täsir güýjüni kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i: Meseläniň şertine laýyklykda 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 zarýadyny hasaplamaly (*1.7-nji surat*). Sebäbi Kulonyň kanuny nokatlanç zarýadlaryň özara täsirini kesgitlemeklige niýetlenendir. Q we dQ nokatlanç zarýadlaryň özara täsir güýjüni şeýle aňladyp bolar:



1.7-nji surat. Uzynlyk birliginde zarýadlanan geçiriji steržen bilen nokatlanç zarýadyň özara täsir güýji

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

bu ýerde r – geçiriji sterženiň dl kiçi böleginden Q nokatlanç zarýada çenli aralyk.

1.7-nji suratdan görnüşi ýaly:

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

Bu aňlatmalary (1) deňlikde ornuna goýup alarys:

$$dF = \frac{Q\tau}{4\pi\varepsilon_0 r} d\alpha. \quad (3)$$

$d\vec{F}$ güýjüň wektor ululykdygyny göz öňünde tutup, integrirlemezden öň ony geçiriji steržene perpendikulýar dF_1 we parallel dF_2 düzüjilere dargadalyň. Diýmek,

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

(3) deňligi (4) deňliklerde ornuna goýup alarys:

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

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

$$F_1 = k_e\frac{Q\cdot\tau}{r_0}\int_{-\beta}^{\beta}\cos\alpha d\alpha = k_e\frac{Q\cdot\tau}{r_0}|\sin\alpha|_{-\beta}^{\beta} =$$

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

Nokantlanç zarýad geçiriji steržene simmetrik ýerleşendigi üçin, soňky integral nola deňdir.

Şeýlelikde, nokatlanç zarýada täsir edýän güýç:

$$F = F_1 = \frac{Q\tau}{2\pi\varepsilon_0 r_0}\sin\beta \tag{6}$$

bolar. 1.7-nji suratdan görnüşi ýaly:

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

Bu aňlatmany göz öňünde tutup, (6) deňligi

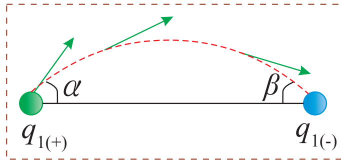
$$F = \frac{Q\tau}{4\pi\varepsilon_0 r_0}\frac{l}{\sqrt{4r_0^2 + l^2}}$$

görnüşde ýazalyň.

Meseläniň şertindäki ululyklardan peýdalanyp, özara täsir güýjüniň F= 0,54 *mN* bolýandygyny alarys.

4-nji mesele. Elektrik meýdanynyň güýç çyzygy nokatlanç $q(+)$ položitel zarýady nokatlanç $q(-)$ otrisatel zarýad bilen birikdirýän göni bilen α burçy emele getirýär (*1.8-nji surat*). Agzalan elektrik meýdanynyň güýç çyzygy haýsy burç bilen otrisatel zarýada girer?

Çözülişi: Nokatlanç zarýadlaryň her biriniň golaýynda beýleki zarýadyň meýdanynyň umumy güýjenmesine goşandy hasaba alardan azdyr. Şonuň üçin elektrik meýdanynyň güýç çyzyklary deňölçegli giňişlik desseleri görnüşinde çykýar (girýär). Olaryň umumy sany zarýadyň san bahasyna baglydyr. Zarýadyň golaýynda depesindäki burçy 2α 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:



1.8-nji surat. Nokatlanç zarýadlaryň elektrik meýdany

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

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

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

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, güýç çyzygy otrisatel ($-q_2$) zarýada girmez.

5-nji mesele. Metal disk öz okunyň daşynda ω burç tizligi bilen aýlanýar. Diskiň aýlanma okundan x aralykda döreýän elektrik meýdanynyň güýjenmesini kesgitlemeli.

Çözülişi: Disk aýlananda onuň düzümindäki geçiriji elektronlar hem şol tizlik bilen aýlanýar. Diskiň aýlanma okundan x aralykdaky geçiriji elektron üçin Nýutonyň kanunyny ýazalyň:

$$\vec{F} = m\vec{a}. \quad (1)$$

Elektrona täsir edýän güýç aşakdaky görnüşe eýedir:

$$\vec{F} = e\vec{E}. \quad (2)$$

Merkeze ymtylýan tizlenmäniň burç tizligi bilen baglanyşygy:

$$a = \omega^2 x. \tag{3}$$

(1– 3) aňlatmalaryň esasynda gözlenilýän güýjenmäni taparys:

$$\vec{E} = \frac{m\omega^2 x}{e}.$$

Talyplaryň özbaşdak taýýarlyklaryny barlamak üçin soraglar we ýumuşlar

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

Özbaşdak çözmek üçin meseleler

1-nji gönükme

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

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 täsirleşerler?

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°-a deň bolar ýaly şarlara nähili ululykdaky zarýad bermeli?

1.4. Radiusy r bolan inçe sim halkanyň zarýady q. Halkanyň merkezinde q_0 nokatlanç zarýad ýerleşdirilende simi süýndirýän güýç nähili ululyga üýtgär?

1.5. Položitel 50 *mKl* nokatlanç zarýad *xOy* tekizligiň radius wektory $\vec{r}_0 = (2\vec{i} + 3\vec{j})\,m$ bolan nokadynda ýerleşdirilen. Bu ýerde $(\vec{i}, \vec{j})$ degişlilikde *Ox* we *Oy* oklaryň birlik wektorlary. Radius wektory $\vec{r} = (8\vec{i} - 5\vec{j})$ bolan nokatda elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň absolýut ululygyny we ugruny tapmaly.

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

1.7. Üç sany biratly *q* zarýad deňtaraply üçburçlugyň depelerinde ýerleşdirilen. Her bir zarýada täsir edýän güýçleriň deňtäsiredijisi nola deň bolar ýaly üçburçlugyň merkezinde ýerleşdirmeli *Q* zarýadyň ululygyny we alamatyny kesgitlemeli.

1.8. Taraplary *a* bolan kwadratyň depelerinde deň ululykly položitel nokatlanç zarýadlar ýerleşdirilen. Kwadratyň depelerinde simmetrik ýerleşdirilen we onuň merkezinden *b* aralykdaky nokatda elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň modulyny tapmaly.

1.9. Ululygy $q = 0{,}7$*nKl* zarýad bilen deňölçegli zarýadlandyrylan radiusy $R = 20$ *sm* bolan inçe ýarym halkanyň egrilik merkezinde elektrik meýdanynyň güýjenmesini kesgitlemeli.

1.10. Položitel ($q > 0$) zarýad *a* radiusly ýuka geçiriji disk boýunça deňölçegli paýlanan. Bu geçirijiniň oky boýunça onuň merkezinden *z* aralykdaky elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň üýtgeýiş funksiýasyny tapmaly.

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

1.12. Radiuslary r, $2r$, $3r$ bolan şarlar degişlilikde $3q$, $-2q$, $-3q$ zarýad bilen zarýadlandyrylan we $R \gg r$ gapyrgaly tetraedriň 3 depesinde ýerleşdirilen. Tetraedriň 4-nji depesinde elektrik meýdanynyň güýjenmesini kesgitlemeli.

1.13. Iki sany položitel zarýad biri-birinden *l* uzaklykda ýerleşdirilen. Bu zarýadlary birleşdirýän gönüniň ortasyndan geçýän dik çyzygyň üstünde elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň bahasynyň iň uly nokadyny tapmaly.

1.14*. Sferanyň içine *q* zarýad bilen zarýadlandyrylan kiçijik togalajyk geçiriji girizilen. Togalajyk geçiriji sferanyň ýokarky çägindäki nokatda saklanar ýaly onuň aşaky çäginde nähili ululykly zarýad ýerleşdirmeli? Sferanyň diametri d, massasy m.

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

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.

1.2. OSTROGRADSKINIŇ WE GAUSSYŇ TEOREMASY

Esasy kesgitlemeler we aňlatmalar

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

$$\tau = \frac{dq}{dl}; \quad \sigma = \frac{dq}{dS}; \quad \rho = \frac{dq}{dV}, \tag{1.9}$$

bu ýerde dq – zarýad; dl – uzynlyk; dS – meýdan we dV – göwrüm birligine düşýän zarýad.

***D* süýşme wektory.** Bu wektor elektrik meýdanyny häsiýetlendirýän ululyklaryň biri bolup, ol islendik daşky gurşawda şeýle aňladylýar:

$$\vec{D} = \varepsilon_0\varepsilon\vec{E}, \tag{1.10}$$

bu ýerde ε_0, ε – degişlilikde elektrik hemişeligi we dielektrik syzyjylygy; $\vec{E}$ – elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň wektory.

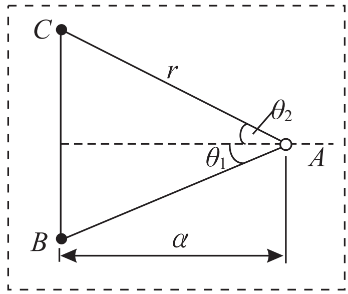
Ostrogradskiniň we Gaussyň teoremasy. q_i zarýadlar tarapyndan döredilen $\vec{D}$ süýşme wektoryň islendik üst boýunça doly akymy bu üstüň içindäki zarýadlaryň algebraik jemine deňdir:

$$\int_S D_n dS = \sum_{i=1}^{n} q_i, \qquad (1.11)$$

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

Kesgitli l uzynlykly we deňölçegli zarýadlanan göni geçirijiniň özünden a uzaklykda döredýän elektrik meýdanynyň güýjenmesi şu deňleme boýunça hasaplanylýar (*1.9-njy surat*):

$$E = \frac{\tau(\sin\theta_1 + \sin\theta_2)}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon a}, \qquad (1.12)$$



1.9-njy surat. Çyzyklaýyn dykyzlykly zarýadlanan inçe geçiriji

bu ýerde τ – zarýadyň çyzyklaýyn 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.

Hususy hallar:

• Geçirijiniň uzynlygy tükeniksizlige ymtylanda θ_1 we θ_2 $\pi/2$-ä ymtylýar (*1.9-njy surat*). Bu halda:

$$E = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon a}. \qquad (1.13)$$

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

$$E = \frac{\tau\sin\theta}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon a}. \qquad (1.14)$$

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

$$E = \frac{\tau\sin\theta_1}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon a} \text{ ýa-da } E = \frac{\tau\sin\theta_2}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon a}. \qquad (1.15)$$

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

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0 \varepsilon}. \qquad (1.16)$$

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

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon}. \qquad (1.17)$$

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

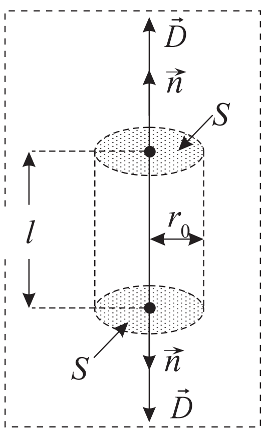
$$E = \frac{\rho R^3}{3\varepsilon_0 \varepsilon r^2}. \qquad (1.18)$$

• Ýapyk geçiriji halka boýunça elektrostatik meýdanyň $\vec{E}$ wektorynyň aýlanmasy (sirkulýasiýasy) nola deňdir:

$$\oint_L \vec{E}\, d\vec{l} = 0. \qquad (1.19)$$

Meseleleriň çözülişine mysallar

6-njy mesele. Tükeniksiz uzyn, $\tau = 20$ *mKl/m* uzynlyk birligindäki deňölçegli zarýadlaryň dykyzlygy bilen zarýadlanan göni geçirijiniň özünden 20 *sm* uzaklykda howada ýerleşen nokatda döredýän elektrik meýdanynyň güýjenmesini kesgitlemeli.



1.10-njy surat. Tükeniksiz uzyn, çyzyklaýyn dykyzlykly deňölçegli zarýadlanan inçe geçiriji

Çözülişi: Munuň ýaly zarýadlanan geçirijiniň döredýän elektrik meýdanyny hasaplamak üçin Ostrogradskiniň we Gaussyň teoremasyny ulanalyň. Onuň üçin geçirijiniň daşynda beýikligi l-e deň bolan r_0 radiusly silindr gurmaly (*1.10-njy surat*). Soňra bu silindriň hemme daşky üstünden geçýän elektrik meýdanyň $\vec{D}$ süýşme wektorynyň akymyny kesgitlemeli. Bu üstüň içinde ýerleşen zarýadlaryň algebraik jemini tapmaly. Soňra Ostrogradskiniň we Gaussyň teoremasyny ulanyp, ondan elektrik meýdanynyň güýjenmesini tapmaly. Suratdan görnüşi ýaly, silindriň iki esasy boýunça-da onuň üstlerine geçirilen $\vec{n}_1$ we $\vec{n}_2$ normallar bilen $\vec{D}$ wektoryň döredýän burçlary $\alpha = \pi / 2$-ä 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:

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

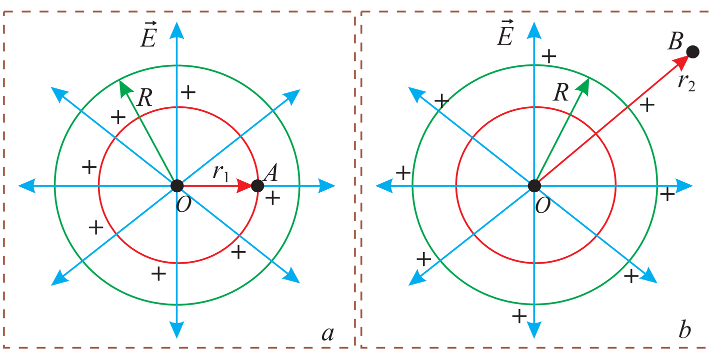
Meseläniň şerti boýunça $\sum q = \tau l$ bolany üçin:

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

bu ýerden $E = \tau(2\pi\varepsilon_0\varepsilon r_0)$. Berlen ululyklaryň san bahasyny ulanyp alarys: $E = 1{,}89 \cdot 10^6$ V/m.

7-nji mesele. Radiusy $R = 5\,sm$ bolan togalak ebonit $\rho =$ $= 10$ nKl/m^3 göwrümleýin dykyzlyk bilen deňölçegli zarýadlandyrylan. Togalak ebonitiň merkezinden $r_1 = 3$ sm we $r_2 = 10$ sm uzaklykdaky nokatlarda elektrik meýdanynyň 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 meýdanynyň güýjenmesini tapalyň (*1.11-nji a surat*).



1.11-nji surat. Göwrüm dykyzlykly deňölçegli zarýadlanan togalak

Meselede berlen togalak ebonitiň döredýän elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň güýç çyzyklary onuň merkezinden başlap, togalagyň radiusy boýunça ugrugandyr. Zarýadlaryň geçirijiniň üstünde deňagramlaşmak şerti boýunça zarýadlanan togalak ebonitiň elektrik meýdanynyň güýjenmesi onuň üstüne geçirilen $\vec{n}$ normalyň ugruna ugrukdyrylandyr. Ostrogradskiniň we Gaussyň teoremasy esasynda r_1 radiusly togalak üst boýunça elektrik süýşme wektorynyň akymyny tapmak üçin (1.11) aňlatmany ulanalyň.

Bu halda $\vec{D} = \varepsilon_0 \varepsilon \vec{E}$; $\sqrt{q_i} = (4/3)\rho\pi r_1^3$ 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 meýdanynyň güýjenmesiniň aňlatmasyny aşakdakyny alarys:

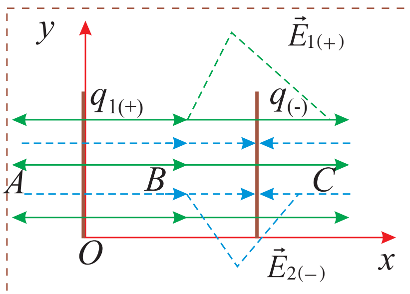
$$E_A = \frac{\rho r_1}{2\varepsilon_0 \varepsilon}. \tag{1}$$

Bu aňlatma bilen geçirilen hasaplama laýyklykda: $E_A = 6{,}2\ V/m$.

Indi $r_2 > R$ radiusly B togalak üstdäki (*1.11-nji b surat*) elektrik meýdanynyň güýjenmesini hasaplalyň. Bu halda (1.11) 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 aşakdakyny alarys:

$$E_B = \frac{\rho R^3}{3\varepsilon_0 \varepsilon r_2^2}. \tag{2}$$

Geçirilen hasaplama laýyklykda $E_B = 1{,}74\ V/m$.



1.12-nji surat. Birhilli zarýadlandyrylan özara parallel geçirijileriň elektrik meýdany

8-nji mesele. Meýdany S, birhilli paýlanan 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 (*1.12-nji surat*).

Ç ö z ü l i ş i: Zarýadlanan geçiriji plastinalaryň elektrik meýdanynyň güýjenmesi onuň üstüne geçirilen normal boýunça ugrukdyrylan. Başlangyjy birinji plastinada ýerleşen xOy koordinatalar ulgamyny alalyň (*1.12-nji surat*). Agzalan nokatlarda elektrik meýdanynyň güýjenmesini wektorlaýyn goşulyş (superpozisiýa) düzgünine laýyklykda aşakdaky ýaly ýazyp bolar:

$$\vec{E}_A = \vec{E}_1^{'} + \vec{E}_2^{'}; \quad \vec{E}_B = \vec{E}_1 + \vec{E}_2^{'}; \quad \vec{E}_C = \vec{E}_1 + \vec{E}_2^{'}, \tag{1}$$

bu ýerde $\vec{E}_1, \vec{E}_1^{'}$ we $\vec{E}_2, \vec{E}_2^{'}$ – degişlilikde birinji we ikinji zarýadlanan plastinalaryň sagyndaky we çepindäki elektrik meýdanynyň güýjenmeleri. Her bir plastinanyň iki tarapynda hem elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň ululyklary özara deňdirler:

$$|\vec{E}_1| = |\vec{E}_1^{'}| = \frac{\sigma_1}{2\varepsilon_0\varepsilon} = \frac{q_1}{2\varepsilon_0\varepsilon S}; \tag{2}$$

$$|\vec{E}_2| = |\vec{E}_2^{'}| = \frac{\sigma_1}{2\varepsilon_0\varepsilon} = \frac{q_2}{2\varepsilon_0\varepsilon S}.$$

Indi berlen A, B we C nokatlarda elektrik meýdanynyň güýjenmesini hasaplamak üçin (1) deňligi x koordinata oky boýunça proýektirlemeli:

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

$$E_B = E_1 - E_2^{'} = \frac{q_1 - q_2}{2\varepsilon_0\varepsilon S}; \tag{3}$$

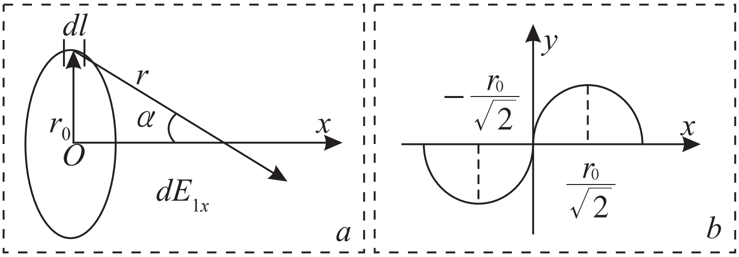
$$E_C = E_1 + E_2 = \frac{q_1 + q_2}{2\varepsilon_0\varepsilon S}.$$

9*-njy mesele. Radiusy r_0 bolan geçiriji halka τ çyzyk dykyzlykly birhilli 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 aşakdaky görnüşde aňladyp bolar (*1.13-nji surat*).

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

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 tekizlige görä proýeksiýalarynyň jemi nola deňdir.



1.13-nji surat. Çyzykly birhilli zarýadlandyrylan geçiriji halka we onuň elektrik meýdanynyň güýjenmesi

(1) aňlatma bilen kesgitlenilýän ululygyň x oka proýeksiýasy:

$$dE_{1x} = \frac{\tau dl}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\cos\alpha, \tag{2}$$

bu ýerde $\cos\alpha = x/r$, onda:

$$dE_{1x} = \frac{\tau dl}{4\pi\varepsilon_0 r^3}x. \tag{3}$$

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

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

1.13-nji suratda $E_x(x)$ 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, ýagny $dE_x(x)/dx = 0$ – birinji önümiň nola öwrülmegini ýazalyň:

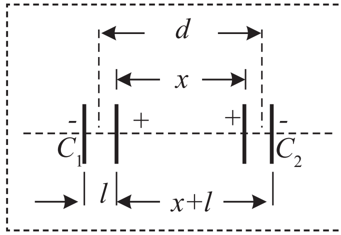
$$\frac{\tau r}{2\varepsilon_0}\frac{(r_0^2 + x^2)^{3/2} - x\left[\frac{3}{2}\right](r_0^2 + x^2)^{1/2} 2x}{(r_0^2 + x^2)} = 0,$$

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

$$r_0^2 + 2x^2 - 3x^2 = 0.$$

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

10*-njy mesele. Iki sany tekiz kondensatoryň her biriniň plastinalarynyň arasyndaky uzaklyk *l*-e deň. Kondensatorlaryň bir-birine bakyp duran plastinalary *d* aralykda ýerleşdirilen. Bu aralyk plastinalaryň ölçeglerinden we olaryň arasyndaky *l* uzaklykdan birnäçe esse uly ($d >> l$). Kondensatorlaryň zarýadlary degişlilikde q_1 we q_2 (*1.14-nji surat*). Kondensatorlaryň *F* özara täsir güýjüni tapmaly.



1.14-nji surat. Özara ýakynlaşdyrylan zarýadlanan iki kondensator

Ç ö z ü l i ş i: Goý, kondensatorlaryň položitel zarýadlanan plastinalary bir-birine ýakyn ýerleşen bolsun (*1.14-nji surat*). Birinji C_1 kondensatoryň ikinji C_2 kondensatoryň otrisatel zarýadlanan plastinasynyň ýerleşen ýerinde döredýän elektrik meýdanynyň güýjenmesi:

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

Meseläniň şertine görä ($d >> l$), onda

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

tapawudy matematiki derňewden belli bolan aňlatmadan peýdalanyp:

$$\Delta f(x) = f(x - \Delta x)' - f(x) \approx f'(x)\,\Delta x$$

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

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

Onda birinji kondensatordan *d* aralykda ýerleşýän ikinji kondensatora täsir edýän güýç aşakdaky aňlatma deň bolar:

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

Bu aňlatmany aşakdaky ýaly ýönekeýleşdirip bolar:

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

Diýmek, bu ýagdaýda kondensatorlar itekleşerler. Ýokardaky ýaly pikir ýöretmeleri kondensatorlaryň bir-birine tarap dürli atly zarýadlanan plastinalary arkaly gönükdirilen ýagdaýy üçin hem geçirmek bolar.

$$F \approx \frac{3q_1 q_2 l^2}{2\pi\varepsilon_0 d^4}.$$

Bu halda hem kondensatorlar şol bir güýç bilen bir-birine dartylýar.

Talyplaryň özbaşdak taýýarlyklaryny barlamak üçin ýumuşlar

1. Elektrik meýdanynyň güýç çyzyklary we olaryň suratda şekillendirilişi.
3. Elektrik meýdanynyň süýşme wektory.
4. Elektrik meýdanynyň wektorynyň akymy.
5. Ostrogradskiniň we Gaussyň teoremasy hem-de onuň elektrik meýdanynyň güýjenmesini hasaplamakda ulanylyşy.
6. Elektrik meýdanynyň wektorynyň kontur (halka) boýunça aýlanmasynyň fiziki manysy.

Özbaşdak çözmek üçin meseleler

1.2-nji gönükme

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

1.18. Tükeniksiz uzynlykly zarýadyň σ üst dykyzlygy bilen zarýadlanan wertikal ýerleşdirilen geçiriji tekizlikden onuň bilen biratly 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.

1.19. Özara bir-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 meýdanynyň güýjenmesini tapmaly.

1.20. Biri-birinden l daşlykdaky zarýadlaryň döredýän elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň iň uly (maksimal) bahasyny kesgitlemeli.

1.21. R radiusly togalak geçiriji merkezine çenli üýtgeýän göwrüm dykyzlygy položitel zarýad $\rho = \rho_0\left[1 - \frac{r}{R}\right]$ bilen zarýadlandyrylan. Bu ýerde ρ_0 hemişelik ululyk. Geçiriji togalagyň we onuň daşyndaky gurşawyň dielektrik syzyjylygyny bire deň hasaplap ($\varepsilon = 1$):

a) geçiriji togalagyň içinde we daşynda elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň r-e baglylygyny;

b) elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň iň uly bahasyny we oňa degişli r_m aralygy tapmaly.

1.22. Radiusy r bolan inçe sim halka q zarýad bilen zarýadlandyrylan:

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

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

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

a) geçiriji steržene geçirilen perpendikulýaryň üstünde;

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

Alnan aňlatmalary $r>>a$ şertde derňemeli.

1.3. ELEKTROSTATIK MEÝDANYNYŇ POTENSIALY

Esasy kesgitlemeler we aňlatmalar

• Biri-birinden r uzaklykda ýerleşen iki sany nokatlanç zarýadyň özaratäsir potensial energiýasy:

$$W_p = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{\varepsilon r}. \tag{1.20}$$

• Elektrik meýdanynyň berlen nokadynyň potensialy diýlip şol nokadyň W_p potensial energiýasynyň agzalan nokada getirilen birlik q_0 položitel zarýada bolan gatnaşygy bilen ölçenilýän ululyga düşünilýär:

$$\varphi = \frac{W_p}{q_0} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r}. \qquad (1.21)$$

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

$$\varphi = \sum_{i=1}^{N} \varphi_i. \qquad (1.22)$$

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

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon R}. \qquad (1.23)$$

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

$$A = \Delta W_p = q_0(\varphi_1 - \varphi_2) = q_0 U, \qquad (1.24)$$

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

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

$$E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d}. \qquad (1.25)$$

Birhilli däl elektrik meýdany üçin bu baglanyşyk:

$$\vec{E} = -\, grad\varphi. \qquad (1.26)$$

Elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň x, y, z koordinatalar oklaryna proýeksiýasy:

$$E_x = -\frac{d\varphi}{dx}; \quad E_y = -\frac{d\varphi}{dy}; \quad E_z = -\frac{d\varphi}{dz}. \qquad (1.27)$$

Elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň x, y, z koordinatalar ulgamynda wektor görnüşi:

$$\vec{E} = \vec{i}E_x + \vec{j}E_y + \vec{k}E_z, \qquad (1.28)$$

bu ýerde $\vec{i}, \vec{j}$ we $\vec{k}$ degişlilikde x, y, z koordinata oklarynyň birlik wektorlary. Onuň moduly aşakdaky aňlatmadan tapylýar:

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2}\,. \tag{1.29}$$

Üznüksiz paýlanan zarýadlaryň döredýän elektrik meýdanynyň potensialy:

a) τ çyzyk dykyzlykly zarýadlaryň elektrik meýdanynyň berlen nokadynda:

$$\varphi_1 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int_l \frac{\tau dl}{r}; \tag{1.30}$$

b) σ üst dykyzlykly zarýadlaryň elektrik meýdanynyň berlen nokadynda:

$$\varphi_s = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int_S \frac{\sigma dS}{r}; \tag{1.31}$$

ç) ρ göwrüm dykyzlykly zarýadlaryň elektrik meýdanynyň berlen nokadynda:

$$\varphi_v = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int_V \frac{\rho dV}{r} \tag{1.32}$$

görnüşlerde aňladylýar.

Meseleleriň çözülişine mysallar

11-nji mesele. Elektrik meýdanynyň potensialy $\varphi = a\,(xy - z^2)$ aňlatma bilen berlen. M (1, 2,–3) nokatda elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň $\vec{a} = \vec{i} + 3\vec{k}$ wektora bolan proýeksiýasyny tapmaly.

Ç ö z ü l i ş i: Elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň wektoryny (1.26) we (1.28) deňlikler boýunça tapalyň:

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

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

$$\vec{E} = -a(\vec{i}x + \vec{j}y - 2\vec{k}z). \tag{1}$$

Analitik geometriýadan belli bolşy ýaly, elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň wektorynyň $\vec{a}$ wektora bolan proýeksiýasyny aşakdaky deňlik boýunça tapyp bolar:

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

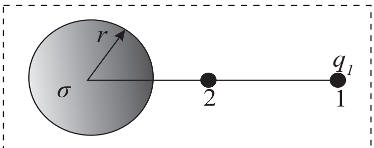
bu ýerde $a = |\vec{a}|$ – wektoryň moduly. Ýagny $a = \sqrt{a_x^2 + a_z^2}$. Meseläniň şertine görä $\vec{a} = \vec{i}a_x + \vec{k}a_z = \vec{i} + 3\vec{k}$. Onda ýokardaky deňlige görä:

$$a_x = 1;\ a_z = 3.$$

Şonuň üçin: $\quad a = \sqrt{1 + 3^3} = \sqrt{10}$. $\qquad$ (3)

(1) we (3) deňlikleri (2) deňlikde ornuna goýup alarys:

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



1.15-nji surat. Zarýadlaryň deňölçegli üst dykyzlygy bilen zarýadlanan şar

12-nji mesele. Zarýadlarynyň üst dykyzlygy $\sigma = 30\,mKl/m^2$ deňölçegli zarýadlanan, radiusy, $r = 20$ *sm* bolan geçiriji şaryň üstünden $l_1 = 1{,}4$ *m* uzaklykda $q = 2$ *mKl* zarýad ýerleşdirilen (*1.15-nji surat*). 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 meýdanynyň iki nokadynyň arasynda zarýad göçürilende edilen iş (1.24) deňlik bilen hasaplanylýar. Onuň üçin göçüriljek zarýadyň başlangyç we ahyrky nokatlarynyň potensiallarynyň aňlatmalaryny meseläniň şertine laýyk ýazyp bolar:

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

bu ýerde $q = \sigma \cdot 4\pi r^2$ – togalak geçirijiniň zarýady.

Togalak geçirijiniň döredýän elektrostatik meýdanynyň (1) we (2) nokatlarynyň arasynda q_1 zarýad göçürilende ýerine ýetirilýän işiň aňlatmasyny aşakdaky görnüşde ýazyp bolar:

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

$$= \frac{q_1\sigma r^2}{\varepsilon_0}\left[\frac{1}{l_1 + r} - \frac{1}{l_2}\right].$$

Meseläniň şertindäki ululyklardan peýdalanyp taparys:

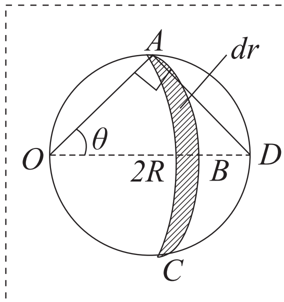
$$A = 0{,}51\ J.$$

13-nji mesele. Üst dykyzlygy σ bolan deňölçegli zarýadlanan R radiusly ýuka tegelek geçiriji gapagyň gyrasyndaky potensialy kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i: Meseläniň şertindäki geçiriji tegelek gapagyň üsti boýunça zarýad deňölçegli paýlanandygy üçin onuň elektrik meýdanynyň potensialy aşakdaky deňlige laýyk gelýär.

$$\varphi_s = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int_s \frac{\sigma dS}{r}. \tag{1}$$

Bu deňlikdäki integrirlemäni ýeňilleşdirmek üçin dS meýdan hökmünde r radiusly tegelek geçiriji gapagyň dr galyňlykdaky bölegini alalyň (*1.16-njy surat*). Onuň meýdany $dS = ACdr$-e deň, bu ýerde $AC = AB + BC = 2AB,$ sebäbi $AB = BC$. AOB üçburçlukdan $AB = r$, $AC = 2r$. Şunlukda AOD gönüburçly üçburçlukdyr. Ýagny $OAD = \pi/2$. Bu üçburçlukdan:



1.16-njy surat. Zarýadlanan tegelek geçiriji diskiň *dr* bölegi

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

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

$$dS = 2r\,\theta\, R\cos\theta\,(-\,2R\sin\theta\,\mathrm{d}\,\theta) = -\,4\,\theta\, R\sin\theta\, d\theta. \tag{2}$$

Bu (2) aňlatma boýunça dS-iň bahasyny (1) deňlemede ornuna goýup alarys:

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

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

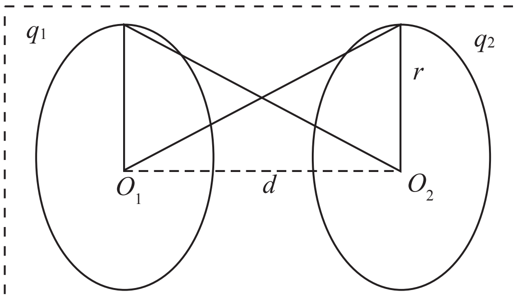
$$\int\theta\sin\theta d\theta = -\,\theta\cos\theta + \int\theta\cos\theta d\theta = -\,\theta\cos\theta + \sin\theta$$

we integralyň çäklerini alarys:

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

Şeýlelikde, gutarnykly aňlatmany alarys:

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



1.17-nji surat. Zarýadlandyrylan geçiriji halkalar

14-nji mesele. Radiusy $r = 5sm$ bolan iki sany geçiriji halka wakuumda umumy (O_1 O_2) okda ýerleşdirilen. Olaryň merkezleriniň arasyndaky uzaklyk 12 *sm*-e deň. Birinji halkada $q_1 = 82$ *mkKl*, ikinjisinde $q_2 = 60$ *mkKl* zarýad deňölçegli paýlanan. Birinji halkanyň merkezinden ikinji halkanyň merkezine $q = 3$ *nKl* zarýady süýşürmek üçin ýerine ýetirilmeli işi kesgitlemeli (*1.17-nji surat*).

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

$$q'_1 = \frac{q_1}{n} \text{ we } q'_2 = \frac{q_2}{n}.$$

Onda 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:

$$\varphi_{1(o2)} = n\varphi' = \frac{q'_1}{4\pi\varepsilon_0 r} = \frac{q_1}{4\pi\varepsilon_0 r}.$$

Şeýle usul bilen birinji geçiriji halkanyň O_1 merkezinde q_2 zarýadyň döredýän $\varphi_{1(o2)}$ potensialyny tapyp bolar:

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

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

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

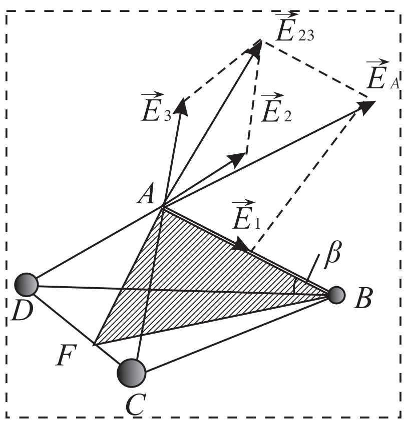
$$\varphi_{o2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{q_2}{r} + \frac{q_1}{\sqrt{d^2 + r^2}}\right].$$

Şeýlelikde, q zarýady O_1 nokatdan O_2 nokada süýşürmek üçin edilen işi (1.24) 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 alarys: $A = 7{,}3 \cdot 10^5\ J$.

15-nji mesele. Radiuslary r, $2r$, $3r$ we zarýadlary $q_1 = 3q$, $q_2 = 2q$, $q_3 = -3q$ bolan geçiriji şarjagazlar $R >> r$ gapyrgaly piramidanyň dörtburçly esasynyň B, D we C depelerinde ýerleşdirilen. Dörtburçlugyň dördünji A depesinde elektrik meýdanynyň güýjenmesini we potensialyny hem-de depelerdäki şarjagazlaryň merkezindäki potensialy kesgitlemeli.



1.18-nji surat. Depeleri zarýadly piramidanyň esasy

Ç ö z ü l i ş i: Geçiriji şarjagazlar piramidanyň esasynyň depelerinde ýerleşdirilen diýip kabul edeliň (*1.18-nji surat*). 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 $\vec{E}_B = \vec{E}_1$, $\vec{E}_D = \vec{E}_2$, $\vec{E}_C = \vec{E}_3$ bilen belgiläliň. Meseläniň şertine laýyklykda $\vec{E}_1$ we $\vec{E}_3$ wektorlaryň ululyklary deňdirler. Sebäbi elektrik meýdany kesgitlenýän A nokat ol meýdany döredýän zarýadlardan deň daşlykda ýerleşendirler. Elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň goşulma düzgünine görä:

$$\vec{E}_A = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3, \tag{1}$$

bu ýerde $\vec{E}_1$ we $\vec{E}_3$ – wektorlaryň arasyndaky burç 60º-a deňdir. Onda agzalan wektorlaryň deňtäsiredijisi piramidanyň esasynyň diagonalyna deňdir:

$$\vec{E}_{13} = 2\vec{E}_1 \cos 30^{\circ}. \tag{2}$$

Indi $\vec{E}_A$ wektoryň modulyny tapmak üçin $\vec{E}_{13}$ we $\vec{E}_2$ wektorlaryň modullaryny goşmaly. Bu iki wektor ABF tekizlikde kosinuslar teoremasy (AF deňtaraply üçburçlugyň beýikligi) boýunça ýatýarlar:

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

1.18-nji suratdan görnüşi ýaly, $\beta = \angle ABD$. ABF üçburçluk deňýanly bolany üçin, $AF = BF$ surat boýunça:

$$\cos\beta = 0{,}5 \cos 30^{\circ}. \tag{4}$$

Bu (2) we (4) deňlikleri göz öňünde tutup, birnäçe özgertmelerden soňra aşakdaky aňlatmany alyp bolar:

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

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

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

Bu aňlatmalary (5) deňlikde 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:

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

1.18-nji surata laýyklykda $\varphi_1 = \varphi_3$ we olaryň ululyklary:

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

Bu (8) we (9) deňliklerden:

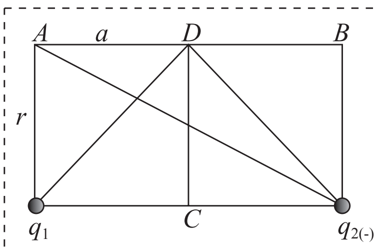
$$\varphi_A = \frac{1}{\pi\varepsilon_0}\frac{q}{R}. \tag{10}$$

Geçiriji şarjagazlaryň merkezindäki meýdanynyň potensialy şar üstüniň potensialyna deňdir. Şar üstüniň potensialy bolsa hususy meýdanyň potensialynyň we beýleki iki şarjagazlaryň potensiallarynyň jemine deňdir. Onda $R>>r$ şerti göz öňünde tutup alarys:

$$\varphi_A = \varphi_D = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{3q}{r} + \frac{3q}{R} - \frac{2q}{R}\right] = \frac{3q}{4\pi\varepsilon_0 r}, \tag{11}$$

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

16-njy mesele. Ululygy $q = 1\ nKl$ bolan zarýady A nokatdan B nokada we C nokatdan D nokada süýşürmek üçin edilýän işi kesgitlemeli (*1.19-njy surat*). Suratdaky ululyklar: $r = 6\ sm$; $q_1 = 3{,}33\ nKl$; $q_2 = -3{,}33\ nKl$; $a = 8\ sm$.



1.19-njy surat. Zarýadlaryň elektrik meýdany

Çözülişi: Zarýady A nokatdan B nokada süýşürmek üçin edilýän iş (1.24) deňlik boýunça kesgitlenilýär:

$$A_{AB} = q(\varphi_A - \varphi_B), \tag{1}$$

bu ýerde $\varphi_A = \varphi_{A1} - \varphi_{A2}$; $\varphi_B = \varphi_{B1} - \varphi_{B2}$; $\varphi_B = \varphi_{B1} - \varphi_{B2}$ suratdaky A we B nokatlaryň potensialy. Olar q_1 we q_2 zarýadlaryň potensiallarynyň algebraik jemine deňdir hem-de degişlilikde 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 $r_1 = r$; $r_2 = \sqrt{r^2 + a^2}$.

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

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

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, $A_{AB} = 8 \cdot 10^{-7}$ J bolýandygyny kesgitläp bolar.

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

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

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) deňlikde ornuna goýup taparys:

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

ýa-da

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

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

17-nji mesele. Elektron 10 *sm* radiusly zarýadlanan sferanyň merkezinden 12 *sm* we 15 *sm* uzaklykda ýerleşen nokatlaryň arasynda *r* radiusly töwerek boýunça hereket edende onuň tizligi $2 \cdot 10^5$ *m/s*-den $2 \cdot 10^6$ *m/s*-e çenli üýtgeýär. Sferanyň zarýadynyň üst dykyzlygyny kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i : Elektrik meýdanynda elektron hereket edende meýdanyň ýerine ýetiren işi elektronyň kinetik energiýasynyň üýtgemegine deňdir:

$$A = \Delta W = W_2 - W_1 = \frac{m}{2}(\upsilon_2^2 - \upsilon_1^2), \qquad (1)$$

bu ýerde m – elektronyň massasy; υ_1 we υ_2 – degişlikde elektronyň hereketiniň başlangyç we ahyrky pursadyndaky tizlikleri. Elektrik meýdany tarapyndan elektrona täsir edýän güýç:

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

Bu ýalňyz zarýadyň özünden r daşlykdaky nokatda döredýän elektrik meýdanynyň güýjenmesi:

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

Bu halda elektrik meýdanynyň ýerine ýetiren işini aşakdaky görnüşde aňladyp bolar:

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

Onda (2) we (3) deňliklerden peýdalanyp, (4) deňlemedäki $\cos\alpha=1$ we sferanyň zarýadynyň $q = 4\pi r^2 \sigma$ deňdigini göz öňünde tutup ýazyp bolar:

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

bu ýerde σ – zarýadlaryň üst dykyzlygy; $|e|$ – elektronyň zarýadynyň moduly. Soňra (1) we (5) deňlikleriň sag taraplaryny deňläp alarys:

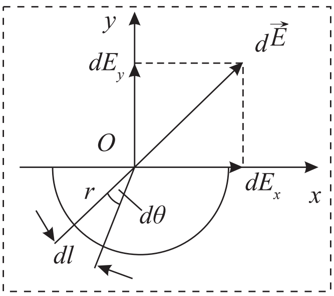
$$\frac{m(\upsilon_2^2 - \upsilon_1^2)}{2} = \frac{\sigma R^2 |e| (r_2 - r_1)}{\varepsilon_0 r_1 r_2}.$$

Bu ýerden zarýadlaryň üst dykyzlygyny meseläniň şertine laýyk hasaplamaga mümkünçilik berýän aşakdaky aňlatmany alarys:

$$\sigma = \frac{\varepsilon_0 r_1 r_2 m(\upsilon_2^2 - \upsilon_1^2)}{2R^2 |e|(r_2 - r_1)}. \tag{6}$$

Hasaplamalara görä: $\sigma = 5{,}96\ nKl/m^2$.

18-nji mesele. Radiusy R bolan töweregiň ýaýy (dugasy) boýunça egreldilen inçe geçiriji $\tau = 10\ nKl/m$ uzynlyk birligindäki zarýadlar bilen deňölçegli zarýadlandyrylan. Geçirijiniň l uzynlygy töweregiň 1/3 uzynlygyna barabardyr we 15 *sm*-e deňdir. Bu geçirijiniň ýaýyň egriliginiň merkezi bilen gabat gelýän O nokatda döredýän elektrik meýdanynyň güýjenmesini we potensialyny tapmaly.



1.20-nji surat. Çyzykly deňölçegli zarýadlanan ýaý şekilli geçirijiniň elektrik meýdany

Ç ö z ü l i ş i : Koordinatlar ulgamynyň y okuny ýaýyň uçlaryna simmetrik we onuň merkezi bilen gabat geler ýaly çyzalyň (*1.20-nji surat*). Geçirijiniň dl bölegini alalyň we ondaky $dQ = \tau dl$ zarýady nokatlanç zarýad hökmünde kabul edip, O nokatda bu zarýadyň döredýän elektrik meýdanynyň güýjenmesini tapalyň:

$$d\vec{E} = \frac{\tau\, dl\, \vec{r}}{4\pi\varepsilon_0 r^2\, r}, \tag{1}$$

bu ýerde $\vec{r}$ – ýaý şekilli geçirijiniň dl böleginden güýjenmesi kesgitlenilýän nokada geçirilen radius wektor. $d\vec{E}$ wektory x we y koordinatalar oky boýunça dE_x we dE_y proýeksiýalary bilen aşakdaky görnüşde aňladyp bolar:

$$d\vec{E} = \vec{i}\, dE_x + \vec{j} dE_y,$$

bu ýerde $\vec{i}$ we $\vec{j}$ – birlik wektorlar. Bu aňlatmany l boýunça integrirläp alarys:

$$\vec{E} = \int_l dE = \vec{i}\int_l dE_x + \vec{j}\int_l dE_y. \tag{2}$$

Ýaý boýunça zarýadlaryň simmetrik paýlanandygy sebäpli x ok boýunça elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň proýeksiýasy $\int\limits_l dE_x$ nola deň. Onda:

$$\vec{E} = \vec{j}\int\limits_l dE_y, \tag{3}$$

bu ýerde

$$dE_y = dE\cos\theta = \frac{\tau dl}{4\pi\ \varepsilon_0 r^2}\cos\theta. \tag{4}$$

Şerte görä: $r = R$ we $dl = Rd\theta$ bolýandygy 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) deňlikde ornuna goýup, Oy oka ýaýyň simmetrik ýerleşendigini göz öňünde tutup we integralyň çäklerini 0-dan $\pi/3$-e deň diýip kabul edip alarys:

$$\vec{E} = \vec{j}\frac{2\tau}{4\pi\varepsilon_0 R}\int\limits_0^{\pi/3}\cos\theta\ d\theta = \vec{j}\frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0 R}\left|\sin\theta\right|_0^{\pi/3}.$$

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

$$\vec{E} = \vec{j}\frac{\tau}{6\varepsilon_0 l}\sqrt{3}\ . \tag{5}$$

Bu aňlatmadan görnüşi ýaly $\vec{E}$ wektoryň ugry Oy okuň položitel ugry bilen gabat gelýär.

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

$$d\varphi = \frac{\tau\ dl}{4\pi\varepsilon_0 r}. \tag{6}$$

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

$$\varphi = \frac{\tau}{4\pi\varepsilon_0 R_0}\int\limits_0^l dl = \frac{rl}{4\pi\varepsilon_0 R_0};\ l = \frac{2\pi R}{3}$$

we deňlemäni hasaba alyp:

$$\varphi = \frac{\tau}{6\varepsilon_0} \tag{7}$$

potensialy gutarnykly hasaplap bolar. Şeýlelikde, meseläniň şerti esasynda φ =188 V bahany alarys.

19-njy mesele. 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: a) Zarýadlar ulgamynyň potensial energiýasy bu ulgama girýän zarýadlaryň jübüt-jübütden özara täsir energiýasynyň jemine deňdir. Ýagny:

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

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 $q_1 = q_2 = q_3 = q_4$-e deň bolsa, olaryň energiýalary:

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

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

bolar. Soňky aňlatmalary (1) deňlikde ornuna goýup alarys:

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

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

b) zarýadlar özara iki hilli 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) deňlikde ornuna goýup, käbir özgertmelerden soň alarys:

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

2) $q_1 = q_2 = -q$.

Bu halda:

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

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

Soňky aňlatmalary (1) deňlikde ornuna goýup, özgertmeden soňra ulgamyň potensial energiýany kesgitlemäge mümkinçilik berýän aňlatmasyny alarys:

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

20-nji mesele. Her biriniň 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 (1.23) deňlige laýyklykda:

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

bu ýerde R – uly damjanyň radiusy; Q – uly damjanyň zarýady. Kiçi damja üstüniň potensialyny aşakdaky deňlik bilen aňladalyň:

$$\varphi_1 = \frac{q}{4\pi\,\varepsilon_0\varepsilon r}, \qquad (2)$$

bu ýerde q – kiçi damjanyň zarýady; r – onuň radiusy. Uly damjanyň zarýady bolsa:

$$Q = Nq. \qquad (3)$$

Ýokardaky (1), (3) deňliklerden:

$$\frac{\varphi}{\varphi_1} = N\frac{r}{R}. \qquad (4)$$

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) deňlikde ornuna goýup taparys:

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

21*-nji mesele. Radiuslary R_0, $2R_0$ we $3R_0$ bolan üç sany bir-birine geýdirilen (konsentrik) geçiriji sferalaryň degişlilikde Q, $2Q$, $-3Q$ zarýadlary bar. Her bir geçiriji sferanyň potensialyny kesgitlemeli we olar üçin, $\varphi = f(R)$ baglylygyň 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 meýdanynyň potensilynyň bahasy:

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

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

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

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

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

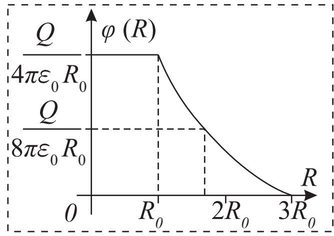
kanun boýunça üýtgär.

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

Alnan netijeleriň esasynda $\varphi=f(R)$ baglylygyň grafigi 1.21-nji suratdaky ýaly bolar.



1.21-nji surat. Geçiriji sferanyň potensiallarynyň radiusyna baglylygy

22*-nji mesele. Iki sany biratly q zarýady bolan uly bolmadyk m massaly geçiriji şar uzynlygy $2l$ bolan dielektrik sapagy bilen özara berkidilen. Eger birikdiriji sapagyň merkezi başlangyç pursadyndaky ýerleşen halyna perpendikulýar ugurda hemişelik tizlik bilen hereket edip başlasa, geçiriji şarlaryň iň ýakyn özara golaýlaşma aralygyny kesgitlemeli.

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

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

Şarlar özara golaýlaşanlarynda ulgamyň doly energiýasy:

$$W_2 = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 d}. \qquad (2)$$

Energiýanyň saklanmak kanunyna görä: $W_1 = W_2$, onda (1) we (2) aňlatmalaryň esasynda:

$$m\upsilon^2 + \frac{q^2}{8\pi\varepsilon_0 l} = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 d}. \qquad (3)$$

Bu deňlemeden bolsa aşakdaky aňlatma gelip çykýar:

$$d = \frac{2lq^2}{q^2 + 8\pi\varepsilon_0 m\upsilon^2 l}. \qquad (4)$$

Talyplaryň özbaşdak taýýarlyklaryny barlamak üçin soraglar we ýumuşlar

1. Elektrostatik meýdanynyň potensial meýdandygynyň subudy.
2. Iki nokatlanç zarýadyň potensial energiýasynyň deňlemesini getirip çykarmaly.

3. Potensiallaryň tapawudy bilen elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň baglanyşygyny kepillendirmeli.
4. Ekwipotensial üstleriň nirede döreýändigini 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 aňlatmasyny bilmeli.

Özbaşdak çözmek üçin meseleler

1.3-nji gönükme

1.24. Deňýanly gönüburçly üçburçlugyň esasynyň depelerinde iki sany özara deň $q_1 = q_2 = 2{,}0 \cdot 10^{-7}$ *Kl* zarýadlar ýerleşdirilen. Zarýadlaryň arasyndaky uzaklyk 0,60 *m*, üçburçlugyň göni burçunyň depesinde we beýikliginiň esasy bilen kesişýän nokadynda elektrik meýdanynyň güýjenmesini, potensialyny: a) zarýadlar biratly; b) dürli atly bolan halatlary üçin kesgitlemeli.

1.25. 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 kesgitlemeli. Eger $q = 0.30 \cdot 10^{-7}$ *Kl* zarýad agzalan nokatlaryň arasynda süýşürilende elektrik meýdany tarapyndan nähili iş ýerine ýetiriler?

1.26. α bölejik $1{,}6 \cdot 10^{7}$ *m/s* tizlik bilen hereketsiz duran uran ýadrosynyň nähili aralygyna çenli golaýlaşyp biljekdigini kesgitlemeli. Zarýadlary nokatlanç hasaplamaly. Protonyň we neýtronyň massasyny deň diýip kabul etmeli.

1.27. 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 $8{,}2 \cdot 10^{-7}$ *Kl*, ikinji halkada bolsa $6{,}0 \cdot 10^{-7}$ *Kl* zarýadlar deňölçegli paýlanan. Ululygy $3{,}0 \cdot 10^{-7}$ *Kl* zarýady birinji halkanyň merkezinden ikinji halkanyň merkezine süýşürmek üçin nähili iş etmeli? Halkalar wakuumda ýerleşdirilen.

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

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

1.30. Elektrik meýdany uzynlyk birligindäki zarýadlar $\tau = 0{,}1\ mkKl/m$ bolan geçiriji steržen arkaly döredilýär. Onuň uçlaryndan geçiriji sterženiň uzynlygyna deň bolan aralykdaky nokatda elektrik meýdanynyň potensialyny kesgitlemeli.

1.31. Deňtaraply üçburçlugyň 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.

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

1.33. Potensialy $\varphi = 20\ V$ bolan 100 sany simap damjasy birleşip, bir damja emele getirýär. Emele gelen damjanyň potensialyny hasaplamaly?

1.34. 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.

1.35. Deňölçegli q zarýad bilen zarýadlanan halkanyň merkezinden onuň oky boýunça h aralykda elektrik meýdanynyň potensialyny tapmaly.

1.36. Potensialy: a) $\varphi = a\,(x^2 - y^2)$; b) $\varphi = axy$ kanun boýunça x -e we y -e bagly bolan elektrik meýdanynyň güýjenmesini kesgitlemeli. Bu ýerde a hemişelik ululyk. Bu meýdany $\vec{E}$ wektor çyzyklar bilen xy tekizlikde, takmynan, şekillendirmeli.

1.37. Güýjenmesi 10 V/m bolan birhilli elektrik meýdanyny biri-birinden 2 sm aralykda ýerleşen howada zarýadlanan parallel geçiriji plastinalary döredýärler. Geçiriji plastinalaryň arasyndaky potensiallaryň tapawudy nähili? Olaryň arasynda 0,5 sm galyňlykly bölek metal geçiriji ýerleşdirilende potensiallaryň tapawudy nähili bolar?

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

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

1.40. Zarýadlanan geçiriji şarlaryň içindäki elektrik meýdanynyň 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.

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

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

1.43. 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 meýdanynyň potensialyny tapmaly.

1.4. ÝALŇYZ GEÇIRIJINIŇ ELEKTRIK SYGYMY. KONDENSATORLAR

Esasy kesgitlemeler we aňlatmalar

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

$$C = \frac{q}{\varphi}. \qquad (1.33)$$

• 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 deňdir:

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2}. \tag{1.34}$$

• Tekiz kondensatoryň sygymy:

$$C = \frac{\varepsilon_0 S}{d}, \tag{1.35}$$

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

Geçiriji şaryň elektrik sygymy:

$$C = 4\pi\varepsilon_0 r. \tag{1.36}$$

Kondensatorlaryň elektrik zynjyryna birikdirilişi:

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

$$U = \sum_{i=1}^{N} U_i. \tag{1.37}$$

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

$$q_1 = q_2 = \cdots = q_N = q_0. \tag{1.38}$$

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

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^{N} \frac{1}{C_i}. \tag{1.39}$$

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

$$q_o = \sum_{i=1}^{N} q_i. \tag{1.40}$$

Bu halda her bir kondensatoryň plastinalarynyň arasyndaky naprýaženiýe özara deňdirler:

$$U_1 = U_2 = U_3 = \cdots = U_N = U_0. \tag{1.41}$$

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

$$C_0 = \sum_{i=1}^{N} C_i. \tag{1.42}$$

Meseleleriň çözülişine mysallar

23-nji mesele. Radiuslary. R_1 we R_2, potensiallary φ_1 we φ_2 bolan 2 sany zarýadlanan geçiriji şar berlen. Bu şarlar sim bilen özara birikdirilenden soňra olaryň potensialyny we birinden beýlekisine geçen zarýadyň mukdaryny kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i : Zarýadlanan geçiriji şarlaryň elektrik sygymlary (1.36) deňlige laýyklykda kesgitlenilýär:

$$C_1 = 4\pi\varepsilon_0 R_1; \qquad C_2 = 4\pi\varepsilon_0 R_2. \tag{1}$$

Geçiriji şarlar sim bilen birikdirilmänkä olarýň zarýadlary degişlilikde aňladylýar.

$$q_1 = \mathrm{C}_1\varphi_1 = 4\pi\varepsilon_0 R_1\varphi_1; \quad q_2 = \mathrm{C}_2\varphi_2 = 4\pi\varepsilon_0 R_2\varphi_2. \tag{2}$$

Togalak geçirijiler özara birikdirilmänkä olardaky umumy zarýadyň ululygy:

$$q_1 + q_2 = \mathrm{C}_1\varphi_1 + \mathrm{C}_2\varphi_2 = 4\pi\varepsilon_0(R_1\varphi_1 + R_2\varphi_2). \tag{3}$$

Geçirijiler özara birikdirilenden soňra, olaryň arasynda zarýadlaryň paýlanyşy bolup geçer. Potensialy uly bolan geçiriji şardan beýlekisine zarýad geçer we netijede olaryň potensiallary deňleşer. Birikdirilenden soň (2) we (3) aňlatmalary aşakdaky görnüşde ýazyp bolar.

$$q'_1 = 4\pi\varepsilon_0 R_1\varphi; \quad q'_2 = 4\pi\varepsilon_0 R_2\varphi;$$

$$q'_1 + q'_2 = 4\pi\varepsilon_0\varphi\,(R_1 + R_2). \tag{4}$$

Zarýadlaryň saklanmak kanunyna laýyklykda özbaşdak geçiriji şarlardaky zarýadlaryň jemi olaryň özara birikdirilenden soňky zarýadlarynyň jemine deňdir.

$$4\pi\varepsilon_0\,(R_1\varphi_1 + R_2\varphi_2)_1 = 4\pi\varepsilon_0\varphi\,(R_1 + R_2), \tag{5}$$

bu ýerde R_1, R_2 – geçiriji şarlaryň radiuslary, φ – özara birikdirilenden soňra geçiriji şarlaryň potensialy. (5) deňlikden netijeleýji potensialy aňladyp bolar:

$$\varphi = \frac{R_1\varphi_1 + R_2\varphi_2}{R_1 + R_2}. \quad (6)$$

Bu geçiriji şarlaryň birinden beýlekisine geçen Δq zarýadynyň mukdaryny aşakdaky görnüşde aňladylýar:

$$\Delta q = q_1 - q'_1 = 4\pi\varepsilon_0 R_1 (\varphi_1 - \varphi_2).$$

24-nji mesele. 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 halatynda onuň sygymyny kesgitlemeli.

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

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

Kondensatoryň plastinalarynyň arasyndaky potensiallaryň tapawudy elektrik meýdanynyň güýjenmesi bilen baglanyşykdadyr:

$$dU = E \cdot dr. \quad (2)$$

(1) aňlatmany (2) aňlatmada ornuna goýup we ony a hem-de b çäkde integrirläp taparys:

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

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

Şeýlelikde, elektrik sygymynyň kesgitlemesine laýyklykda, sferik kondensatoryň sygymy:

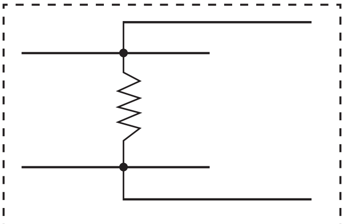
a) $a<b$ şertde

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

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

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

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



1.22-nji surat. Dielektrik puržin bilen özara birikdirilen kondensator

25*-nji mesele. Tekiz kondensatoryň plastinalary özara dielektrikden ýasalan puržin bilen birikdirilipdir (*1.22-nji surat*). Başda kondensatorlaryň arasyndaky uzaklyk d_0, kondensator zarýadlandyrylandan soňra onuň plastinalarynyň aralygy $d_1 = \frac{d_0}{2}$ ölçege çenli kiçelýär. Eger kondensatora öňki ýagdaýda seredilende zarýadlandyrylmadyk kondensator parallel birikdirilse, onda onuň plastinalarynyň arasy nähili bolar?

Çözülişi: 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:

$$F = k(d_0 - d), \quad (1)$$

bu ýerde k – puržiniň maýyşgaklyk koeffisiýenti.

Bu güýç kondensatoryň plastinalarynyň elektrostatik çekişme güýji bilen deňagramlaşýar:

$$F = q\frac{E}{2}, \quad (2)$$

bu ýerde q we E – degişlilikde kondensatoryň plastinasynyň zarýady we onuň elektrostatik 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:

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

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

$$k(d_0 - d_1) = q\frac{q_0}{2dC}. \qquad (5)$$

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 uzaklyk aşakdaky gatnaşykdan tapylýar:

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

Munuň üçin (5) we (6) 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 $d_1 = d_0/2$-ni hasaba alyp, soňky aňlatmadan gözlenilýän ululygy taparys:

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

Talyplaryň özbaşdak taýýarlyklaryny barlamak üçin soraglar we ýumuşlar

1. Geçirijiniň elektrik sygymy diýlip 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 sygymynyň Halkara we Gauss ulgamlaryndaky ölçeg birlikleri.
6. Kondensatorlaryň yzygider we parallel birikdirilmeginden emele gelen toplumyň umumy sygymynyň aňlatmasyny getirip çykarmaly.

Özbaşdak çözmek üçin meseleler

1.4-nji gönükme

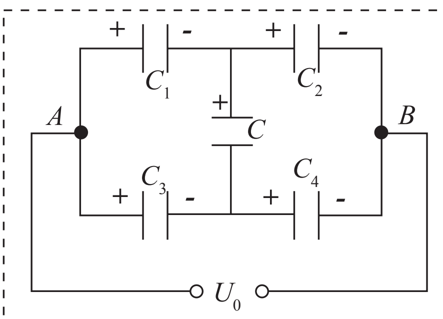
1.44. Tekiz kondensator üçin uzynlygy 157 *sm*, ini 90,0 *mm* bolan ýuka alýumin plastina we 0,1 *mm* galyňlykda parafin çaýylan kagyz ulanyldy. Bu kondensatoryň sygymyny kesgitlemeli.

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

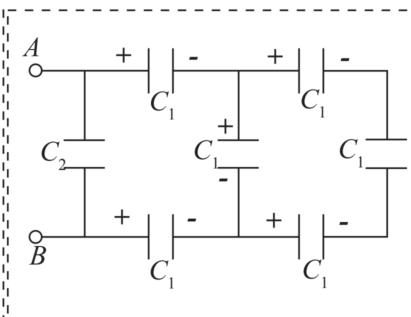
1.46. Kondensatorlar toplumy U_0 elektrik naprýaženiýesine birikdirilende (*1.23-nji surat*), ortaky *C* kondensatoryň zarýady nola deň boldy. Eger $C_2 = 2C_1$ we $C_3 = 3C_1$-e deň bolsa C_4 kondensatoryň elektrik sygymyny kesgitlemeli.

1.47. Plastinalarynyň aralygy 5 *sm* bolan tekiz howa kondensatory 200 *V* naprýaženiýä çenli zarýadlandyrylan we soňra tok çeşmesinden ýazdyrylan. Eger onuň plastinalary biri-birinden 10 *sm*-e çenli daşlaşdyrylsa kondensatordaky naprýaženiýe nähili bolar?

1.48. Çyzgynyň *A* we *B* nokatlarynyň arasynda C_1 = 2 *mkF* we C_2 = 1 *mkF* bolan kondensatorlardan 1.24-nji suratdaky ýaly toplum döredilen. Toplumyň sygymyny kesgitlemeli.

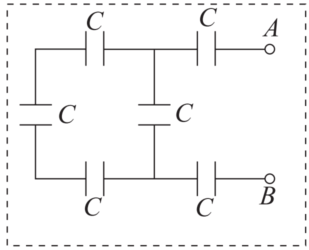


1.23-nji surat. Kondensatorlaryň yzygider we parallel birikdirilişi



1.24-nji surat. Kondensatorlaryň yzygider we parallel birikdirilişi

1.49. Elektrik sygymlary C = 11*mkF* bolan kondensatorlar toplumynyň elektrik sygymyny kesgitlemeli (*1.25-nji surat*).



1.25-nji surat. Kondensatorlar toplumy

1.50. Radiusy 2 *sm* bolan geçiriji şar 30 *V* potensiala çenli zarýadlandyrylan we ol elektrik sygymy C = 3 *pF*, zarýady $q = 6 \cdot 10^{-10}$ *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 merkezinde ýerleşdirilse onuň zarýadlary nähili bolar?

1.51. 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 $v_0 = 10^3 m/s$ başlangyç tizlikli elektronlary bölüp çykarýar. Bu ýagdaý başlanandan soňra näçe wagtdan soňra kondensatoryň zarýadynyň köpelmegi kesiler?

1.52. 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.

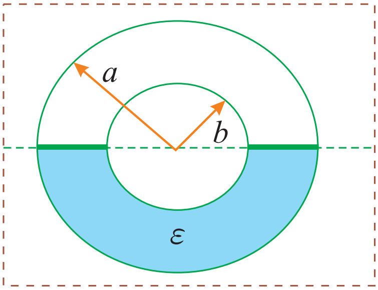
1.53. Plastinalarynyň arasy d_1 we d_2 galyňlykly we degişlilikde ε_1 we ε_2 dielektrik syzyjylykly iki gat dielektrik bilen doldurylan. Bu tekiz kondensatoryň: a) elektrik sygymyny; b) kondensatoryň naprýaženiýesi U-a deň bolan halatynda we kondensatoryň elektrik meýdanynyň E güýjenmesiniň dielektrikleriň birinji gatlagyndan ikinji gatlagyna ugrugan şertinde olaryň araçägindäki zarýadlaryň τ' çyzyk dykyzlygyny kesgitlemeli. Kondensatoryň plastinalarynyň meýdany S.

1.54. 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.

1.55. Degişlilikde içki we daşky radiuslary a we b bolan sferik kondensator berlen. Bu kondensatoryň plastinalarynyň arasy ýarysyna



1.26-njy surat. Ýarysyna çenli suwuk dielektrige batyrylan sferik kondensator

çenli ε dielektrik syzyjylykly suwuk dielektrige batyrylan (*1.26-njy surat*). Kondensatoryň sygymyny kesgitlemeli.

1.56. 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.

1.5. ELEKTRIK DIPOLY

Esasy kesgitlemeler we aňlatmalar

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

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

$\vec{E}$ güýjenmeli elektrik meýdanynda elektrik dipola $\vec{M} = \vec{p} \cdot \vec{E}$ mehaniki moment täsir edýär. Bu momentiň ululygy:

$$M = p\,E\,\sin\alpha, \tag{1.43}$$

bu ýerde α – $\vec{p}$ we $\vec{E}$ wektorlaryň arasyndaky burç.

Eger elektrik dipoly birhilli däl daşky elektrik meýdanynda ýerleşdirilse, oňa mehaniki momentden başga-da $\vec{F}$ güýç täsir edýär. Koordinatalaryň x oka görä simmetriýasy bolan elektrik meýdanynda bu güýç aşakdaky görnüşde aňladylýar:

$$F_x = p\left(\frac{\partial E}{\partial x}\right)\cos\alpha, \tag{1.44}$$

bu ýerde $\frac{\partial E}{\partial x}$ – elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň x oka görä hususy önümi bolup, ol meýdanyň birhilli däldigininiň derejesini häsiýetlendirýär. Eger $\alpha > \frac{\pi}{2}$ 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

26-njy mesele. Elektrik momentleri p_1 we p_2 bolan iki nokatlanç elektrik dipolyň özara täsir güýjüni kesgitlemeli. Dipollaryň arasyndaky uzynlyk l-e deň. $\vec{p}_1$ we $\vec{p}_2$ wektorlar dipollary birleşdirýän göni boýunça ugrugan.

Ç ö z ü l i ş i : Meseläniň şertine görä $\vec{p}_1$ we $\vec{p}_2$ wektorlar bir-birine parallelldirler. Elektrik momenti p_2 bolan dipolyň elektrik meýdanynyň güýjenmesi:

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{2p_2}{l^3} \tag{1}$$

bolsa, onda dipola täsir edýän güýji aşakdaky görnüşde aňladyp bolar:

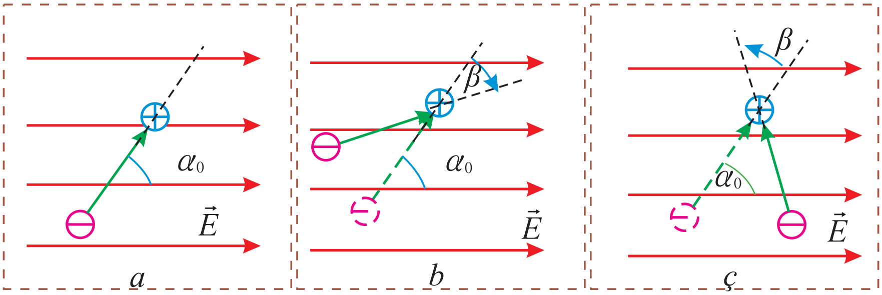
$$F = p_1\left|\frac{\partial E}{\partial l}\right|. \tag{2}$$

(1) we (2) aňlatmalardan dipollaryň özara täsir güýjüni taparys:

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{6p_1p_2}{l^4}. \tag{3}$$

27-nji mesele. Elektrik momenti $\vec{p} = 2\ nKl \cdot m$ bolan dipol $E = 30\ kV/m$ güýjenmeli birhilli elektrik meýdanynda ýerleşdirilen. Dipolyň $\vec{p}$ elektrik momentiniň wektory meýdanyň $\vec{E}$ wektorynyň güýç çyzyklary bilen $\alpha_0 = 60°$ burç emele getirýär. Dipoly $\beta = 30°$ burça öwürmek üçin daşky güýçleriň ýerine ýetiren işini kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i: Dipoly başlangyç ýagdaýyndan (*1.27-nji a surat*) $\beta = 30°$ burça iki hili, sagadyň diliniň (peýkamynyň) aýlanma ugru-



1.27-nji surat. Birhilli elektrik meýdanyndaky dipol

na $\alpha_1 = \alpha_0 - \beta = \frac{\pi}{3} - \frac{\pi}{6} = \frac{\pi}{6}$ (*1.27-nji b surat*) we onuň garşylykly ugruna $\alpha_2 = \alpha_0 + \beta = \frac{\pi}{3} + \frac{\pi}{6} = \frac{\pi}{2}$ (*1.27-nji ç surat*) üýtgedip bolar.

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

Ikinji halda bolsa, dipoly diňe daşky güýçler öwrüp bilýär. 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;

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

Birinji usul boýunça dipoly α burça öwürmek ücin ýönekeý ýerine ýetirilen iş görnüşinde:

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

ýa-da doly iş bolsa aşakdaky görnüşde aňladyp bolar.

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

Integrirlemäni amala aşyryp alarys:

$$A = -pE(\cos\alpha - \cos\alpha_0) = pE(\cos\alpha_0 - \cos\alpha). \qquad (2)$$

Daşky güýçleriň işi bilen dipolyň potensial energiýasynyň arasyndaky baglanyşykdan peýdalanyp:

$$A = \Delta W_p = W_{p2} - W_{p1}, \qquad (3)$$

bu ýerde W_{p1} we W_{p2} – degişlilikde ulgamyň başlangyç we ahyrky ýagdaýlaryndaky potensial energiýalary alarys.

Dipolyň elektrik meýdanyndaky potensial energiýasy $W = pE\cos\alpha$. Onda:

$$A = pE(\cos\alpha_0 - \cos\alpha). \quad (4)$$

(2) we (4) işleriň ikisi hem, özara deňdirler.

Talyplaryň özbaşdak taýýarlyklaryny barlamak üçin soraglar we ýumuşlar

1. Elektrik dipoly diýlip nämä aýdylýar?
2. Dipolyň elektrik momentini we onuň ugruny düşündiriň.
3. Dipolyň döredýän elektrik meýdanynyň güýjenmesi nähili kesgitlenilýär?
4. Elektrik meýdanyndaky dipola täsir edýän güýç nähili aňladylýar?

Özbaşdak çözmek üçin meseleler

1.5-nji gönükme

1.57. Elektrik momenti $\vec{p}$ bolan dipol $\vec{E}$ güýjenmeli elektrik meýdanynda ýerleşdirilen. Dipolyň $\vec{p}$ we elektrik meýdanynyň $\vec{E}$ wektorlary özara parallel bolan ýagdaýynda dipoly gurşaýan deň potensially tekizlikleri sferik şekilli hasaplap, olaryň biriniň radiusyny kesgitlemeli.

1.58. Elektrik momenti $\vec{p}$ 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.

1.59. Elektrik momenti p =100 $nKl \cdot m$ bolan dipol E = 150 kV/m güýjenmeli birhilli elektrik meýdanynda erkin ýerleşdirilen. Dipoly 180° burça öwürmek üçin ýerine ýetirilmeli işi kesgitlemeli.

1.60. Elektrik momenti p =200 $nKl \cdot m$ bolan dipol birhilli däl elektrik meýdanynda ýerleşdirilen. Meýdanyň birhilli dällik derejesi dipolyň okunyň ugry boýunça alnan $\partial E/\partial x = 1 MV/m^2$ ululyk bilen häsiýetlendirilýär. Bu ugur boýunça dipola täsir edýän güýji kesgitlemeli.

1.61. Elektrik momenti p =5$nKl \cdot m$ bolan dipol q = 100 nKl nokatlanç zarýadyň meýdanynda, 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.

1.62. Elektrik momenti p = 4 $nKl \cdot m$ 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 zarýadlaryň deňagramlylykda bolmaklary üçin onuň içinde elektrik meýdanynyň güýjenmesi $\vec{E} = 0$ bolmalydyr:

$$\vec{E} = -\,grad\ \varphi, \qquad (2.1)$$

aňlatma laýyklykda geçirijiniň ähli ýerinde (üstünde-de) potensial hemişelikdir ($\varphi = const$).

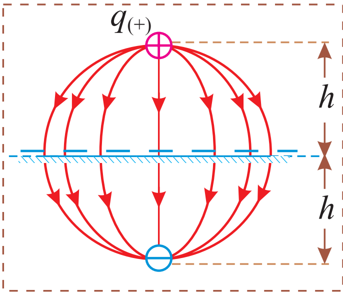
• Elektrostatik meýdanynda ýerleşdirilen geçirijiniň kristal gözeneginiň çäklerinde alnan islendik üst deň potensiallydyr. Islendik deň potensially üst elektrik meýdanynyň güýç çyzyklaryna perpendikulýardyr.

• Elektrostatik meýdanynda ýerleşdirilen geçirijilerdäki zarýadlar onuň üstünde geçirijiniň kristal gözeneginiň iki goňşy atomynyň aradaşlygynyň 2–3 uzaklygy ýaly gatlakda ýerleşýärler.

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

$$N = \frac{\sum q_1}{\varepsilon_0 \sum \varepsilon} = 0, \qquad (2.2)$$

bu ýerde ε_0, ε – degişlilikde elektrik hemişeligi we gurşawyň dielektrik syzyjylygy. Geçirijileriň içinde elektrik meýdanynyň çeşmesi bolan zarýadlaryň ýoklugy $(\sum q_1 = 0)$ $E_n = 0$ 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.



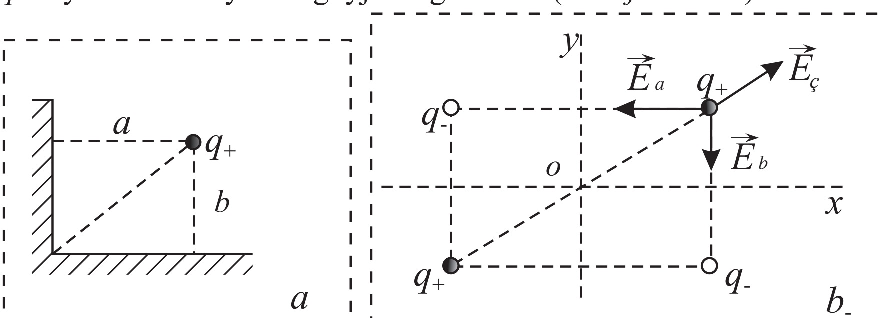
2.1-nji surat. Elektrik meýdanyndaky geçiriji tekizlik

Aýna şekil usuly elektrik meýdanynyň potensialyny, güýjenmesini we ş.m. kesgitlemekligi ýönekeýleşdirýän usuldyr. Mysal üçin, biz $+q$ zarýad bilen ondan h uzaklykda ýerleşen tükeniksiz ölçegli tekiz geçiriji üstüň özara täsir güýjüni hasaplamaly diýeliň. Bu zarýad geçirijide özündäki zarýadlara garşylykly alamatly zarýadlary döredýär (*2.1-nji surat*).

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 meýdanynyň 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.

Meseleleriň çözülişine mysallar

28-nji mesele. Öz aralarynda göni burç emele getirýän iki sany tükeniksiz geçiriji ýarym tekizliklerden a we b daşlykda ýerleşen q zarýada täsir edýän $\vec{F}$ güýji kesgitlemeli (*2.2-nji a surat*).



2.2-nji surat. Golaýynda göni burç bilen kesişýän geçiriji tekizlikler bolan nokatlanç zarýad

Ç ö z ü l i ş i : Meseläniň şertinde berlen q zarýada täsir edýän $\vec{F}$ 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 $\vec{F}$ güýji kesgitlemeli. Tükeniksiz geçiriji tekizlikde zarýadlaryň üst birligindäki bölünişini meseläniň şerti boýunça takyklamak mümkün däl.

Aýna şekil usulyny ulanyp, talap edilýän $\vec{F}$ güýji tapmak üçin xOy koordinata oklarynyň başlangyjyny geçiriji tekizlikleriň emele getirýän $\pi/2$ burçunyň depesinde ýerleşdirip, olary geçiriji tekizlik hasaplalyň. Soňra olarda q zarýadyň aýna şekilini guralyň (*2.2-nji b surat*). Bu halda geçiriji tekizliklerdäki alnan şekil zarýadlaryň döredýän elektrik meýdanlary q zarýadyň täsiri netijesinde geçiriji tekizliklerdäki σ üst dykyzlykly zarýadlaryň bölünişigi bilen döreýän elektrik meýdanyna barabardyr. Indi bu iş şekil zarýadlaryň üçüsiniň bilelikde meseläniň şertinde berlen q zarýada edýän täsirini hasaplamaklyga syrykdyrylýar.

Şeýlelikde, biz üç güýjüň deň täsir edijisini tapmaly:

$$\vec{F} = \vec{F}_a + \vec{F}_b + \vec{F}_c.$$

Bu güýçleriň absolýut ululyklary degişlilikde Kulonyň kanuny boýunça:

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

Bu güýçleriň x we y oklar boýunça proýeksiýalaryny tapalyň:

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

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

Suratdan görnüşi ýaly:

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

Onda:

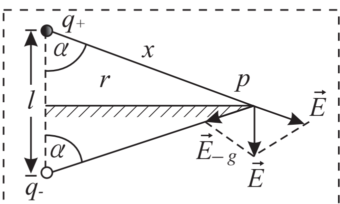
$$F_x = \left[-\frac{q^2}{4a^2} + \frac{q^2 a}{4(a^2 + b^2)^{3/2}}\right]\frac{1}{4\pi\varepsilon_0},$$

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

29-njy mesele. Tükeniksiz geçiriji tekizligiň üstüne perpendikulýar l daşlykda q nokatlanç zarýad ýerleşdirilen. 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 ýerleşdirilen we onuň üstünde bu meýdanyň täsiri netijesinde zarýadlaryň bölünişigi bolup geçýär. Geçiriji tekizligiň üstündäki bu zarýadlaryň σ üst dykyzlygyny aşakdaky görnüşde aňladyp bolar:

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



2.3-nji surat.
Geçiriji tekizligiň golaýyndaky nokatlanç zarýad

bu ýerde E_n – nokatlanç zarýadyň wakuumda döredýän elektrik meýdanynyň güýjenmesi. Mesele çözmek üçin P nokatdaky netijeleýji elektrik meýdanynyň güýjenmesini tapyp, (1) aňlatmada ornuna goýmaly. Munuň üçin aýna şekil usulyndan peýdalanmak zerurdyr. Aýna şekil usulyna laýyklykda P nokatda elektrik meýdanynyň güýjenmesi (*2.3-nji surat*):

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

Ýokardaky (2) we (1) deňliklerden alarys:

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

(3) aňlatmadaky otrisatel alamat geçiriji tekizlikdäki täsir bilen döredilen zarýadlaryň q zarýada garşylykly alamatlydygyny aňladýar.

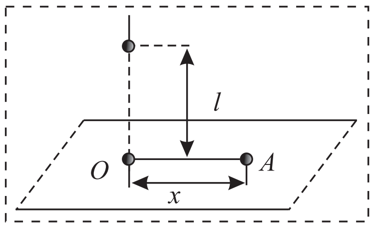
Talyplaryň özbaşdak taýýarlyklaryny barlamak üçin soraglar we ýumuş

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

2.1-nji gönükme

2.1. τ çyzykly zarýadlar bilen deňölçegli zarýadlanan örän uzyn sapak tükeniksiz geçiriji tekizlige perpendikulýar we 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 kesgitlemeli (*2.4-nji surat*).

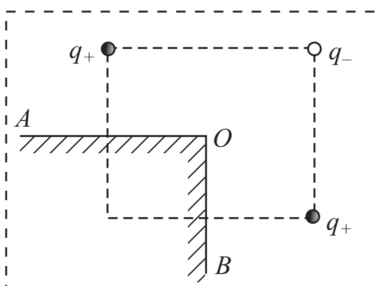


2.4 -nji surat.Tükeniksiz geçirijiniň golaýyndaky zarýadlanan sapak

2.2. Geçiriji tekizlikden l =1,5 m uzaklykda q = 100 nKl nokatlanç zarýad ýerleşdirilen. Bu zarýady tekizlikden örän uly aralyga asudalyk bilen süýşürmek üçin nähili iş etmeli?

2.3. Iki sany $q+$ we $q-$ ululykly nokatlanç zarýad biri-birinden, geçiriji tekizlikden l/2 aralykda ýerleşdirilen. Her bir zarýada täsir edýän güýjüň ululygyny kesgitlemeli.

2.4. Üç sany nokatlanç zarýadlar diagonaly d = 50 sm bolan kwadratyň depelerinde ýerleşdirilen. Zarýadlaryň alamatlary 2.5-nji suratda görkezilen. Bu ýerde O nokat kwadratyň merkezi. AOB iki sany ýarym geçiriji tekizlikleriň depesindäki göni burç. Ululygy q=11 $mkKl$ bolan zarýada täsir edýän güýji kesgitlemeli.



2.5-nji surat. Üst dykyzlykly zarýadyň elektrik meýdany

2.5. Radiusy R bolan, q zarýad bilen zarýadlanan inçe geçiriji halka tükeniksiz geçiriji tekizlikden l aralykda oňa parallel ýerleşdirilen. Tekizlikde ýerleşdirilen halkada täsir arkaly döredilen zarýadlaryň üst dykyzlygyny we halkanyň merkezinde elektrik meýdanynyň potensialyny kesgitlemeli.

2.2. ELEKTRIK MEÝDANYNDAKY DIELEKTRIKLER

Esasy kesgitlemeler we aňlatmalar

• Dielektrik daşky elektrik meýdanynda ýerleşdirilende onuň düzümine girýän elektrik dipollar daşky meýdanyň güýjenmesiniň ugruna tertipleşýär. Bu hadysa dielektrikleriň polýarlanmagy diýilýär.

• **Polýarlanma wektory** göwrüm birligindäki dipol momentleriň jemine deňdir:

$$\vec{P} = \frac{\sum \vec{p}_i}{\Delta V}, \tag{2.3}$$

bu ýerde $\vec{P}_i$ – i-nji molekulanyň dipol momenti; ΔV – dielektrigiň elementiniň göwrümi.

• Polýarlanma $\vec{P}$ wektory bilen daşky elektrik meýdanynyň $\vec{E}$ güýjenmesi aşakdaky deňlik bilen baglanyşyklydyr:

$$\vec{P} = \varepsilon_0 \chi \vec{E}, \tag{2.4}$$

bu ýerde χ – dielektrik kabul edijilik koeffisiýenti; $\vec{E}$ – daşky elektrik meýdanynyň güýjenmesi.

• Elektrik meýdanynda ýerleşdirilen dielektrigiň üstünde döreýän polýarlanan q_{pol} zarýadlar polýarlanma wektoryň dielektrigiň üstüne geçirilen perpendikulýaryň ugruna alnan P_n proýeksiýasy bilen baglanyşyklydyr:

$$q^{\text{pol}} = -\int_S P_n dS.$$

• Içinde dielektrik bar bolan gurşaw üçin Ostrogradskiniň we Gaussyň teoremasyny ýazyp bolar:

$$N = \int_S D_n dS = \sum q_{\text{erk}} \quad (2.5)$$

ýa-da

$$N = \int_S (\varepsilon_o E + P) dS = \sum q_{\text{erk}}. \quad (2.6)$$

(2.4) – (2.6) deňliklerden elektrik süýşme wektorynyň proýeksiýasyny alarys:

$$D_n = \varepsilon_0 E + \varepsilon_0 \chi E = (1 + \chi)\, \varepsilon_0 E = \varepsilon_0 \varepsilon E. \quad (2.7)$$

Bu ýerde gurşawyň dielektrik syzyjylygy:

$$\varepsilon = 1 + \chi. \quad (2.8)$$

• Güýjenmesi E_0 bolan elektrik meýdanyna dielektrik girizilse meýdanyň güýjenmesi ε esse azalar:

$$\varepsilon = \frac{E_0}{E}. \quad (2.9)$$

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

• Kub şekilli kristallarda we suwuk dielektriklerde döredilýän lokal elektrik meýdanynyň $\vec{E}_{\text{lok}}$ güýjenmesi aşakdaky deňlikler bilen aňladylýar:

$$\vec{E}_{\text{lok}} = \vec{E} + \frac{1}{3}\frac{\vec{P}}{\varepsilon_0} \vec{E}_{\text{lok}} = \frac{\varepsilon + r}{2\varepsilon} \vec{E}_0. \quad (2.10)$$

• Kristalyň atomynda täsir arkaly döredilen elektrik momenti:

$$\vec{p} = \alpha \varepsilon_0 \vec{E}, \quad (2.11)$$

bu ýerde α – atomyň polýarlanma koeffisiýenti.

Meseleleriň çözülişine mysallar

30-njy mesele. Alfa bölejikden $r = 1\ nm$ daşlykda ýerleşen ýoduň atomynda $\vec{p} = 1{,}5 \cdot 10^{-32}\ Kl \cdot m$ elektrik dipol momenti döredilýär. Ýoduň atomynyň α polýarlanma koeffisiýentini kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i : Atomyň polýarlanma koeffisiýentini (2.11) aňlatmadan ýazyp bolar:

$$\alpha = \frac{\vec{p}}{\varepsilon_0 |\vec{E}|}, \tag{1}$$

bu ýerde $\vec{p}$ – atomda täsir arkaly döredilen elektrik momenti; $\vec{E}$ – atomyň ýerleşdirilen elektrik meýdanynyň güýjenmesi.

Meseläniň şerti boýunça alfa bölejiginiň döredýän elektrik meýdany lokal meýdandyr. Bu meýdanyň güýjenmesi aşakdaky görnüşde aňladylýar:

$$E = \frac{2e}{4\pi\varepsilon_0 r^2}. \tag{2}$$

(1) we (2) deňlikleriň esasynda alarys:

$$\alpha = \frac{2\pi r^2 p}{e} = 5,9 \cdot 10^{-30} m^3.$$

31-nji mesele. Nokatlanç q zarýad birhilli däl izotrop dielektrikden ýasalan sferanyň merkezinde ýerleşdirilen. Bu dielektrigiň syzyjylygy $\varepsilon = \alpha/r$ kanunalaýyklykda üýtgeýär, α – hemişelik ululyk, r – sferanyň radiusy. Dielektrigiň içinde baglanyşykly (polýarlanan) zarýadlaryň göwrümleýin dykyzlygyny r-iň funksiýasy görnüşinde kesgitlemeli.

Çözülişi: Meseläni çözmek üçin Ostrogradskiniň we Gaussyň teoremasyny $\vec{P}$ wektor üçin peýdalanyp alarys:

$$\oint \vec{P}\, d\vec{S} = -q'. \tag{1}$$

Polýarlanma $\vec{P}$ wektoryň S ýapyk üst boýunça akymy bu üstüň içindäki ters alamaty bilen alnan baglanyşykly zarýadlaryň jemine deň. Ýapyk üst hökmünde ulgamyň merkezi bilen gabat gelýän r radiusly sferany saýlap alalyň. Bu halda (1) deňligi aşakdaky görnüşde ýazyp bolar:

$$4\pi r^2 P_r = -q'(r), \tag{2}$$

bu ýerde $q'(r)$ – sferanyň içindäki baglanyşykly zarýadlar. Bu deňligi differensirläp alarys:

$$4\pi d(r^2 P)_r = -dq', \tag{3}$$

bu ýerde dq' – radiuslary r we $r + dr$ bolan sferanyň arasyndaky ýuka gatlakdaky baglanyşykly zarýadlar. Ol zarýadlary ρ' göwrüm zarýadlarynyň dykyzlygynyň üsti bilen aňladyp bolar:

$$dq' = \rho' 4\pi r^2 dr. \tag{4}$$

Bu deňligi göz öňünde tutup, (3) aňlatmany aşakdaky görnüşde ýazyp bolar:

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

Bu ýerden:

$$S' = \left[\frac{dP_r}{dr} + \frac{2}{r}P_r\right]. \tag{5}$$

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

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

$$\rho' = \frac{1}{4\pi\alpha}\frac{q}{r^2}. \tag{6}$$

32-nji mesele. Plastinalarynyň arasyndaky potensiallarynyň tapawudy $1kV$-a deň bolan tekiz kondensatoryň içine $3mm$ galyňlykly aýna ýerleşdirilen. Aýnanyň üstündäki polýarlanan zarýadlaryň dykyzlygyny tapmaly.

Ç ö z ü l i ş i : Polýar zarýadlaryň σ^p üst dykyzlygyny şeýle aňladyp bolar:

$$\sigma^p = P_n. \tag{1}$$

$\vec{D}$, $\vec{E}$ we $\vec{P}$ wektorlaryň arasyndaky baglanyşyk:

$$\vec{D} = \varepsilon_0\vec{E} + \vec{P}. \tag{2}$$

Bu ýerden:

$$P_n = D_n - \varepsilon_0 E_n. \tag{3}$$

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

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

baglanyşyklary göz öňünde tutup, aşakdaky aňlatmany 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 ýumuşlar

1. Polýar we polýar däl dielektrikleri häsiýetlendirmeli.
2. Dielektrikleriň polýarlanma şertlerini düşündirmeli.
3. Polýar zarýadlaryň üst dykyzlygy bilen polýarlanma wektorynyň arasyndaky baglanyşygy düşündiriň.
4. Izotrop dielektrikler üçin wektorlaryň arabaglanyşygyny we aýratynlyklaryny aýdyp beriň.
5. Dielektrik syzyjylygyň manysyny düşündirmeli.

Özbaşdak çözmek üçin meseleler

2.2-nji gönükme

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

2.7. 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 = 10*mm* bolsa, onda kondensatoryň elektrik sygymyny kesgitlemeli.

2.8. Tekiz kondensator U = 200 V-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.

2.9. Tekiz kondensatoryň arasy onuň plastinalaryna parallel ýerleşdirilen iki gat dielektrik bilen doldurylan. Dielektrikleriň galyňlygy l_1, l_2 we dielektrik syzyjylyklary ε_1, ε_2-ä deň. Eger, kondensator U potensiala çenli zarýadlanan bolsa, dielektrigiň we kondensatoryň plastinalarynyň arasyndaky boşlukda elektrik meýdanynyň güýjenmesini kesgitlemeli.

2.10. Basyşy $P = 10\ MPa$ bolan Kriptonyň temperaturasy $T = 200\,K$. Onuň dielektrik syzyjylygyny, daşky elektrik meýdanynyň güýjenmesi $E_{\text{daş}} = 1\ MV/m$ bolanda polýarlanma wektoryny kesgitlemeli. Kriptonyň dielektrik kabul edijilik koeffisiýenti $x = 4{,}5 \cdot 10^{-20}$.

2.11. Suwuk benzolyň dykyzlygy $S = 899\ Kg/m^3$, döwülme görkezijisi $n = 1{,}5$: a) benzolyň molekulalarynyň dielektrik kabuledijiligini; b) kadaly (normal) şertlerde benzolyň buglarynyň dielektrik syzyjylygyny kesgitlemeli.

2.12. 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.

2.13. Geliý gazynyň 0°C temperaturada we 1 atom basyşynda syzyjylygy 1,000074-e deň. Bu parametrli geliý gazy güýjenmesi 100 V/sm bolan birhilli elektrik meýdanynda ýerleşdirilse, onuň atomynyň dipol momentini kesgitlemeli.

2.3. ELEKTRIK MEÝDANYNYŇ ENERGIÝASY

Esasy kesgitlemeler we aňlatmalar

• Nokatlanç zarýadlar ulgamynyň özara täsiriniň energiýasy bu zarýadlary bir-birine görä tükeniksizlige göçürmek üçin ýerine ýetirilen işe deňdir:

$$W = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{N} Q_i \varphi_i, \tag{2.12}$$

bu ýerde φ_i – i-nji zarýaddan özge $N - 1$ zarýadlaryň hemmesi bilen döredilýän elektrik meýdanynyň Q_i-nji zarýadyň ýerleşen nokadyndaky potensial.

• Üznüksiz paýlanan zarýadlaryň özara täsiriniň doly energiýasy aşakdaky görnüşde aňladylýar:

$$W = \frac{1}{2}\int \rho\, \varphi\, dV, \tag{2.13}$$

bu ýerde φ – ulgamdaky hemme zarýadlaryň dV göwrümdäki potensialy. Zarýadlanan geçirijiniň hemme nokatlarynyň potensialy deň bolandygy üçin soňky aňlatmadaky φ-ni integralyň daşyna çykarylsa, galan $\int \rho\, dV$ integral geçirijiniň q zarýadyny aňladýar. Netijede, zarýadlanan geçirijiniň energiýasy üçin aňlatmany alarys:

$$W = \frac{q\varphi}{2}. \qquad (2.14)$$

• Zarýadlanan kondensatoryň energiýasy aşakdaky görnüşde aňladylýar:

$$W = \frac{qU}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2}, \qquad (2.15)$$

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 bilner. Munuň üçin (2.15) aňlatmadaky C sygymyň deregine tekiz kondensatoryň $C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{h}$ aňlatmasyny ulanyp ýazyp bolar:

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

ýa-da $Sh = V$-ni göz öňünde tutup, bu deňligi:

$$W = \frac{1}{2}\varepsilon_0 \varepsilon E^2 V, \qquad (2.16)$$

görnüşde ýazyp bolar. Umumy hal üçin bolsa bu aňlatmany:

$$W = \int \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} dV = \int \frac{E\,D}{2} dV \qquad (2.17)$$

ýazyp bolar. Bu aňlatmanyň iki tarapyny hem dV bölüp, elektrik meýdanynyň energiýasynyň göwrüm dykyzlygyny ýazyp bolar:

$$\omega = \frac{dW}{dV} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2}. \qquad (2.18)$$

Meseleleriň çözülişine mysallar

33-nji mesele. Elektrik sygymy C_1 bolan kondensatoryň plastinalarynyň arasyndaky potensialyň tapawudy U_1 bolýança zarýadlandyryp, 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 aşakdaky görnüşde aňladylýar:

$$\Delta W = W_1 - W_2, \tag{1}$$

bu ýerde W_1 – zarýadlanan birinji kondensatoryň başdaky energiýasy; W_2 – ikinji kondensator birikdirilenden soňra kondensatorlaryň energiýasy.

(1) deňligi (2.15) aňlatmanyň esasynda ýazyp bolar:

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

bu ýerde U_2 – iki kondensatoryň arasyndaky potensiallaryň tapawudy. Ikinji kondensator birikdirilenden soňra zarýadyň üýtgemegini göz öňünde tutup iki kondensatoryň arasyndaky potensiallaryň tapawudynyň aňlatmasyny alarys:

$$U_2 = \frac{Q}{C_1 + C_2} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \tag{3}$$

Bu deňligi göz öňünde tutup ýazyp bolar:

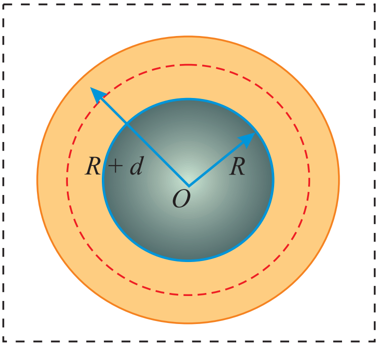
$$\Delta W = \frac{C_1 U^2}{2} - \frac{(C_1 + C_2)C_1^2 U_1^2}{2(C_1 + C_2)}.$$

Ýönekeý özgertmelerden soňra meseläniň şertinde talap edilýän energiýanyň aňlatmasyny alarys:

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

34-nji mesele. Radiusy *R* bolan togalak metal geçiriji *Q* zarýad bilen zarýadlandyrylan. Agzalan geçiriji *r* galyňlykdaky parafin dielektrik gatlagy bilen gurşalan bolsa, bu gatlakdaky jemlenen elektrik meýdanynyň energiýasyny tapmaly.

Ç ö z ü l i ş i : Zarýadlanan togalak geçirijiniň simmetriýa eýedigi üçin onuň merkezinden deň uzaklykdaky nokatlarda energiýanyň göwrümleýin dykyzlygy birmeňzeşdir. Dielektrik



2.6-njy surat. Daşy parafin bilen örtülen zarýadly togalak geçiriji

gatlagyň kiçi dV göwrümindäki energiýasyny aşakdaky görnüşde aňladalyň:

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

ýa-da 2.6-njy surata laýyklykda (1) aňlatmany integrirläp alarys:

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

bu ýerde r – kiçi togalak gatlagyň radiusy; dr – onuň galyňlygy.

Bu (2.16) deňligiň esasynda we elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň aňlatmasyny hasaba alyp, ony ýazyp bolar:

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

Energiýanyň göwrüm birligindäki dykyzlygy:

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

Bu deňligi ulanyp, (2) aňlatmadan gatlakda jemlenen elektrik meýdanynyň energiýasyny taparys:

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

35-nji mesele. Ululyklary deň we biratly zarýadlandyrylan iki togalak geçiriji gatylygy $k = 20$ *N/m*, uzynlygy $l = 4$ *sm* bolan puržin 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 z ü l i ş i : Meseläni energiýanyň saklanmak kanunyny ulanyp çözmek amatlydyr. Togalak geçirijiler özara maksimal ýakynlaşanlarynda ulgamyň Kulon we maýyşgak güýçleri bilen şertlenen energiýasy:

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

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 saklanmak kanunyna görä $W_1 = W_2$ ýa-da

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

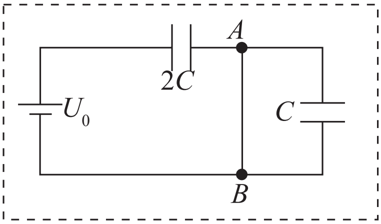
Bu ýerden:

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

Meseläniň şertindäki degişli ululyklardan peýdalanyp alarys:

$$q = 1,4 \cdot 10^{-7} Kl.$$

36*-njy mesele. Suratda görkezilen elektrik shemadaky C kondensatoryň plastinalary A, B nokatda geçiriji sim bilen özara birikdirilen (*2.7-nji surat*). Bu halda zynjyrda näçe mukdarda ýylylyk bölünip çykar?



2.7-nji surat. Tok çeşmesiniň zynjyryna birikdirilen kondensatorlar

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

$$W_1 = C_{um}\frac{U_0^2}{2} = \frac{2}{3}C\frac{U_0^2}{2} = \frac{1}{3}CU_0^2.$$

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

$$W_2 = 2C\frac{U_0^2}{2} = CU_0^2.$$

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:

$$A = \Delta q U_0 = \frac{4}{3}CU_0^2$$

işi ýerine ýetirýär. Energiýanyň saklanmak kanuny boýunça:

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

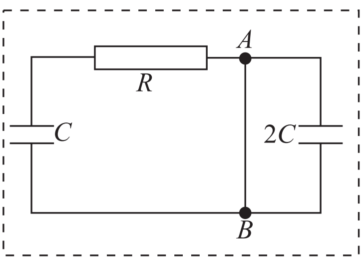
Bu ýerden:

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

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

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.

37-nji mesele. Elektrik sygymy C bolan kondensator R garşylyk we AB geçiriji arkaly zarýadsyzlandyrylýar (*2.8-nji surat*). Zarýadsyzlanmakda elektrik togunyň güýji I_0 baha ýetende geçiriji köýýär. Şu pursatdan başlap, zynjyrda bölünip çykýan ýylylyk mukdaryny tapmaly.



2.8-nji surat. Kondensatorlardan we garşylykdan düzülen elektrik zynjyry

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

$$q_0 = CU = CI_0R.$$

Başlangyç halda elektrostatik meýdanynyň energiýasy:

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

Bu energiýa iki kondensatoryň arasynda deňagramlaşmak haly döreýänçä paýlanar. Bu halda kondensatorlar özara parallel birikdirilen we $C_{ulg} = 3C$ bolar. Netijede, energiýa durnuklaşandan soň ulgamyň energiýasyny aşakdaky görnüşde aňladyp bolar:

$$W_1 = \frac{q_0^2}{2C_{ulg}} = \frac{q_0^2}{6C}.$$

Kondensatoryň plastinalary gysga utgaşdyrylandan soňra geçirijisi köýýär we ulgamdan bölünip çykýan ýylylyk mukdary:

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

Talyplaryň özbaşdak taýýarlyklaryny barlamak üçin ýumuşlar

1. Nokatlanç zarýadlar ulgamynyň özara täsir energiýasynyň aňlatmasyny getirip çykarmaly.
2. Zarýadlanan geçirijiniň we kondensatoryň energiýasynyň aňlatmasyny getirip çykarmaly.
3. Elektrostatik meýdanynyň energiýasyny we onuň nirede jemlenýändigini düşündirmeli.
4. Kondensatoryň energiýasynyň göwrümleýin dykyzlygy nirede jemlenýär.

Özbaşdak çözmek üçin meseleler

2.3-nji gönükme

2.14. Taraplary *a, b* we *c* bolan parallellopipediň göwrümleýin elektrostatik meýdanynyň energiýasyny tapmaly. Elektrik meýdanynyň güýjenmesi $\vec{E} = \{0, 6x, 0\}\ V/m$-e deň.

2.15. 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 ulaltmak üçin elektrik güýçleriniň ýerine ýetirilmeli işini kesgitlemeli.

2.16. 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* deň. Bu q zarýady O nokatdan tükeniksizlige endigan süýşürmek üçin elektrik güýçleriň garşysyna nähili işi ýerine ýetirmeli?

2.17. Plastinalarynyň meýdany S bolan tekiz howa kondensatory berlen. Kondensatoryň plastinalarynyň zarýady we naprýaženiýesi hemişelik bolan ýagdaýda onuň plastinalaryny x_1-den x_2 aralyga süýşürmek üçin elektrik güýçleriniň garşysyna nähili iş etmeli?

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

2.19. 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 energiýasyna bolan gatnaşygyny tapmaly.

III. HEMIŞELIK ELEKTRIK TOGY

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

Hemişelik toguň esasyny öwrenmeklik 2 jähetden:

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

3.1. HEMIŞELIK TOGUŇ ESASY KANUNLARY

Esasy kesgitlemeler we aňlatmalar

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

$$I = \frac{dq}{dt}, \tag{3.1}$$

bu ýerde dq – geçirijiniň kese kesiginden dt wagtda akyp geçýän zarýadlaryň mukdary.

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

$$j = \frac{dq}{dt \cdot dS} = \frac{dI}{dS}. \tag{3.2}$$

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

$$\oint \vec{j}d\vec{S} = -\frac{dq}{dt}. \quad (3.3)$$

Hemişelik tok üçin $dq/dt = 0$ bolany sebäpli agzalan teorema şu görnüşe eýe bolýar:

$$\oint \vec{j}d\vec{S} = 0. \quad (3.4)$$

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

$$I = \frac{U}{R}. \quad (3.5)$$

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

• Uzynlygy l, kese kesiginiň meýdany S bolan birhilli silindr şekilli geçirijiniň garşylygy aşakdaky ýaly kesgitlenilýär:

$$R = \rho\frac{l}{S}, \quad (3.6)$$

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 ol geçirijiniň l uzynlygy boýunça integrirlenýär:

$$R = \frac{\rho}{S}\int_l dl. \quad (3.7)$$

• Udel γ geçirijilik geçirijiniň udel garşylygyna ters bolan ululykdyr:

$$\gamma = \frac{1}{\rho}. \quad (3.8)$$

• Geçirijiniň udel garşylygy onuň temperaturasyna baglydyr:

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t), \quad (3.9)$$

bu ýerde ρ_0 – geçirijiniň $0°C$ temperaturadaky garşylygy α – garşylygyň temperatura koeffisiýenti; t – geçirijiniň temperaturasy.

• Elektrik zynjyrynyň bölegi üçin Omuň kanunynyň differensial görnüşde aňladylyşy:

$$\vec{j} = \gamma\vec{E}. \tag{3.10}$$

• **Geçirijiler yzygider birikdirilende** toplumyň umumy garşylygy aýry-aýry garşylyklaryň jemine deňdir:

$$R = \sum_{i=1}^{N} R_i, \tag{3.11}$$

bu ýerde R_i – yzygider birikdirilen garşylyklar toplumynyň düzümine girýän i-nji geçirijiniň her biriniň aýry-aýrylykdaky garşylygy; N – toplumyň düzümindäki garşylyklaryň sany.

• **Geçirijiler parallel birikdirilende** olaryň umumy geçirijiligi aýry-aýry geçirijileriň geçirijiliginiň jemine deňdir:

$$\gamma = \sum_{i=1}^{N} \gamma_i.. \tag{3.12}$$

Geçirijilik garşylygyň ters ululygy bolany üçin, parallel birikdirmede umumy garşylygyň ters ululygy parallel birikdirilen toplumdaky geçirijileriň aýry-aýry garşylyklarynyň ters ululyklarynyň jemine deňdir:

$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^{N} \frac{1}{R_i}. \tag{3.12'}$$

• **Zynjyryň birhilli däl, ýagny özünde EHG-ni saklaýan bölegi üçin Omuň kanuny.** Düzümine tok çeşmesi dakylan shemalara zynjyryň birhilli däl bölegi diýilýär. Bu bölekdäki toguň güýji onuň uçlaryndaky U naprýaženiýe bilen bu bölege girýän EHG-leriň birikdirilişine baglylykda jemine ýa-da tapawudyna göni we seredilýän bölekdäki içki we daşky garşylyklaryň jemine bolsa ters proporsionaldyr:

$$I = \frac{U \pm \sum_{i=1}^{N} \varepsilon_i}{\sum R_i}. \tag{3.13}$$

Eger zynjyryň bölümindäki EHG geçirijidäki položitel zarýadlaryň hereketine päsgelçilik döretmeýän bolsa, onda (3.13) deňlikdäki ε-nyň alamaty položitel, tersine, bölümdäki EHG geçirijidäki položitel zarýadlaryň tertipli hereketine päsgelçilik döredýän bolsa, onda onuň alamaty otrisatel edilip alynýar.

• **Ýapyk zynjyr üçin Omuň kanuny.** Ýapyk zynjyrdaky I tok güýjüniň ululygy zynjyrda bar bolan ε EHG-leriniň algebraik jemine göni, zynjyryň R daşky we r içki garşylyklarynyň jemine bolsa, ters proporsionaldyr:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^{N} \varepsilon_i}{R + r}. \tag{3.14}$$

• **Tok çeşmesiniň EHG-si diýlip,** birlik položitel zarýady göçürmek üçin tebigaty elektrostatik bolmadyk, ýagny gaýry meýdanlaryň ýerine ýetirýän A işine san taýdan deň bolan ululyga aýdylýar:

$$\varepsilon = \frac{A}{q}. \tag{3.15}$$

Kirhgofyň düzgünleri:

1. Şahalanan elektrik zynjyrynyň düwnüne girýän we ondan çykýan tok güýçleriniň algebraik jemi nola deňdir:

$$\sum_{i=1}^{N} I_i = 0. \tag{3.16}$$

Elektrik zynjyrynyň düwni diýlip, iki we köp geçirijileriň birigýän nokadyna aýdylýar.

2. Ýapyk zynjyrdaky naprýaženiýäniň IR pese düşmekleriniň jemi bu zynjyrdaky täsir edýän ε EHG-leriň algebraik jemine deňdir:

$$\sum_{i=1}^{N} I_i R_i = \sum_{k=1}^{N} \varepsilon_k. \tag{3.17}$$

• **Joulyň we Lensiň kanuny. Elektrik togunyň işi.** Zynjyrdan tok akyp geçende onuň ýerine ýetirýän işi geçirijiden bölünip çykýan ýylylyk mukdaryna deňdir ($A = Q_{L.J.}$). Bu ýylylyk mukdary bolsa, geçirijiden akyp geçýän I elektrik togunyň güýjüniň kwadratyna, geçirijiniň R garşylygyna we toguň akýan wagtynyň t dowamlylygyna baglydyr:

$$A = Q_{L.J.} = I^2 Rt = IUt = \frac{U^2}{R} t. \tag{3.18}$$

• **Elektrik togunyň kuwwaty.** Elektrik togunyň kuwwaty onuň wagt birliginde eden işine deňdir:

$$P = \frac{A}{t} = \frac{qU}{t} = IU = I^2R = \frac{U^2}{R}. \qquad (3.19)$$

• **Tok çeşmesiniň işi:**

$$A = \varepsilon I\tau = I^2Rt = \frac{\varepsilon^2}{R}t, \qquad (3.20)$$

bu ýerde ε – tok çeşmesiniň EHG-si; R – zynjyryň doly garşylygy (daşky we içki garşylyklarynyň jemi).

Tok çeşmeleriniň birikdirilişi

• Birmeňzeş ululykly EHG-si bolan N sany elektrik tok çeşmesiniň **yzygider birikdirilen toplumynyň** umumy EHG-si onuň düzümine girýän tok çeşmeleriniň biriniň EHG-sinden N esse köpdür:

$$\varepsilon_g = N\varepsilon_i. \qquad (3.21)$$

Birmeňzeş EHG-li N sany tok çeşmesiniň parallel birikdirilen toplumynyň umumy EHG-si olaryň biriniň EHG-sine deňdir:

$$\varepsilon = \varepsilon_1. \qquad (3.22)$$

Tok çeşmesiniň peýdaly täsir koeffisiýenti (PTK) onuň daşky zynjyrda bölüp çykarýan P_p peýdaly kuwwatynyň çeşmäniň P_d doly (içki we daşky zynjyrdaky) kuwwatyna bolan gatnaşygyna deňdir:

$$\eta = \frac{P_p}{P_d}100\% = \frac{U}{\varepsilon}100\%, \qquad (3.23)$$

bu ýerde $P_p = U_I$ – tok çeşmesiniň daşky zynjyrdaky peýdaly kuwwaty; $P_d = I^2 (R + r) = \varepsilon I$ – çeşmäniň doly kuwwaty.

Meseleleriň çözülişine mysallar

38-nji mesele. Umumy oky bolan hyýaly (ideal) geçirijilikli iki ýuka silindrleriň arasy ρ birhilli udel garşylykly gowşak geçiriji ulgam bilen doldurylan. Silindrleriň radiuslary a we b ($a > b$) hem-de olaryň her biriniň uzynlygy l, gyradaky hadysalary göz öňünde tutman, silindrleriň arasyndaky gurşawyň garşylygyny kesgitlemeli.

Çözülişi: Meseledäki gurşawyň garşylygyny kesgitlemek üçin (3.6) deňligi gös-göni ulanyp bolmaýar. Sebäbi agzalan deňlik bütewi silindr geçirijilere niýetlenendir. Eger silindrler boýunça I tok güýji akdyrylsa, birhilli elektrik zynjyry üçin (3.5) Omuň kanunyndaky R meseledäki gowşak geçiriji ulgamyň garşylygyny aňladar. Şerte görä silindrler hyýaly geçirijilerdir. Ýokarda getirilen (3.6) deňligi ulanyp, silindrlerden akýan elektrik togunyň güýjüni onuň geometrik ölçegleri bilen baglanyşdyralyň:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{S}{\rho}\frac{U}{l}. \tag{1}$$

Omuň kanunynyň differensial görnüşine geçip, bu deňligi aşakdaky görnüşde ýazyp bolar:

$$j = \gamma E. \tag{2}$$

Koaksial silindrlerden umumy bir oky bolan iki silindr akýan elektrik togunyň güýjüni onuň dykyzlygynyň üsti bilen hem aňladyp bolar:

$$I = \oint_s jdS = \gamma \oint_s EdS. \tag{3}$$

Ostrogradskiniň we Gaussyň teoremasy boýunça:

$$\oint_s EdS = \frac{\rho V}{\varepsilon_0}.$$

Onda (3) deňligiň esasynda silindrlerden akýan toguň güýjüni aşakdaky görnüşe getireris:

$$I = \gamma \frac{q}{\varepsilon_0}. \tag{4}$$

Hyýalymyzda silindrler garşylykly $q_{(-)}$ we $q_{(+)}$ alamatly zarýad bilen zarýadlanan diýip hasaplalyň. Gowşak geçiriji gurşawyň garşylygyny (4) deňlikden kesgitlemek üçin silindrleriň haýsy hem bolsa birindäki q zarýady onuň sygymynyň üsti bilen ($q = C\,U$) aňladyp alarys:

$$I = \gamma \frac{CU}{\varepsilon_0}. \tag{5}$$

(5) we (1) aňlatmalardan:

$$R = \frac{\varepsilon_0}{\gamma C} = \rho \frac{\varepsilon_0}{C}. \tag{6}$$

Şeýlelikde, gowşak geçiriji gurşawyň garşylygyny koaksial silindrleriň emele getirýän silindr görnüşindäki kondensatoryň C sygymynyň we gurşawyň ρ udel garşylygynyň üsti bilen aňladarys.

Elektrostatikadan mälim bolşy ýaly, silindr şekilli kondensatoryň sygymy:

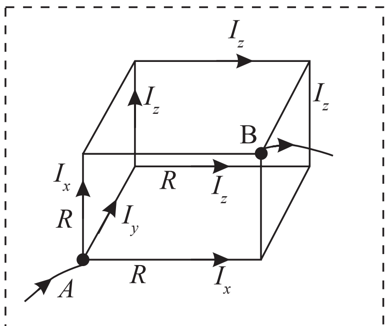
$$C = \frac{2\pi\varepsilon_0 l}{\ln b/a}. \tag{7}$$

Onda (6) deňligi gutarnykly görnüşde aňladyp bolar:

$$R = \rho\frac{\ln\dfrac{b}{a}}{2\pi l}. \tag{7}$$

Diýmek, meselede agzalan gowşak geçiriji gurşawyň R garşylygyny (7) deňlik bilen kesgitläp bolar.

39-njy mesele. Kubuň gapyrgalary bir-biri bilen onuň depelerinde birmeňzeş R garşylykly geçirijilerden düzülen. Kubuň şol bir granynyň gapma-garşylykly A we B depeleri elektrik toguň çeşmesine birikdirilen (*3.1-nji surat*). Zynjyryň umumy garşylygyny kesgitlemeli.



3. 1-nji surat. 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-nji suratdaky ýaly belgiläliň. Kirhgofyň birinji düzgünini A düwne ulanalyň:

$$I = 2I_x + I_y. \tag{1}$$

Öz gezeginde:

$$I_y = 2I_z. \tag{2}$$

Suratdaky A we B nokatlaryň arasyndaky potensiallaryň tapawudy aralygyň garşylygyna we ol aralykdan geçýän elektrik togunyň güýjüne baglydyr:

$$U_{AB} = 2I_x R. \tag{3}$$

Kubuň simmetriýa häsiýetine eýedigini hasaba alyp, aşakdaky deňligi alarys:

$$I_x = I_y + I_z. \tag{4}$$

Onda (3) deňlik aşakdaky görnüşe geler:

$$2I_x R = 2(I_y + I_z) R, \tag{5}$$

bu ýerde R – kubuň bir gapyrgasynyň garşylygy. Şunlukda (1), (5) deňlikler üç sany I_x, I_y we I_z tok güýçlerini özünde saklaýar. Geliň, olaryň ululyklaryny bu deňlemelerden peýdalanyp tapalyň. (4) deňlikden I_z-niň bahasyny tapyp, ony (2) deňlikde ornuna goýup alarys:

$$I_z = I_x - I_y; \quad I_y = 2(I_x - I_y); \quad I_y = \frac{2}{3} I_x,$$

bu ýerden we (1) deňlikden:

$$I_x = \frac{3}{8} I. \tag{6}$$

Edil şonuň ýaly çemeleşip ýazyp bileris:

$$I_y = I - 2I_x = I - I\frac{6}{8} = \frac{1}{4} I, \tag{7}$$

bu ýerden alarys:

$$I_y = \frac{I}{4}, \quad I_z = \frac{I_y}{2} = \frac{I}{8}. \tag{8}$$

Şunlukda (3) deňlik boýunça:

$$U_{AB} = 2I_x R = \frac{6}{8} IR = \frac{3}{4} IR. \tag{9}$$

Agzalan A we B nokatlaryň arasyndaky potensiallaryň tapawudyny zynjyryň bölegi üçin Omuň kanuny boýunça aňladalyň:

$$U_{AB} = IR_{AB}, \tag{10}$$

bu ýerde R_{AB} – kubuň A we B düwünleriniň arasyndaky umumy garşylyk. Soňky iki deňlikden alarys:

$$R_{AB} = \frac{3}{4} R. \tag{11}$$

Bu deňlik bilen aňladylan garşylyk meseläniň şertinde soralýan garşylykdyr.

40-njy mesele. Eger t = 10 s wagt aralygynda geçirijidäki toguň güýji I_0=10 A-den I = 5A-e çenli azalan bolsa, geçirijiden nähili zarýad geçer? Iki hala seretmeli:

1. Toguň güýji deňölçegli azalýar;

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) deňlik arkaly tok 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 tok güýjüniň orta bahasyny $I_{ort} = q/t$ görnüşde aňladyp bolar. Bu ýerden: $q = I_{ort}\, t$.

Meseläniň şerti boýunça tok güýji deňölçegli üýtgeýändigi sebäpli onuň I_{ort} bahasy: $I_{ort} = (I_0 + I) / 2$.

Diýmek,

$$q = \frac{I_0 + I}{2} t = 75\, Kl. \tag{1}$$

Bu halda meseläniň şertine laýyklykda geçirijiniň R garşylygy deňölçegli artýar. Bu bolsa, R garşylygyň t wagt bilen:

$$R = R_0 + kt \tag{2}$$

aňlatma laýyklykda 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.

2. Zynjyryň bölegi üçin Omuň kanunyny (3), (5) deňliklerde (2) aňlatmany ulanyp alarys:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R_0 + kt}. \tag{3}$$

Bu deňlikden görnüşi ýaly seredilýän hal üçin I-niň t wagta baglylygy çyzykly däldir. Şonuň üçin bu ýerde (1) deňligi ulanyp bolmaz. Elektrik togunyň güýjüniň wagta baglylygyny $dq = Idt$ ulanyp, t wagt aralygyndaky doly zarýady $q = \int_0^t Idt$ görnüşde aňladyp bolar ýa-da (3) deňligi ulanyp alarys:

$$q = \int_0^t \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R_0 + kt} dt = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{k} \ln \frac{R_0 + kt}{R_0}.$$

$R = (\varphi_1 - \varphi_2) / I$, $R_0 = (\varphi_1 - \varphi_2) / I_0$ gatnaşyklary we (2) deňligi göz öňünde tutup, zarýad üçin ýazylan aňlatmany aşakdaky görnüşe getirip bolar:

$$q = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2) t}{R - R_0} \ln \frac{R}{R_0} = \frac{I_0 I t}{I_0 - I} \ln \frac{I_0}{I}.$$

Bu deňlikdäki ululyklaryň san bahasyny ýerine goýup, $q = 69\ Kl$ bolýandygyny anyklarys.

41-nji mesele. Erkin görnüşli iki geçiriji çäksiz, birhilli, 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).

Çözülişi: Hyýalymyzda geçirijileriň birini $q_{(+)}$ beýlekisini bolsa, $q_{(-)}$ zarýad bilen zarýadlandyralyň. Zarýadlandyrylan geçirijileriň arasyndaky gurşaw gowşak geçiriji bolany üçin, geçirijileriň üsti deň potensiallydyr we meýdanyň güýç çyzyklarynyň daşky görnüşi gurşawa bagly däldir.

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 kanunyna laýyklykda:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{U}{\oint j_n dS} = \frac{U}{\gamma \oint E_n dS}, \quad (1)$$

bu ýerde $j_n = \gamma E_n$. Ulgamyň sygymy $C = q/U$, indi Ostrogradskiniň we Gaussyň teoremasyndan $q = \oint D_n dS = \varepsilon_0 \varepsilon \oint E_n dS$ bolany üçin:

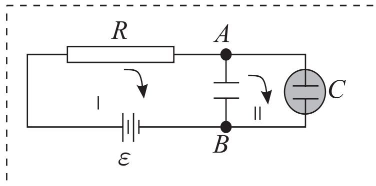
$$C = \frac{q}{U} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon \oint E_n dS}{U}. \quad (2)$$

Indi (1) we (2) 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.

42*-nji mesele. Ýanma potensialy $U_ý$ bolan neonly çyradan, C sygymly kondensatordan, neonly çyranyň ýanmak potensialyndan sähelçe uly bolan ε EHG-li elektrik tok çeşmesinden we R garşylykdan ybarat elektrik generatoryň durnuklaşan iş haly üçin yrgyldynyň bir periodyny kesgitlemeli (*3.2-nji surat*). Zarýadsyzlanmak bolmadyk pursady çyranyň garşylygy tükeniksiz, zarýadlanmak halynda bolsa, ol r-e deň. Zynjyrdan geçýän tok, takmynan, durnukly (kwazistasionar).



3.2-nji surat. Elektrik zynjyry

Ç ö z ü l i ş i : Elektrik generatory 3.2-nji suratda görkezilen. Kadalaşan iş halynda kondensatorlaryň plastinalaryndaky U_c potensiallaryň tapawudy $U_ý > U_c > U_s$ çäkde üýtgeýär. Bu ýerde U_s çyranyň sönmek potensialy. Kondensatoryň zarýady diňe ululygy boýunça üýtgeýär, alamaty bolsa hemişelik bolup galýar.

Elektrik generatordaky signalyň τ yrgyldy periodyny kondensatoryň τ_Z zarýadlanmak we τ_{ZS} zarýadsyzlanmak wagtlary bilen aňladyp bolar:

$$\tau = \tau_Z + \tau_{ZS}. \qquad (1)$$

Zynjyrdaky toguň, takmynan, üýtgemeýändigi sebäpli $U_C = (t)$ kondensatoryň naprýaženiýesiniň wagta baglylygyny kesgitlemek üçin Kirhgofyň düzgünlerini 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, $I_{çy}$ – neonly çyranyň zynjyrlaryndan geçýän toguň güýji.

Suratda görkezilen I we II ýapyk kontura seredeliň. Kontur boýunça aýlanmagyň položitel ugry hökmünde sagat peýkamynyň aýlanma ugruny kabul edeliň. Onda I we II konturlar üçin:

$$\left.\begin{aligned} IR + U_C &= \varepsilon \\ I_{çr} r + U_C &= 0 \end{aligned}\right\}. \tag{3}$$

Zarýadlanmak we zarýadsyzlanmak hallary üçin (2) we (3) deňlikler ulgamynyň çözgüdi dürli bolar.

• **Kondensatoryň zarýadlanmak haly.** Bu halda $r_{çy} = \infty$, $I_ç = 0$ we (2) deňligiň esasynda $I = I_c$ öz gezeginde kondensatoryň zynjyryndaky tok güýji:

$$I_C = C\frac{dU_C}{dt}. \tag{4}$$

Bu hal üçin (3) deňlikler ulgamynyň birinji deňlemesine laýyklykda:

$$RC\frac{dU_C}{dt} + U_C = \varepsilon. \tag{5}$$

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) deňligi:

$$\frac{dU}{\varepsilon - U_C} = \frac{dt}{RC}$$

görnüşe getirip, integrirläp alarys:

$$\ln(\varepsilon - U_C)\Big|_{UZS}^{UC} = -\frac{t}{RC}.$$

Bu ýerden bolsa, zarýadlanmak şerti üçin aşakdaky deňligi alarys:

$$\tau_Z = RC\ln\frac{\varepsilon - U_{ZS}}{\varepsilon - U_Z}. \tag{6}$$

• **Kondensatoryň zarýadsyzlanmak haly.** Zarýadsyzlanmak pursady kondensatoryň üsti bilen elektrik togunyň güýji öz ugruny üýtgedýär, U_C bolsa üýtgemän galýar. Bu hal üçin Kirhgofyň deňlemeleri aşakdaky görnüşi alar:

$$\left.\begin{aligned} I &= I_{çy} - I_C \\ IR + U_ç &= \varepsilon \\ I_{çy} r &= U_C \end{aligned}\right\}. \tag{7}$$

(7) deňlemeler ulgamyndan (4) deňligi peýdalanyp alarys:

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

Bu ululygy (7) deňlemeler ulgamynyň ikinji deňligini ulanyp taparys:

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

ýa-da $t = 0$ bolanda, $U_c = U_z$ halda bolsa $t = \tau_{ZS}$; $U_C = U_{ZS}$ başlangyç we ahyrky şertlerini özünde saklaýan täze deňleme alarys:

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

Alnan (8) deňligi integrirläp, zarýadsyzlanmak wagtyny taparys:

$$\tau_{zs} = RC\ln\frac{\varepsilon - U_z\left(1 + \frac{R}{r}\right)}{\varepsilon - U_{ZS}\left(1 + \frac{R}{r}\right)}. \tag{9}$$

Soňra (6) we (5) deňlikleri peýdalanyp, $\tau = \tau_Z + \tau_{ZS}$ deňligi kesgitleýäris.

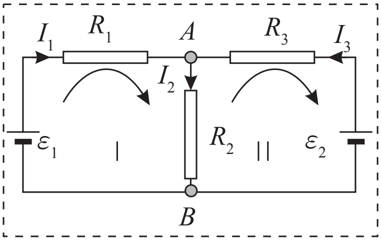
Eger $r << R$ hasap etsek, onda kondensatoryň zarýadsyzlanmak pursadynda elektrik çyranyň garşylygy hasaba alynmaýar. Bu ýagdaýda (9) deňlikdäki logarifmanyň aşagyndaky aňlatma U_Z/U_{ZS}-e deň bolar. Bu ululyk, takmynan, bire deňdir. Şonuň üçin hem $\tau_{ZS} << \tau_Z$ we napryaženiýäniň U_Z-dan U_{ZS}-e çenli pese düşmegi, takmynan, pursatlaýyn bolup geçýär.

Eger $r \approx R$ bolsa, onda $\varepsilon \leq U_z\left(1 + \frac{R}{r}\right)$ yrgyldyly hal bozulýar we zynjyrdan:

$I = I_{cy} - r/(R + r)$ we $I_C = 0$ hemişelik elektrik togy geçer.

43-nji mesele. Elektrik zynjyrynda (*3.3-nji surat*) şekillendirilen tok çeşmeleriniň EHG-leri $\varepsilon_1 = 8V$; $\varepsilon_1 = 6V$ we garşylyklaryň $R_1 = 4\ Om$, $R_2 = 6\ Om$, $R_3 = 8\ Om$ ululyklarynda, R_2 garşylygyň uçlaryndaky napryaženiýäniň pese düşmegini kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i : Suratdaky AB nokatlaryň arasyndaky U_{AB} napryaženiýäniň ululygyny tapmak üçin Kirhgofyň düzgünlerinden peýdalanalyň. Onuň üçin I we II ýapyk konturlarda elektrik togunyň



3.3-nji surat.
Ýapyk elektrik zynjyry

položitel ugry hökmünde sagat peýkamynyň aýlanma ugruny, tok çeşmeleriniň içinde bolsa, otrisatel gysgyçdan položitel gysgyja akýan togy kabul edeliň.

Elektrik shemadaky (*3.3-nji surat*) A düwün üçin Kirhgofyň birinji düzgünini ulanalyň:

$$I_1 + I_3 - I_2 = 0. \tag{1}$$

Suratdaky I we II konturlar üçin Kirhgofyň ikinji düzgüni esasynda:

$$\begin{aligned} I_1 R_1 + I_2 R_2 &= \varepsilon_1, \\ -I_3 R_3 - I_2 R_2 &= -\varepsilon_2. \end{aligned} \tag{2}$$

ýa-da

$$I_3 R_3 + I_2 R_2 = \varepsilon_2. \tag{3}$$

Zynjyryň birhilli bölegi üçin Omuň kanunyna laýyklykda:

$$U_{AB} = I_2 R_2. \tag{4}$$

Diýmek, meseläni çözmeklik I_2 tok güýjüni tapmaga syrykdyrylýar. Munuň üçin (2) we (3) deňliklerdäki ε_1, ε_2, R_1, R_2, we R_3 ululyklaryň meseläniň şertine görä (2) we (3) deňlikler boýunça:

$$\begin{aligned} 4I_1 + 6I_2 &= 8, \\ 8I_3 + 6I_2 &= 6, \end{aligned} \tag{5}$$

$$4I_3 + 3I_2 = 3.$$

Bu deňliklerden I_1-iň bahasy:

$$10I_2 - 4I_3 = 8,$$

bu ýerden bolsa $4I_3 = 10I_2 - 8$ gelip çykýar.

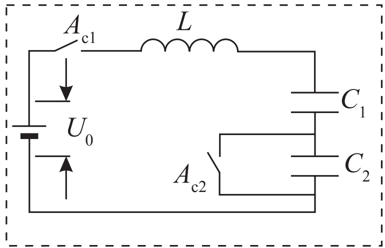
Indi bolsa, $4I_3$-üň bahasyny (6) deňlikde goýup taparys:

$$I_2 = \frac{11}{13} A.$$

Soňra meselede soralýan U_{AB}-niň bahasyny taparys:

$$U_{AB} = I_2R_2 = \frac{11}{13}6V \approx 5V.$$

44*-nji mesele. Başda meselä degişli çyzgyda (*3.4-nji surat*) görkezilen $A_{ç2}$ we $A_{ç1}$ açarlar 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.



3.4-nji surat. Elektrik zynjyry

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:

$$A_1 = W_1, \tag{1}$$

$$U_0 = \frac{q^2_{1\,\text{iňuly}}}{2C_1}.$$

Bu ýerden:

$$q_{1\text{iňuly}} = 2C_1U_0,$$

bu ýerde U_0 – tok çeşmesiniň gysgyçlaryndaky potensiallaryň tapawudy. A_1 açar ýazdyrylandan soňra bu $q_{1\text{iň uly}}$ 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 baglanyşykdadyr:

$$q = q_{1\text{ iň uly}} + q_2. \tag{2}$$

Indi C_2 kondensatoryň $q_{2\text{iň uly}}$ iň uly zarýadyny tapmak üçin ýene-de energiýanyň saklanmak kanunyndan peýdalanalyň. Açar A_2

ýazdyrylandan soňra tok çeşmesiniň işi kondensatoryň energiýasynyň artmagyna deňdir:

$$A_{\text{el çeş}} = \Delta W; \quad A_{\text{el çeş}} = q_{2\text{ iň uly}}\, U_0. \tag{3}$$

Kondensatoryň energiýasynyň üýtgemegi:

$$\Delta W = \frac{(q_{1\text{iňuly}} + q_{2\text{iňuly}})^2}{2C_1} + \frac{q^2_{2\text{iňuly}}}{2C_2} - \frac{q^2_{1\text{iňuly}}}{2C_1}. \tag{4}$$

ýa-da

$$q_{2\text{iňuly}} U_0 = \frac{(q_{1\text{iňuly}} + q_{2\text{iňuly}})^2}{2C_1} + \frac{q^2_{2\text{iňuly}}}{2C_2} - \frac{q^2_{1\text{iňuly}}}{2C_1}.$$

Bu ýerden:

$$q_{2\text{iňuly}} U_o = \frac{q^2_{1\text{iňuly}}}{2C_1} + \frac{q_{1\text{iňuly}} q_{2\text{iňuly}}}{2C_1} + \frac{q^2_{2\text{iňuly}}}{2C_1} + \frac{q^2_{2\text{iňuly}}}{2C_2} - \frac{q^2_{1\text{iňuly}}}{2C_1}.$$

Diýmek,

$$U_0 = \frac{q_{1\text{iňuly}}}{2C_1} + \frac{q_{2\text{iňuly}}}{2C_1} + \frac{q_{2\text{iňuly}}}{2C_2},$$

$$\frac{q_{2\text{iňuly}}}{2}\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}\right) = U_o - \frac{q_{1\text{iňuly}}}{C_1}.$$

Bu aňlatmany (1) deňligiň esasynda şeýle ýazyp bileris:

$$\frac{q_{2\text{iňuly}}}{2}\left(\frac{C_1 + C_2}{C_1 C_2}\right) = U_0 - \frac{2C_1 U_o}{C_1} = - U_o.$$

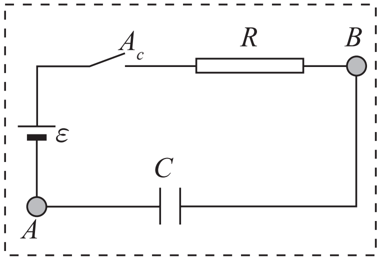
Ýa-da

$$q_{2\text{iňuly}} = - 2U_o \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = - \frac{2C_1 C_2 U_0}{C_1 + C_2}. \tag{5}$$

Bu (5) aňlatmanyň sag tarapyndaky minus alamaty biziň öňki q_1 zarýad köpelýär diýen çaklamamyzyň nädogrudygyny, ýagny q_1 zarýadyň azalýandygyny aňladýar. Özi hem C_2 kondensatoryň ýokarky plastinasynda otrisatel, aşaky plastinasynda bolsa, položitel zarýad toplanar.

45-nji mesele. Elektrik zynjyrynda (*3.5-nji surat*) 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.

Ç ö z ü l i ş i : Meseläni çözmek üçin energiýanyň saklanmak kanunyndan peýdalanalyň.



3.5-nji surat. Elektrik zynjyry

1. Bu kanuna laýyklykda tok çeşmesiniň işi daşky zynjyrdaky bölünip çykýan Joulyň we Lensiň ýylylygynyň we zarýadlanan kondensatoryň energiýasynyň jemine deňdir:

$$dA_z = dQ_{L.J} + dW_C, \qquad (1)$$

bu ýerde $dW_C - dt$ wagt aralygynda kondensatoryň energiýasynyň artmagy. Nazaryýetden mälim bolşy ýaly:

$$dA_z = \varepsilon\, Idt;\ dQ_{(L.J.)} = I^2Rdt \quad \text{we} \quad dW_C = d\left(\frac{q^2}{2C}\right) = \frac{qdq}{C}.$$

Bu deňlikleri göz öňünde tutup, (1) deňlemäni aşakdaky görnüşe getireris:

$$\varepsilon Idt = I^2Rdt + q\frac{dq}{C}. \qquad (2)$$

Kondensatoryň plastinalaryndaky potensiallaryň tapawudy tok çeşmesiniň ε EHG-sine deň bolýança, ýagny kondensatorda $q = C\varepsilon$ zarýad toplanýança, zynjyrdan akýan I tok güýji aşakdaky görnüşde aňladylýar:

$$I = \frac{dq}{dt}. \qquad (3)$$

(2) deňligi dt-ä gysgaldyp we (3) deňligi göz öňünde tutup alarys:

$$\varepsilon = \frac{dq}{dt}R + \frac{q}{C},$$

$$\varepsilon = \frac{CRdq + qdt}{Cdt}.$$

Bu ýerden:

$$\varepsilon\, Cdt = CRdq + qdt.$$

Soňky deňligi $dt\,(C\varepsilon - q) = CRdq$ görnüşe getirip bolar ýa-da

$$\frac{dt}{CR} = \frac{dq}{C\varepsilon - q}.$$

Elektrik zynjyryndaky $A_ç$ 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:

$$\int_0^t \frac{dt}{CR} = \int_0^q \frac{dq}{C\varepsilon - q},$$

ýagny $\frac{t}{CR} = -\ln\frac{C\varepsilon - q}{C\varepsilon}$. Bu deňlik potensirlenenden soňra:

$$q = C\varepsilon\left[1 - \exp\left(-\frac{t}{CR}\right)\right] \tag{4}$$

görnüşi alar. Kondensatorda toplanýan zarýad özüniň iň uly $C\varepsilon$ bahasyna asimptotik ýakynlaşýar, ýagny $t \to \infty$ wagtda q özüniň maksimal bahasyna ýeter.

2. Kondensatoryň zarýadlanma wagtynyň dowamynda ($t \to \infty$) tok çeşmesiniň ýerine ýetirýän işi:

$$A_z = \int_0^\infty \varepsilon I dt.$$

Tok çeşmesinden dt wagtda akyp geçýän zarýadlaryň mukdarynyň (3) deňligiň esasynda $dq = Idt$ we kondensatoryň zarýadlanmasynyň dowamlylygynda tok çeşmesinden q gutarnykly zarýadyň geçýändigini göz öňünde tutup alarys:

$$A_z = \varepsilon \int_0^q dq = C\varepsilon^2. \tag{5}$$

3. Kondensatoryň zarýadlanmak pursadynda zynjyrdaky R garşylykda bölünip çykýan $Q_{(L.J.)}$ ýylylyk mukdaryny (1) deňlemeden alarys:

$$Q_{(L.J.)} = A_z - W,$$

bu ýerde $W = q_k^2/(2C) = C\varepsilon^2/2 -$ zarýadlanan kondensatoryň energiýasydyr. Onda (5) deňligi göz öňünde tutup, meseläniň şertinde talap edilýän, daşky zynjyrdan bölünip çykýan ýylylyk mukdaryny alarys.

$$Q_{(L.J.)} = \frac{C\varepsilon^2}{2}. \tag{6}$$

Bellik. Daşky zynjyrdan bölünip çykýan, (6) deňlik bilen aňladylan ýylylyk mukdaryny başga usul bilen, ýagny Joulyň we Lensiň kanunynyň üsti bilen hem alyp bolar. Joulyň we Lensiň kanuny boýunça $t_1 = 0$-dan $t_2 = \infty$-e çenli wagt aralygynda bölünip çykýan $Q_{(L.J.)}$ ýylylyk mukdaryny:

$$Q_{(L.J.)} = \int_0^\infty I^2 R dt \tag{7}$$

görnüşde alalyň. Bu deňlikdäki I tok güýjüni (3) deňlik boýunça ondaky q zarýada derek bolsa, (4) deňligi ulanyp:

$$I = \frac{\varepsilon}{R}\exp\left(-\frac{t}{CR}\right)$$

baglanyşygy alarys. Bu baglanyşygy göz oňünde tutup, (7) deňlikden alarys:

$$Q_{(L.J.)} = \frac{\varepsilon^2}{R^2} R \int_0^\infty e^{-\frac{2t}{CR}} dt = \frac{C\varepsilon^2}{2}.$$

Bu bolsa, ýylylyk balansynyň deňlemesi boýunça alnan (6) deňlikdir.

46*-njy mesele. Birhilli däl ýapyk zynjyrdaky tok güýji $I = 5\ A$ bolanda onuň daşky zynjyrdan bölünip çykýan peýdaly kuwwat özüniň iň uly $P_{i.u.} = 5\ Wt$ bahasyna eýe bolýar. Tok çeşmesiniň içki garşylygyny we elektrik hereketlendiriji güýjüni kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i : Joulyň we Lensiň kanuny boýunça zynjyryň daşky R garşylygynda bölünip çykýan peýdaly P_p kuwwat:

$$P_p = I^2 R, \tag{1}$$

bu ýerde I – birhilli däl zynjyrdan akýan toguň güýji. Ýapyk zynjyr üçin Omuň kanunyna laýyklykda:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}.$$

Muny göz öňünde tutup, (1) deňligi ýazalyň:

$$P_p = \frac{\varepsilon^2 R}{(R + r)^2}. \tag{2}$$

Eger:

$$\frac{dP}{dR} = 0 \tag{3}$$

şert ýerine ýetse, daşky zynjyrdan iň uly kuwwat bölünip çykýar. Ýokardaky (2) deňligi we (3) şerti göz öňünde tutup, iň uly daşky garşylygy kesgitläliň:

$$\frac{d}{dR}\left[\frac{\varepsilon^2 R}{(R + r)^2}\right] = \frac{\varepsilon^2 (R + r)^2 - \varepsilon^2 R \cdot 2(R + r)}{(R + r)^2} = 0.$$

Bu ýerden:

$$(R + r)^2 - 2R\,(R + r) = 0,$$

$$(R + r)\,(R + r - 2R) = 0,$$

$$R + r - 2R = 0.$$

Agzalan (3) deňligiň şertine laýyk gelýän iň uly garşylyk:

$$R = R_{\text{iň uly}} = r. \tag{4}$$

Diýmek, (1) deňlik boýunça:

$$P_{\text{iň uly}} = I^2_{\text{iň uly}} r.$$

Bu ýerden:

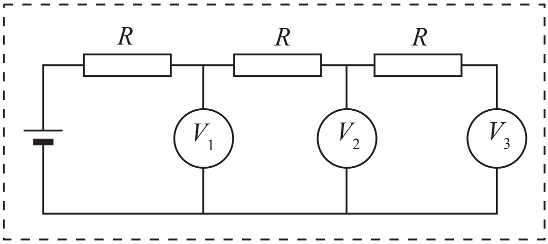
$$r = \frac{P_{\text{iň uly}}}{I^2_{\text{iň uly}}} = 0,2\ Om. \tag{5}$$

Indi (4) şerti hasaba alyp, (2) deňlemeden tok çeşmesiniň EHG-sini taparys:

$$\varepsilon = \sqrt{4rP_{\text{iň uly}}} = \sqrt{\frac{4P^2_{\text{iň uly}}}{I^2_{\text{iň uly}}}} = \frac{2P_{\text{iň uly}}}{I_{\text{iň uly}}}. \tag{6}$$

Diýmek,

$$\varepsilon = \frac{2P_{\text{iň uly}}}{I_{\text{iň uly}}} = 2V.$$



3.6-njy surat. Yzygider birikdirilen garşylyklar

47*-nji mesele. Elektrik zynjyry birmeňzeş ululykly R garşylyklardan we içki garşylyklary özara deň bolan woltmetrlerden düzülen (*3.6-njy surat*). Eger birinji woltmetr $U_1 = 10\ V$ we üçünji woltmetr $U_3 = 8\ V$ naprýaženiýäni görkezýän bolsa, ikinji woltmetriň görkezýän naprýaženiýesi näçe bolar?

Ç ö z ü l i ş i : Suratdaky 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) we (4) deňliklerden:

$$\frac{I_2 + I_3}{I_3} = \frac{U_1 - U_2}{U_2 - U_3}. \qquad (5)$$

Başga bir tarapdan: $I_1 = \frac{U_1}{r}$, $I_2 = \frac{U_2}{r}$, $I_3 = \frac{U_3}{r}$, onda

$$\frac{I_2 + I_3}{I_3} = \frac{U_2 + U_3}{U_3}. \qquad (6)$$

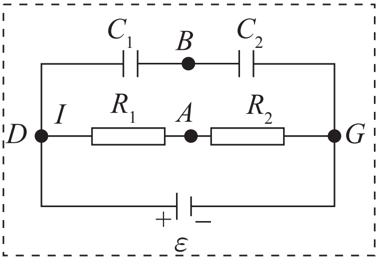
Soňky (5) we (6) aňlatmalary özara deňläp taparys:

$$U_2^{(1,2)} = \frac{-U_3 \pm \sqrt{U_3^2 + 4(U_3^2 + U_3U_1)}}{2} = -\frac{U_3}{2} \pm \sqrt{\frac{U_3^2}{4} + U_3^2 + U_3U_1},$$

$$U_2^{(1)} = -\frac{U_3}{2} \pm \sqrt{\frac{U_3^2}{4} + U_3^2 + U_3U_1},$$

$$U_2^{(2)} = -\frac{U_3}{2} - \sqrt{\frac{U_3^2}{4} + U_3^2 + U_3U_1}.$$

Birinji kök meseläniň şertini kanagatlandyrýar, diýmek ikinji woltmetr $U_2 = 8{,}6\ V$ naprýaženiýäni görkezer.



3.7-nji surat. Tok çeşmesinden, kondensatorlardan we garşylyklardan düzülen elektrik zynjyry

48*-nji mesele. Elektrik zynjyrynyň AB nokatlarynyň arasyndaky potensiallaryň tapawudyny kesgitlemeli (*3.7-nji surat*). Çyzgydaky ulanylan gurluşlaryň ululyklary: C_1=0,1 *mkF*; C_2=0,2 *mkF*; R_1=1 *Om*; R_2 =2 *Om*; ε = 3*V*. Tok çeşmesiniň içki garşylygy hasaba alynmaýar. Kondensatorlar tok çeşmesine birikdirilmänkä zarýadlandyrylmadyk.

Ç ö z ü l i ş i : Çyzgydaky (*3.7-nji surat*) $\varepsilon R_1AR_2\varepsilon$ ýapyk zynjyr üçin:

$$I = \frac{\varepsilon}{R_1 + R_2}. \qquad (1)$$

Omuň kanuny bilen kesgitlenilýän toguň ugry sagat peýkamynyň ugry bilen gabat gelýär.

Elektrik meýdanynyň A nokatdaky potensialy D nokatdaka garanyňda kiçidir:

$$IR_1 = \varphi_D - \varphi_A. \qquad (2)$$

Kondensatorlaryň naprýaženiýelerini degişlilikde U_1 we U_2 bilen belgiläp ýazyp bileris:

$$\varepsilon = U_1 + U_2. \qquad (3)$$

Kondensatorlar yzygider birikdirilendigi üçin, olardaky zarýadlaryň ululygy özara deňdir:

$$C_1U_1 = C_2U_2. \qquad (4)$$

(3) we (4) aňlatmalardan C_1 kondensatordaky naprýaženiýäni kesgitläliň:

$$U_1 = \varepsilon \frac{C_2}{C_1 + C_2}. \qquad (5)$$

Elektrik zynjyryndaky B nokadyň potensialy D nokatdaky potensialdan U_1 ululyga kiçidir:

$$U_1 = \varphi_D - \varphi_B. \qquad (6)$$

(6) we (2) deňliklerden:

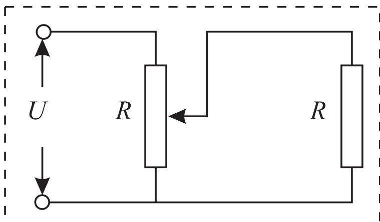
$$\varphi_A - \varphi_B = \varphi_D - IR_1 - (\varphi_D - U_1) = U_1 - IR_1.$$

(5) we (1) deňliklerden U_1-iň we I-niň bahalaryny soňky aňlatmada ornuna goýup alarys:

$$\varphi_A - \varphi_B = \varepsilon \frac{C_2}{C_1 + C_2} - \frac{\varepsilon}{R_1 + R_2} R_1 = \varepsilon \left(\frac{C_2}{C_1 + C_2} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right). \qquad (7)$$

San bahalaryny goýup taparys: $\varphi_A - \varphi_B = 3V$.

49*-njy mesele. Goşmaça R garşylykdaky naprýaženiýäni sazlamak üçin 3.8-nji suratda şekillendirilen elektrik zynjyry ýygnalypdyr. Goşmaça garşylygyň we sazlaýjy reostatyň garşylyklary R-e deň. Daşky R garşylyk reostatyň ýarysyna birikdirilipdir. Girişdäki naprýaženiýe hemişelik U-a deň. Eger-de goşmaça garşylygyň bahasy iki esse artdyrylsa, ondaky naprýaženiýe nähili üýtgär?



3.8 -nji surat. Garşylyklardan düzülen elektrik zynjyry

Çözülişi: Reostaty goşmaça garşylyk bilen birlikde:

$$R_1 = \frac{R}{2} + R' = \frac{R}{2} + \frac{R\frac{R}{2}}{R + \frac{R}{2}} = \frac{R}{2} + \frac{R^2}{3R} = \frac{R}{2} + \frac{R}{3} = \frac{5}{6}R$$

garşylygy bolan ikinji reostat bilen çalşyryp bolar. Şunlukda $\frac{R}{2}$ we R garşylyklar parallel birikdirilendir. Bu halda zynjyrdaky toguň güýji:

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{U}{\frac{5}{6}R} = \frac{6U}{5R}.$$

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 daşky garşylyk $2R$-e deň bolsa, onda toguň güýji:

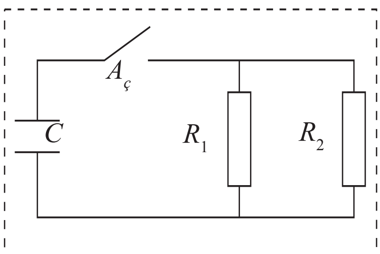
$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{U}{\dfrac{R}{2} + \dfrac{(R/2)2R}{R/2 + 2R}} = \frac{10}{9}\frac{U}{R}.$$

Goşmaça garşylykdaky naprýaženiýe bolsa aşakdaky deňlige deňdir:

$$U_{2g} = U - I_2 \frac{R}{2} = U - \frac{10}{9}\frac{U}{R}\frac{R}{2} = U - \frac{5}{9}U = \frac{4}{9}U.$$

Şeýlelikde, daşky garşylykdaky naprýaženiýe:

$$k = \frac{U_{2g}}{U_{1g}} = \frac{4}{9}U\frac{5}{2U} = \frac{10}{9} \text{ esse üýtgär.}$$



3.9-njy surat. Garşylyklardan we kondensatordan düzülen elektrik zynjyry

50*-nji mesele. Sygymy C bolan kondensator U naprýaženiýä çenli zarýadlandyrylyp, R_1 we R_2 garşylyklar bilen elektrik zynjyryna 3.9-njy suratda görkezilişi ýaly birikdirilen. Kondensatoryň zarýadsyzlanmagy netijesinde R_1 garşylykda bölünip çykýan ýylylyk mukdaryny kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i : Parallel birikdirilendikleri üçin, R_1 we R_2 garşylyklaryň uçlaryndaky naprýaženiýe özara deňdir. Bu garşylyklardaky toguň kuwwaty degişlilikde:

$$P_1 = \frac{U^2}{R_1}, \;\; P_2 = \frac{U^2}{R_2}. \qquad (1)$$

Bu garşylyklardan bölünip çykýan ýylylyk mukdarynyň gatnaşygy olaryň degişli garşylyklarynyň ters gatnaşyklary ýalydyr:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_2}{R_1}. \qquad (2)$$

Bu garşylyklardan bölünip çykýan umumy ýylylyk mukdary:

$$Q = Q_1 + Q_2. \tag{3}$$

Bu ýylylyk kondensatorda toplanan energiýa deňdir:

$$Q = \frac{1}{2} CU^2. \tag{4}$$

Onda (2) we (3) aňlatmalardan:

$$Q_1 = \frac{R_2}{R_1} Q_2 = \frac{R_2}{R_1}(Q - Q_1)$$

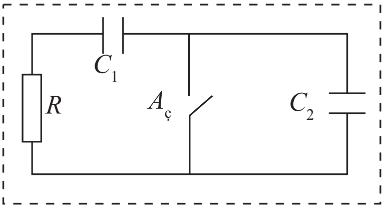
ýa-da

$$Q_1\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = \frac{R_2}{R_1} Q.$$

Bu ýerden:

$$Q_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} Q = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \frac{1}{2} CU^2.$$

51*-nji mesele. Zynjyrdaky C_1 kondensator R garşylyk arkaly zarýadsyzlanýar (*3.10-njy surat*). Tok güýji I_0 baha ýetende $A_ç$ açar ýazdyrylýar. Şol pursatdan başlap, garşylykda bölünip çykýan Q ýylylyk mukdaryny kesgitlemeli.



3.10-njy surat. Kondensatorlardan we garşylykdan düzülen elektrik zynjyry

Ç ö z ü l i ş i : Garşylygyň üstünden geçýän toguň güýji I_0 ululyga ýeten pursadynda C_1 sygymly kondensatoryň zarýady:

$$q_1 = C_1 I_0 R. \tag{1}$$

Şol wagtda kondensatorda toplanan energiýa:

$$W_1 = \frac{q_1^2}{2C_1}. \tag{2}$$

Açar ýazdyrylandan soňra, kondensator doly zarýadsyzlanan halatynda onuň umumy zarýady q_1 bolar. Her bir kondensatoryň plastinalarynyň arasyndaky naprýaženiýe özara deňdir. Bu şertleri iki deňleme görnüşinde ýazalyň:

$$q'_1 + q'_2 = q_1, \quad \frac{q'_1}{C_1} = \frac{q'_2}{C_2}, \tag{3}$$

bu ýerde q'_1 we q'_2 zarýadsyzlanmanyň ahyrynda degişlilikde C_1 we C_2 kondensatorlardaky zarýadlar. Bu (3) aňlatmadan gelip çykýar:

$$q'_1 = q_1 - q'_2 = q_1 - \frac{q'_1}{C_1}C_2,$$

$$q'_1 + \frac{q'_1}{C_1}C_2 = q_1,$$

$$q'_1 = \frac{q_1 C_1}{C_1 + C_2}, \;\; q'_2 = \frac{q_1 C_2}{C_1 + C_2}.$$

Zarýadsyzlanmadan soň ulgamyň doly energiýasy:

$$W_2 = \frac{(q'_1)^2}{2C_1} + \frac{(q'_2)^2}{2C_2} = \left(\frac{q_1 C_1}{C_1 + C_2}\right)^2 \frac{1}{2C_1} + \left(\frac{q_1 C_2}{C_1 + C_2}\right)^2 \frac{1}{2C_2} = \frac{q_1^2}{2(C_1 + C_2)}.$$

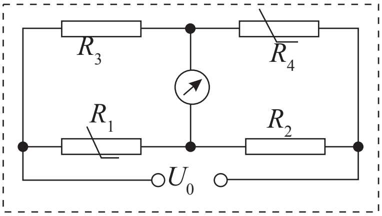
Şol wagtyň dowamynda garşylykda bölünip çykýan ýylylyk mukdary:

$$Q = W_1 - W_2 = \frac{q_1^2}{2C_1} - \frac{q_1^2}{2(C_1 + C_2)}.$$

(1) deňligi hasaba alyp, R garşylykda bölünip çykýan ýylylyk mukdaryny hasaplamaga mümkinçilik berýän aňlatmany alarys:

$$Q = \frac{(I_0 R)^2 C_2}{2(C_1 + C_2)}.$$

52*-nji mesele. Elektrik zynjyry her biriniň garşylygy R bolan iki sany birmeňzeş R_2, R_3 rezistordan we R_1, R_4 çyzykly däl rezistordan ybarat (*3.11-nji surat*). 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 naprýaženiýesinden galwanometrden akýan tok nola deň bolar?



3.11-nji surat. Yzygider we parallel birikdirilen rezistorlardan düzülen elektrik zynjyry

Ç ö z ü l i ş i : Rezistorlardaky naprýaženiýeleriň 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:

$$U_1 = \alpha I^2, \quad U_2 = IR, \quad U_3 = IR, \quad U_4 = \alpha I^2.$$

Onda (1) deňligi aşakdaky ýaly ýazyp bolar:

$$\frac{\alpha I^2}{IR} = \frac{IR}{\alpha I^2}.$$

Bu ýerden:

$$I = \frac{R}{\alpha}. \qquad (2)$$

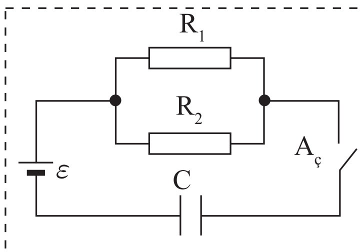
Diýmek,

$$U_0 = U_1 + U_2 = \alpha I + IR = \alpha\frac{R^2}{\alpha^2} + \frac{R}{\alpha} = \frac{R^2}{\alpha} + \frac{R^2}{\alpha} = 2\frac{R^2}{\alpha}.$$

Onda:

$$U_0 = 2\frac{R^2}{\alpha}.$$

53*-nji mesele. Başda zarýadlandyrylmadyk C sygymly kondensatoryň naprýaženiýesi U baha ýetýänçä $A_ç$ açar utgaşdyrylgy saklanylýar (*3.12-nji surat*). Şol wagtyň dowamynda R_2 garşylykda bölünip çykýan Q ýylylyk mukdaryny kesgitlemeli. Tok çeşmesiniň EHG-si ε, onuň içki garşylygyny hasaba almaly däl.



3.12-nji surat. Kondensatordan, garşylyklardan we tok çeşmesinden düzülen elektrik zynjyry

Ç ö z ü l i ş i : Goý, kondensatordaky naprýaženiýe U bolan wagt pursadyna çenli tok çeşmesinden q zarýad akyp geçsin. Onda energiýanyň saklanmak kanunyna görä, toguň $A = I\varepsilon\Delta t = \varepsilon q$ işi:

$$\varepsilon q = Q + \frac{q^2}{2C},$$

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 mukdarynyň gatnaşyklarynyň:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

deňligini hasaba alyp, aşakdaky deňlemeler ulgamyny alarys:

$$\begin{cases} \varepsilon = \dfrac{CU^2}{2} + (Q_1 + Q_2), \\ \dfrac{Q_1}{Q_2} = \dfrac{R_2}{R_1}. \end{cases}$$

Bu deňligi Q_2-ä görä çözüp taparys:

$$Q_1 = \frac{R_2}{R_1} Q_2 ; \qquad CU\varepsilon = \frac{CU^2}{2} + \left(\frac{R_2}{R_1} + 1\right) Q_2 .$$

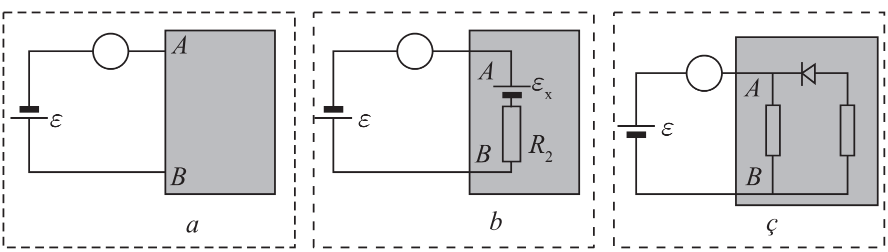
$$Q_2 = \frac{\left(CU\varepsilon - \dfrac{CU^2}{2}\right)}{R_2 + R_1} R_1 = \frac{CUR_1(2\varepsilon - U)}{2(R_2 + R_1)}.$$

54*-nji mesele. EHG-si ε =1,5 V bolan tok çeşmesi A we B gysgyja birikdirilende ampermetr 1 A tok güýjüni görkezdi (*3.13-nji a surat*). Bu tok çeşmesiniň gysgyçlary alamaty 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 haldakysynyň garşysyna ugrukdyrylan.



3.13-nji surat. Gara guta birikdirilen elektrik zynjyry

Birinji halda gutuda tok çeşmesiniň bardygy düşnüklidir (eger şeýle bolmadyk bolsa, onda zynjyr ýazdyrylanda tok garşylykly tarapa ugrugardy). Bu halda gara gutuda mümkin bolaýjak ýönekeýje shema – EHG-si ε_x bolan tok çeşmesi we oňa yzygider birikdirilen R_x garşylyk bolmaly (*1.13-nji b surat*).

Bu halda:

$$\begin{cases} \dfrac{\varepsilon_x + \varepsilon}{R_x} = \dfrac{\varepsilon_x + 1,5}{R_x} = 1A, \\ \dfrac{\varepsilon_x - \varepsilon}{R_x} = \dfrac{\varepsilon_x - 1,5}{R_x} = 0,5A, \end{cases}$$

$$\begin{cases} \varepsilon_x + 1,5 = R_x, \\ \\ \varepsilon_x - 1,5 = 0,5R_x, \end{cases}$$

bu ýerde $\varepsilon_x = 4{,}5$ *V*, $R_x = 6$ *Om*.

Diýmek, R_x ululyga tok çeşmesiniň içki garşylygynyň hem girip biljekdigini belläliň.

Ikinji hal mümkin bolan çyzgylara baýdyr. Düzümine yzygider birikdirilen garşylyk we tok çeşmeli zynjyrdan başga-da (bu halda $\varepsilon_x = 0{,}5$ V, $R_x = 2$ *Om*), çyzykly däl gurluşlary (diodlary, tranzistorlary we beýl.) özünde saklaýan elektrik zynjyrlar hem mümkindir. Munuň ýaly ýönekeýje elektrik zynjyrlaryň biri 3.13-nji *ç* suratda görkezilen.

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 we ýumuşlar

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 näme?
5. Birhilli zynjyryň bölegi üçin Omuň kanuny.
6. Geçirijiniň garşylygy diýlip nämä aýdylýar? Geçirijiniň garşylygynyň onuň geometrik ölçegleri we temperaturasy bilen baglanyşygy.
7. Garşylyklaryň yzygider we parallel birikdirilişi.

8. Elektrik hereketlendiriji güýç näme?
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. Joulyň we Lensiň kanunynyň integral görnüşde aňladylyşy.
14. Tok çeşmesiniň işi. Birmeňzeş EHG-li tok çeşmeleriniň yzygider we parallel birikdirilişi.
15. Ulanyjylaryň nähili garşylygynda ondan bölünip çykýan kuwwat iň uly baha eýedir? Bu halda onuň PTK-sy nämä deňdir?

3.2. ZYNJYRYŇ BÖLEGI ÜÇIN OMUŃ KANUNY

3.2-nji gönükme

3.1. Tekiz kondensatoryň plastinalarynyň arasy udel garşylygy $\rho = 100\ GOm \cdot m$ bolan aýna bilen doldurylan. Kondensatoryň sygymy $C = 4\ nF$. Kondensatora $U = 2\ kV$ naprýaženiýe goýlanda ýüze çykýan I ýitgi tok güýjüni hasaplamaly.

3.2. Tekiz kondensatoryň plastinalarynyň arasy olara perpendikulýar ugur boýunça udel geçirijiligi $\gamma_1 = 1 \cdot 10^{-12}\ Om^{-1}m^{-1}$-den $\gamma_2 = 2 \cdot 10^{-12}\ Om^{-1}m^{-1}$-e çenli gönüçyzykly 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 $U = 300\ V$ naprýaženiýe goýlanda ondan geçýän I tok güýjüni kesgitlemeli.

3.3. Kesgitli $\tau = 20\ s$ wagt aralygynda tok güýji $I_1 = 0$-dan $I_2 = 5\ A$-e çenli deňölçegli artýan bolsa geçirijiden geçen zarýady kesgitlemeli.

3.4. Gyzdyrylýan sapajykly çyra $I = 0,5\ A$ tok güýji bilen işleýär. Diametri $d_1 = 0,1\ mm$ bolan çyranyň wolfram sapajygynyň işleýän halatyndaky temperaturasy $t = 2200°C$. Elektrik togy 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.

3.5. Uzynlygy $l = 2m$ bolan geçirijidäki tok güýjüniň dykyzlygy $j = 10^6 A/m^2$-a deň. Geçirijiniň uçlarynda $U = 2V$ potensiallaryň tapawudy saklanýan bolsa, onuň ρ udel garşylygyny kesgitlemeli.

3.6. Galyňlygy $a = 0{,}2\ mm$, ini $b = 3\ mm$ nikelin materialdan ýasalan çekiden (şinadan) garşylygy $R = 2{,}5\ Om$ bolan geçirijini taýýarlamak zerur. Eger nikelin geçirijiniň özüniň üstünden geçirip biljek tok güýjüniň dykyzlygynyň ýokary çägi $j_{\text{iň uly}} = 0{,}2\ A/mm^2$ bolsa, agzalan garşylykly geçirijini almak üçin nähili l uzynlykdaky nikelin çekisini ulanmaly? Bu garşylygyň köýmän işläp biljek iň uly $U_{\text{iň uly}}$ napryaženiýesini kesgitlemeli.

3.7. Eger $t = 20\ s$ wagt aralygynda garşylygy $R = 3\ Om$ bolan geçirijiniň uçlaryndaky napryaženiýe $U_0 = 2V$-dan $U = 4\ V$-a çenli deňölçegli artsa, geçirijiden akyp geçen zarýadlaryň q mukdaryny kesgitlemeli.

3.8. Uzynlygy $l = 10\ m$ demir geçirijiniň uçlarynda $U = 6\ V$ napryaženiýe saklanýar. Geçirijidäki tok güýjüniň j dykyzlygyny kesgitlemeli.

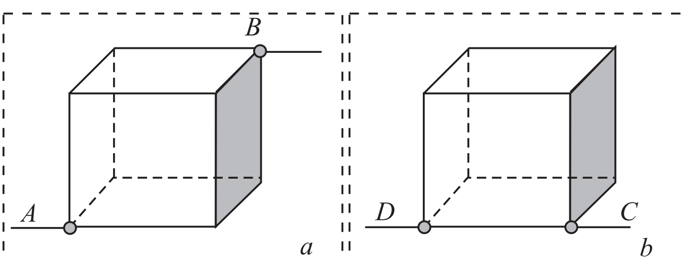
3.9. Temperaturasy 0°C, garşylygy R_0 bolan mis silindr şekilli geçirijiniň bir ujunda $t_1 = 20°C$ beýleki ujunda bolsa, $t_2 = 400°C$ temperaturada saklanylýar. Geçirijiniň garşylygyny kesgitlemeli.

3.10. Uzynlygy $l = 100\ m$, kese kesiginiň meýdany $S = 1mm^2$-e deň bolan göni mis simden $I = 4{,}5\ A$ tok güýji geçýär. Misiň her atomyna bir erkin elektron düşýär:

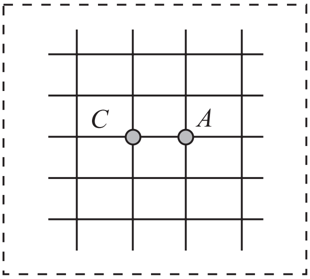
a) elektronyň geçirijiniň bir ujundan beýlekisine geçmegi üçin zerur bolan t wagty;

b) geçirijidäki bar bolan hemme erkin elektronlara täsir edýän F güýji kesgitlemeli.

3.11. Geçiriji simden ýasalan kub 3.14-nji a suratda görkezilişi ýaly elektrik zynjyryna birikdirilen. Kubuň gapyrgalarynyň aýratynlykda her biriniň garşylygy R bolsa, onuň jemi garşylygyny kesgitlemeli.



3.14-nji surat. Geçiriji kub



3.15 -nji surat. Geçiriji tor

3.12. Kub 3.14-nji *b* suratda görkezilişi ýaly elektrik zynjyryna birikdirilen. Kubuň jemi garşylygyny kesgitlemeli.

3.13. Gönüburçly öýjükli uzyn tekiz tor (*3.15-nji surat*) elektrik zynjyryny düzýär. Eger zynjyryň *A* nokady boýunça tok getirilip, ol zynjyryň *C* nokady boýunça hem ondan alynsa, *AC* geçirijiniň üstünden geçýän toguň güýjüni kesgitlemeli.

3.14. Udel garşylygy ρ bolan geçiriji ε syzyjylykly dielektrik bilen araçäkleşýär. Geçirijiniň üstündäki käbir *A* nokatdaky elektrik süýşmesi *D* bolup, ol geçirijiniň üstüne geçirilen perpendikulýar bilen α burçy emele getirýär we ondan daşyna ugrukdyrylýar. Geçirijidäki zarýadlaryň üst dykyzlygyny we *A* nokadyň töweregindäki tok güýjüniň dykyzlygyny kesgitlemeli.

3.15. Kese kesiginiň meýdany *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;

2) geçirijiniň uzynlyk birligine düşýän garşylygyny kesgitlemeli.

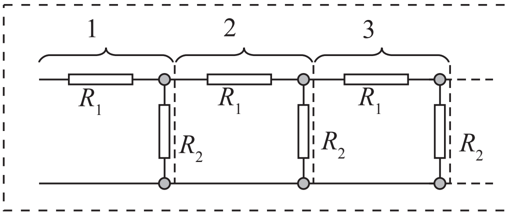
3.3. GEÇIRIJILERIŇ GARŞYLYKLARY

3.3-nji gönükme

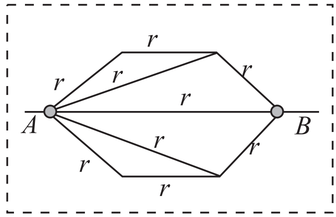
3.16. Massasy 0, 893 *kg*, diametrli 2 *mm* bolan bölek mis siminiň *R* garşylygyny hasaplamaly. Misiň udel garşylygy $\rho = 0{,}017 \cdot 10^{-4}\ Om \cdot sm$ we dykyzlygy $d = 8{,}93\ g / sm^3$.

3.17. Üstünden 1,5 *A* tok geçýän mis siminiň 1,4 *km* uzynlygynda napryýaženiýäniň pese düşmegi 1 *V* bolar ýaly ol nähili diametrde bolmaly?

3.18. Şol bir $R_1 = 2{,}0\ Om$ we $R_2 = 4{,}0\ Om$ garşylyklardan ybarat böleklerden gaýtalanýan tükeniksiz elektrik zynjyrynyň umumy *R* garşylygyny kesgitlemeli (*3.16-njy surat*).



3.16-njy surat. Tükeniksiz gaýtalanýan elektrik zynjyry



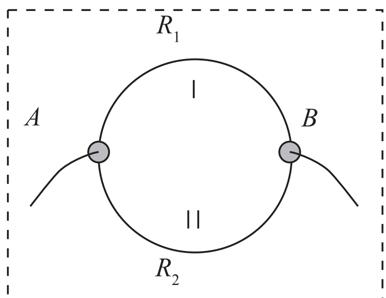
3.17-nji surat. Dürli hilli birikdirilen garşylyklar

3.19. Elektrik zynjyry şol bir depede jemlenen diagonally altyburçluk görnüşinde bolup, ol dokuz geçirijiden ybarat (*3.17-nji surat*). Her bir geçirijiniň garşylygy r-e deň. A we B nokatlaryň arasyndaky elektrik zynjyrynyň R garşylygyny kesgitlemeli.

3.20. Iki sany polat we nihrom simleriniň massalary deň. Polat simiň uzynlygy nihromyňkydan 20 esse uly. Olaryň garşylyklary biri--birinden näçe esse tapawutlanar? Nihromyň udel garşylygy poladyň udel garşylygyndan 10 esse, dykyzlygy bolsa, 1, 07 esse uly.

3.21. Ýogynlyklary deň bolan mis we grafit sterženler yzygider birikdirilen. Olaryň uzynlyklarynyň nähili gatnaşyklarynda bu ulgamyň garşylygy temperatura bagly bolmaz.

3.22. Uzynlygy l, kese kesiginiň meýdany S we garşylygy R_0 bolan geçiriji halkanyň (*3.18-nji surat*) garşylygy n esse azalar ýaly, tok geçiriji simleri onuň niresine birikdirmeli?



3.18-nji surat. Tegelek geçiriji

3.23. Temperaturasy 0°C bolan bir geçirijiniň garşylygy ikinji geçirijiniň garşylygyndan n esse, üçünjiniň 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.

3.24. 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.

3.25. Birmeňzeş a radiusly iki sany şar gowşak geçirýän çäksiz gurşawda biri beýlekisinden $l >> a$ uzaklykda ýerleşdirilen. Gurşawyň udel garşylygy ρ, dielektrik syzyjylygy ε. Geçiriji şarlaryň arasyndaky U naprýaženiýe hemişelik saklanýan bolsa, gurşawyň garşylygyny tapmaly.

3.4. ÝAPYK ZYNJYR ÜÇIN OMUŇ KANUNY

3.4-nji gönükme

3.26. 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 görkezýär. Eger ampermetrler özara yzygider birikdirilip, zynjyra dakylsa, olar $I_3 = 4$ *A* tok güýjüni görkezýär. Zynjyrda ölçeýji abzal bolmadyk halatynda ondan nähili tok geçer?

3.27. Galyňlygy b we ε dielektrik syzyjylykly dielektrigi tekiz kondensatoryň içine υ tizlik bilen salynýar. Kondensatoryň plastinalarynyň arasyndaky uzaklyk d. Kondensatordan we oňa yzygider birikdirilen ε EHG-li çeşmeden ybarat zynjyrdaky I tok güýjüni kesgitlemeli.

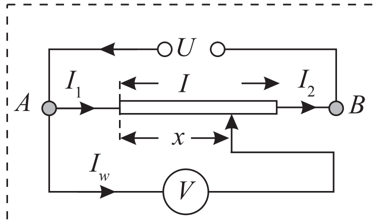
3.28. Ululygy $R_1 = 2$ *Om* bolan daşky garşylyga birikdirilen batareýa $I_1 = 1,6$ *A* tok güýjüni berýär. Daşky garşylyk $R_2 = 1$ *Om* bolanda şol bir tok çeşmesiniň zynjyrynda $I_2 = 2$ *A* tok güýjüni döredýän bolsa, tok çeşmesiniň içindäki kuwwatyň ýitgisini kesgitlemeli.

3.29. Ululygy $R_1 = 10$ *Om* bolan garşylyga birikdirilen tok çeşmesi $I_1 = 3$ *A* tok berýär. Eger tok çeşmesi $R_2 = 20$ *Om* garşylyga birikdirilse, onuň berýän tok güýji $I_2 = 1,6$ *A*-e deň bolsa, tok çeşmesiniň ε EHG-sini we onuň r içki garşylygyny kesgitlemeli.

3.30. Zarýadlandyrmanyň ahyrky pursadynda tok güýji $I_1 = 3A$, akkumulýatora birikdirilen woltmetriň görkezýän naprýaženiýesi $U_1 = 4,25$ *V*. Zarýadsyzlanmagyň başlangyç pursady $I_2 = 4$ *A* tok güýjüni berýär we woltmetr $U_2 = 3,9$ *V* naprýaženiýe görkezýär. Tok çeşmesiniň ε EHG-sini we r içki garşylygyny hasaplamaly. Woltmetriň içki garşylygy örän uly.

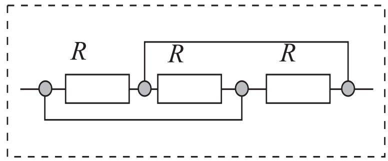
3.31. Uzynlygy l bolan reostat potensiometr hökmünde U naprýaženiýeli elektrik zynjyryna birikdirilen. Reostatyň garşylygy R_0.

Potensiometriň aşaky uçlarynyň biri bilen onuň süýşýän ujunyň arasyna potensiometrden alynýan naprýaženiýäni görkezýän woltmetr birikdirilen (*3.19-njy surat*). Eger woltmetriň içki garşylygy R_w bolsa, onuň görkezýän ululygy reostatyň süýşýän ujunyň ornuna nähili bagly bolar?



3.19-njy surat.Ýapyk elektrik zynjyry

3.32. Içki garşylygy r bolan hemişelik tok çeşmesine 3.20-nji suratda görkezilişi ýaly deň R ululykly üç garşylyk birikdirilen. R-iň nähili bahasynda ondan bölünip çykýan ýylylyk kuwwaty iň uly baha eýe bolar?

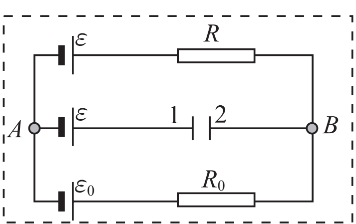


3.20-nji surat. Garşylyklaryň birikdirilişi

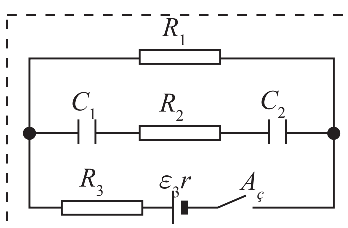
3.33. Tok çeşmesine yzygiderli birikdirilen iki woltmetr dakylsa, olar $U_1 = 6$ V we $U_2 = 3$ V ululygy görkezýärler. Eger tok çeşmesine woltmetrleriň diňe birinjisi dakylsa we ol $U_3 = 8$ V naprýaženiýe görkezýän bolsa, çeşmäniň ε EHG-sini kesgitlemeli.

3.34. Elektrik zynjyry ε EHG-li hemişelik tok çeşmesinden, oňa yzygider birikdirilen R garşylykdan we C kondensatordan ybarat. Tok çeşmesiniň içki garşylygyny hasaba alardan kiçi. Başlangyç $t = 0$ pursatda kondensatoryň sygymy η esse peseldilen bolsa, zynjyrdaky toguň wagta baglylyk funksiýasyny kesgitlemeli.

3.35. 3.21-nji suratda görkezilen tok çeşmeleriniň EHG-leri ε we ε_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.



3.21-nji surat. Elektrik zynjyry



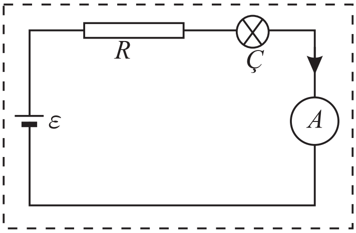
3.22-nji surat. Elektrik zynjyry

3.36. 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 ε = 1,5 *V* içki garşylygy *r* = 0,2 *Om* bolan tok çeşmesinden düzülen (*3.22-nji surat*). Açar $A_ç$ utgaşdyrylandan soňra C_2 kondensatordaky U_2 napryaženiyäni tapmaly.

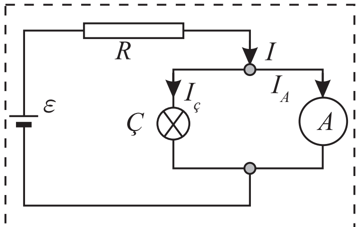
3.5. KIRHGOFYŇ DÜZGÜNLERI

3.5-nji gönükme

3.37. Napryaženiyesi 2,5*V*-a we tok güyji 0,2 *A*-e niyetlenen elektrik çyrasy uzyn geçirijiler bilen yzygider birikdirilende ampermetr $I_ç$ =0,2 *A* tok güyjüni görkezyär (*3.23-nji surat*). Eger ampermetr *Ç* çyra bilen özara parallel birikdirilip, tok çeşmesine dakylsa (*3.24-nji surat*), çyra birinji shemadaky yanyşy yaly yagtylyar. Ampermetr nähili tok güyjüni görkezer? Birikdiriji simleriň garşylygy 2 *Om*, tok çeşmesini ideal hasaplamaly.

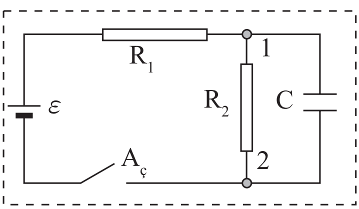


3.23-nji surat. Yapyk birhilli däl elektrik zynjyry



3.24-nji surat. Yapyk birhilli däl elektrik zynjyry

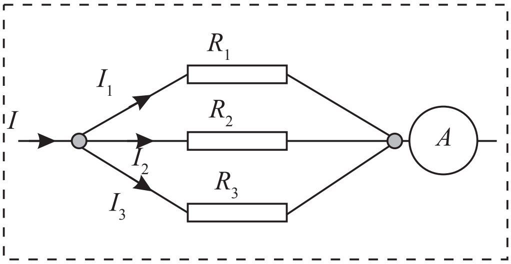
3.38. Çyzgydaky (*3.25-nji surat*) $A_ç$ açar utgaşdyrylgy pursadynda kondensatoryň plastinalaryndaky napryaženiyäniň wagta bagly üytgemegini kesgitlemeli. Utgaşdyrma pursadyndan näçe wagt geçenden soňra kondensatordaky napryaženiye özüniň iň uly bahasynyň 99%-ine barabar bolar? (R_1 = 30 *kOm*, R_2 = 15 *kOm* we *C* = 0,2 *mkF*).



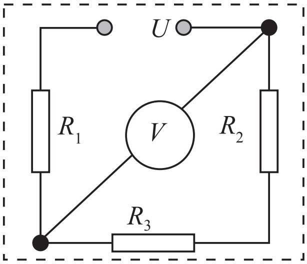
3.25-nji surat. Dürli birikdirişli, birhilli däl yapyk elektrik zynjyry

3.39. Çyzgydaky (*3.26-njy surat*) 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.

3.40. Çyzgyda (*3.27-nji surat*) görkezilen tok çeşmesiniň gysgyçlarynyň uçlaryndaky naprýaženiýe U = 100 *V*, 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?



3.26-njy surat. Parallel birikdirilen garşylyklar



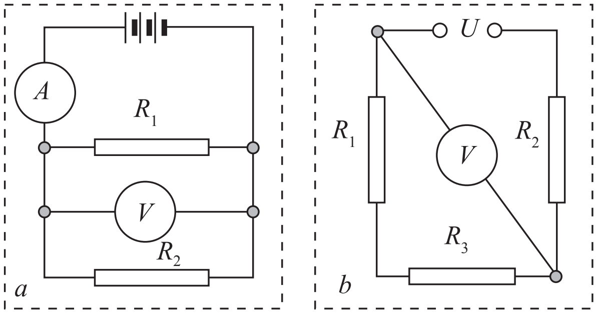
3.27-nji surat. Yzygider birikdirilen garşylyklar

3.41. 3.28-nji suratda 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 *V*. Ampermetriň garşylygyny hasaba almaly däl.

3.42. Ỳokardaky 3.40-njy meseläni 3.28-nji suratda görkezilen çyzgy üçin işlemeli.

3.43. Iň uly ölçäp bilýän naprýaženiýesi U = 100 *V* bolan woltmetr boýunça I=0,1 *mA* tok güýji akanda ol 1 *V* naprýaženiýäni görkezýär. Eger bu woltmetre goşmaça *R*=90 *kOm* garşylyk birikdirilse, onuň iň uly ölçäp biljek $U_{\text{iň uly}}$ potensiallarynyň tapawudyny kesgitlemeli.

3.44. Şkalasynyň her bir bölüminiň bahasy 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*.

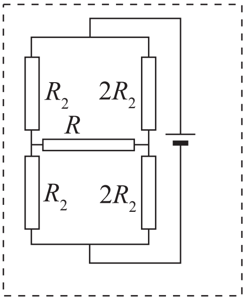


3.28-nji surat. ***a*** **– parallel birikdirilen garşylyklar;**
b **– yzygider birikdirilen garşylyklar**

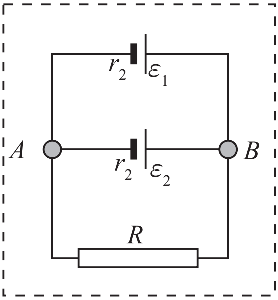
3.45. Şkalasynyň her bir bölüminiň bahasy C=5 *mkA*, bölümleriniň sany N=150 we içki garşylygy r =100 *Om* bolan abzaldan U=75 *V* napryaženiýäni ölçäp bilýän woltmetri nähili edip ýasap bolar?

3.46. Ýokardaky 3.44-nji meselede agzalan abzaldan I=150 *mA* tok güýjüni ölçeýän ampermetri nähili edip ýasap bolar?

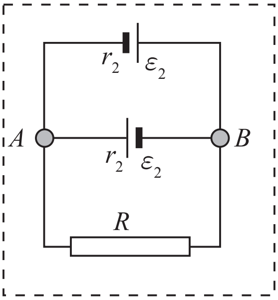
3.47. Goşmaça garşylyk birikdirilen ampermetr I = 10 *A*-e çenli tok güýjüni ölçeýär. Eger bu ampermetriň hususy garşylygy R_a = 0,02 *Om*, oňa dakylan goşmaça garşylyk bolsa, R_g = 0,005 *Om* bolsa onuň goşmaça garşylyksyz (şuntsuz) ölçäp biljek iň uly tok güýjüni kesgitlemeli.



3.29-njy surat. Garşylyklaryň tok çeşmesine birikdirilişi



3.30-njy surat. Tok çeşmeleriniň birikdirilişi



3.31-nji surat. Tok çeşmeleriniň birikdirilişi

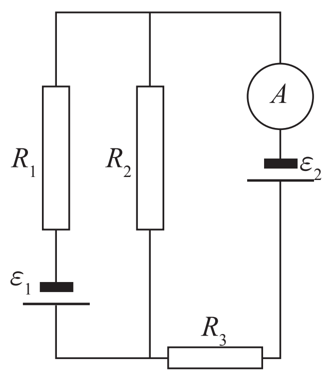
3.48. 3.29-njy suratda R_2 garşylygyň üstünden geçýän I_2 tok güýjüniň aňlatmasyny kesgitlemeli. Çyzgydaky R, R_1, R_2 we ε ululyklary berlen.

3.49. 3.30-njy suratda görkezilen tok çeşmeleriniň we olaryň içki garşylyklarynyň degişli (ε_1=10 *V*; r_1 =1 *Om*; ε_2=8 *V*; r_2 = 2 *Om*) ululyklaryndaky tok çeşmesinden ybarat. Daşky *R*=6 *Om* garşylygyň üstünden geçýän tok güýçlerini kesgitlemeli.

3.50. 3.31-nji suratda tok çeşmeleriniň we olaryň içki garşylygynyň degişli (ε_1= 8*V*; r_1 =2 *Om*; ε_2 = 6 *V*; r_2 =1,5 *Om*) ululyklaryndaky tok çeşmesinden ybarat. Daşky *R*=10 *Om* garşylygyň üstünden geçýän *I* tok güýjüni kesgitlemeli.

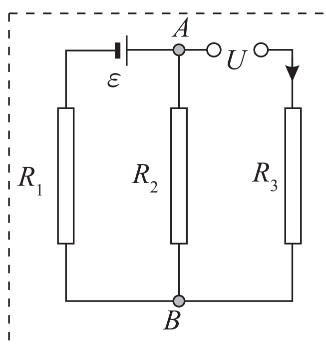
3.51. Içki garşylyklary özara deň r_1=1 *Om* üç sany tok çeşmesiniň meňzeş alamatly polýuslary birikdirilen. Olaryň EHG--leri degişlilikde ε_1= 12 *V*; ε_2=5 *V*; ε_3= 10 *V*. Tok çeşmeleriniň her birinden akýan tok güýjüni hasaplamaly. Birikdiriji simleriň garşylygyny hasaba almaly däl.

3.52. 3.32-nji suratda görkezilen ululyklar: ε_1= 11*V*; R_1 =5 *Om*; ε_2 = 4 *V*; R_2= 6 *Om*; ε_3 =6*V*; R_3= 2 *Om*. Her bir garşylykdaky tok güýjüni hasaplamaly. Tok çeşmeleriniň içki garşylygyny hasaba almaly däl.



3.32-nji surat. Elektrik shema

3.53. 3.33-nji suratda görkezilen ululyklar: R_1 = 5 *Om*; R_2 = 1 *Om*; R_3=3 *Om* we ε_1 = 1,4 *V*. Çyzgydaky görkezilen ugur boýunça R_3 garşylygyň üstünden *I*=1*A* tok güýji akar ýaly *A* we *B* nokatlara dakmaly tok çeşmesiniň EHG-sini kesgitlemeli. Tok çeşmesiniň garşylygyny hasaba almaly däl.



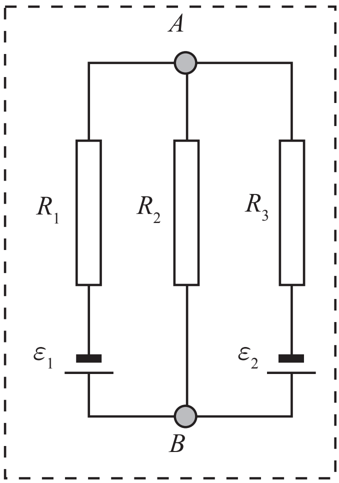
3.33-nji surat. Parallel garşylyklardan we tok çeşmesinden düzülen elektrik zynjyry

3.54. EHG-si ε = 120 *V*, içki garşylygy *r* = 10 *Om* bolan tok çeşmesiniň gysgyçlarynda garşylyklary *R*=20 *Om* bolan iki simiň her biriniň 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 birinden akýan tok güýjüni kesgitlemeli.

3.6. HEMIŞELIK TOGUŇ IŞI WE KUWWATY

3.6-njy gönükme

3.55. Garşylygy $R = 3\ Om$ bolan geçirijiden deňölçegli artýan tok geçýär. Eger geçirijiden $t = 8\ s$ wagt aralygynda $Q = 200\ J$ ýylylyk bölünip çykýan bolsa, ondan akyp geçýän q zarýadlaryň mukdaryny kesgitlemeli. Başlangyç pursatda tok güýjüniň ululygyny nola deňläp almaly.



3.34-nji surat. Elektrik shema

3.56. 3.34-nji suratda $\varepsilon_1 = 20\ V$; $\varepsilon_1 = 25\ V$, $R_1 = 10\ Om$; $R_2 = 15\ Om$. Tok çeşmeleriniň içki garşylygyny hasaba alman $R_3 = 82\ Om$ bolanda, $\Delta t = 0{,}5\ s$ wagt aralygynda zynjyrdan bölünip çykýan doly ýylylyk mukdaryny kesgitlemeli.

3.57. Tekiz kondensatoryň plastinalarynyň arasyndaky boşluk tekiz aýna bölegi bilen doldurylan. Kondensatoryň içine aýna ýerleşdirilmedik halatynda onuň sygymy C_0. Kondensator hemişelik U napräženiýeli tok çeşmesine birikdirilen. Aýna bölegini kondensatordan çykarmak üçin elektrik güýçleriniň garşysyna ýerine ýetirilýän mehaniki işi kesgitlemeli.

3.58. Wakuumda $q_1, q_2, ..., q_\mathrm{n}$ zarýadly we $\varphi_1, \varphi_2, ..., \varphi_n$ potensially n sany uly geçirijilikli geçiriji jisim bar. Eger bu jisimleriň potensiallaryny öňki kaddynda saklap, olaryň arasy birhilli γ udel geçirijilikli we ε dielektrik syzyjylykly suwuklyk bilen doldurylsa, gurşawdan her sekuntda nähili ýylylyk bölünip çykar?

3.59. Elektrik gaýnadyjynyň sarymynyň iki bölümi bar. Zynjyra olaryň birinjisi birikdirilende, gaýnadyjydaky suw $t_1 = 10$ 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 napräženiýäni we guralyň PTK-syny iki halatda hem hemişelik hasaplamaly.

3.60. Elektrik pejiniň garşylygy $R = 50$ *Om* we ol $U = 220$ *V* naprýaženiýeli elektrik zynjyryndan iýmitlenýär. Pejiň PTK-sy $\eta = 0{,}8$. Bu peçde gyzgynlygy $T = 263$ *K* bolan $m=2$ *kg* massaly buzy suwa öwürmek, alnan suwy gaýnamak halyna ýetirmek, soňra bolsa ony doly buga öwürmek üçin näçe wagt gerek bolar? Buzuň udel ýylylyk sygymy $C_1 = 2{,}1\ 10^3$ *J/(kg K)*, buzuň eremeginiň udel ýylylygy $\lambda = 3{,}3\ 10^5$ *J/kg*, suwuň udel ýylylyk sygymy $c_2 = 4{,}19 \cdot 10^3$ *J/kg.K*, suwuň bug emele gelmeginiň udel ýylylygy $L = 22{,}6\ 10^5$ *J/kg*.

3.61. Uzynlygy $l = 0{,}2$ *m* bolan geçirijiniň uçlaryndaky potensiallarynyň tapawudy $U= 4$ *V*. Onuň göwrüm birliginden bölünip çykýan P kuwwaty kesgitlemeli. Geçirijiniň udel garşylygy $\rho=10^{-6}$ *Om* $\cdot$ *m*.

3.62. 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.

3.63. Radiuslary degişlilikde r_1 we r_3 ($r_1<r_3$) bolan iki geçiriji silindr ýorkasynyň arasynda udel garşylyklary ρ_1 we ρ_2, radiuslary degişlilikde r_1, r_2 we r_3, r_4 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.

3.64. Iki sferik gatlagyň arasyny doldurýan $\rho = 10^9$ *Om* $\cdot$ *m* udel garşylykly maddanyň wagt birliginde özüne siňdirýän P energiýasynyň mukdaryny hasaplamaly. Gatlaklaryň radiuslary degişlilikde $r_1 = 1$ *sm* we $r_2 =2$ *sm*, olaryň arasynda $U = 100$ *V* potensiallaryň tapawudy saklanýar.

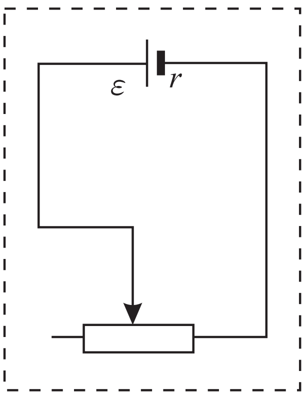
3.65. Tok çeşmesiniň EHG-si $\varepsilon = 12$ *V*, onuň iň uly berip bilýän tok güýji $I = 5{,}0$ *A*. Tok çeşmesine birikdirilen üýtgeýän garşylykda nähili iň uly kuwwat bölünip çykar?

3.66. Şäher merkezinden ýaşaýyş jaýa çekilen simiň garşylygy $r= 0{,}5$ *Om*. Merkezi simdäki naprýaženiýe hemişelik we 127 *V*-a deň. Ulanylýan elektrik abzallaryň hemmesiniň uçlaryndaky naprýaženiýe $U= 120$ *V*-dan pese düşmeýän bolsa, ýaşaýyş jaýynda näçe P kuwwat elektrik energiýasy ulanylýar?

3.67. Şäher merkezinden ýaşaýyş jaýyna uzynlygy l = 100 m, kese kesiginiň meýdany S = 9 mm^2 bolan mis simi çekilen. Merkezi simdäki naprýaženiýe U_0 =122 V. Ýaşaýyş jaýynda her biriniň kuwwaty P= 300 Wt, naprýaženiýesi U = 110 V-a niýetlenen näçe sany elektrik çyrasyny ulanyp bolar?

3.68. Uzaklygy l = 90 m aralyga P= ...kWt kuwwatly elektrik energiýany geçirmek üçin nähili S kese kesikli mis simini ulanmaly? Ulanyjylardaky naprýaženiýe U = 110 V. Iki simli elektrik geçirijilerdäki kuwwatyň ýitgisi 5% -den ýokary däl.

3.69. Geçiriji simdäki kuwwatyň ýitgisini 100 esse azaltmak üçin tok çeşmesiniň U naprýaženiýesini näçe n esse ýokarlandyrmaly? Birinji halda geçiriş simindäki naprýaženiýäniň ýitgisi $\Delta U=nU$ şerte laýyk gelýär. Bu ýerde U elektrik ulanyjylardaky naprýaženiýe.



3.35-nji surat. Ýapyk elektrik zynjyry

3.70. EHG-si ε, içki garşylygy r bolan zynjyrda elektrik togy ululygy üýtgeýän geçiriji (reostat) bilen birikdirilen (*3.35-nji surat*), daşky zynjyrdan bölünip çykýan P_1 kuwwatyň I tok güýji bilen funksional baglanyşygyny aňlatmaly. Bu baglanyşygyň grafigini çyzmaly. Haýsy tokda kuwwat uly?

3.71. Tok çeşmesiniň EHG-si ε=12 V çeşmesiniň iň uly berip bilýän tok güýji $I_{\text{iň uly}}$= 6 A. Daşky zynjyrda bölünip çykýan kuwwatyň iň uly bahasyny kesgitlemeli.

3.72. Tok güýjüniň I_1 = 5 A ululygynda daşky zynjyryň tok çeşmesinden ulanylýan kuwwatly P_1 = 9,5 Wt. Eger daşky zynjyryň garşylygy R_2 = 0,225 Om bolsa, onda ulanylýan kuwwat P_2=14,4 Wt. Daşky zynjyryň bu çeşmesinden ulanylyp boljak $P_{\text{iň uly}}$ iň uly kuwwaty näçe bolar? Bu şertde çeşmäniň PTK-sy näçä deň?

3.73. Elektrik hereketlendiriji güýji ε = 10 V, zynjyryň içki garşylygy r = 20 Om bolan tok daşky zynjyryň nähili garşylygynda iň uly kuwwat berip biler? Bu kuwwatyň $P_{\text{iň uly}}$ bahasy nähili?

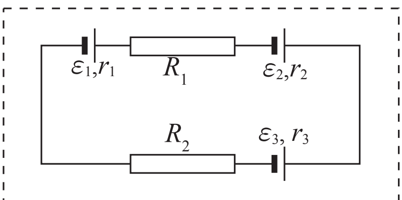
3.74. Garşylyklary R_1 we R_2 bolan iki ulanyjy başda özara parallel, soňra bolsa yzygider birikdirilip, hemişilik tok çeşmesine dakylýar. Haýsy halda ulanyjylara uly kuwwat talap edilýär? Ýokardaky şerti iki hal üçin hem aýratyn seretmeli.

3.75. Seredilýän geçirijiniň R garşylygy temperatura bagly däl we onuň umumy ýylylyk sygymy C. Ony $t = 0$ pursatda hemişelik U naprýaženiýeli tok çeşmesine birikdirdiler. Geçirijiniň özüni gurşap alan howa bölüp çykarýan ýylylygyň kuwwatyny $Q = k\cdot(T\text{-}T_0)$ hasaplap (bu ýerde 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.

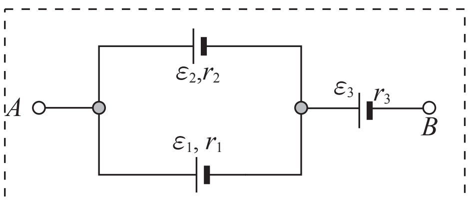
3.7. HEMIŞELIK TOGUŇ ÇEŞMELERI

3.7-nji gönükme

3.76. Elektrik zynjyry EHG-leri ε_1=10V; ε_2=20 V; ε_3=15V we degişlilikde içki garşylyklary r_1=1 Om; r_2=2 Om; r_3=1,5 Om bolan tok çeşmelerinden we R_1=4,5 Om; R_2= 16 Om garşylyklardan ybarat (*3.36-njy surat*). Zynjyrdaky tok çeşmelerine barabar bolan tok çeşmesiniň EHG-ni, onuň içki garşylygyny we zynjyrdaky tok güýjüni kesgitlemeli.



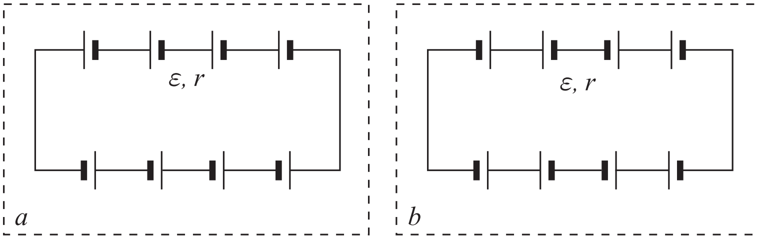
3.36-njy surat. Birhilli däl elektrik zynjyry



3.37-nji surat. Tok çeşmeleriniň birikdirilişi

3.77. Çyzgydaky ε_1=10 V; ε_2=20 V; ε_3=30 V; we r_1= r_2= r_3=2 Om bolsa görkezilen tok çeşmeler toplumynyň içki garşylygyny we EHG-sini hasaplamaly (*3.37-nji surat*).

3.78. Çyzgydaky (*3.38-nji a surat*) islendik iki nokadyň arasyndaky naprýaženiýäniň ululygy nähili? Her bir tok çeşmesiniň EHG-si ε_1 we içki garşylygy r_1. Birikdiriji simleriň garşylygyny hasaba almaly däl. Eger tok çeşmeleri bir-birine biratly gysgyçlary bilen birikdirilse (*3.38-nji b surat*) netije nähili bolar?



3.38-nji surat. Tok çeşmelerinden düzülen zynjyrlar

3.79. Elde göterilýän ýagtyldyjynyň (fonaryň) tok çeşmesiniň EHG-si $\varepsilon = 4{,}5$ *V* we içki garşylygy $r = 3$ *Om*. Kuwwaty $P = 60$ *Wt* bolan we $U = 220$ *V* naprýaženiýä niýetlenen elektrik çyrasyny iýmitlendirmek üçin şonuň ýaly tok çeşmesiniň näçe sanysy gerek bolar?

3.80. Her biriniň içki garşylygy $r = 0{,}3$ *Om*, EHG-si $\varepsilon = 2$ *V* bolan akkumulýatorlaryň kömegi bilen olary aýry-aýry birmeňzeş toparlar boýunça birikdirip, garşylygy $R = 0{,}2$ *Om* bolan daşky zynjyrda $I = 21$ *A* tok güýjüni alyp bolarmy?

3.81. Içki garşylygy $r = 1$ *Om* we EHG-si $\varepsilon = 10$ *V* bolan akkumulýator *R* garşylyk bilen ýapyk zynjyr döredýär. Eger akkumulýator *R* daşky garşylykda P=9 *Wt* kuwwat bölüp çykarýan bolsa, onda onuň gysgyçlaryndaky potensiallaryň tapawudyny kesgitlemeli. Netijeleriň deň däldigini düşündirmeli.

3.82. Içki garşylygy $r = 1$ *Om* EHG-si $\varepsilon = 10$ *V* bolan akkumulýator daşky zynjyrda nähili iň uly peýdaly kuwwat bölüp çykarar? Bu şertde daşky zynjyryň *R* garşylygy näçe?

3.83. Uçlaryndaky naprýaženiýesi *U* bolan çeşmeden başlangyç ε EHG-li akkumulýatory zarýadlandyrýarlar. Akkumulýatoryň içki garşylygy *r*. Akkumulýatory zarýadlandyrmaga harç edilýän P_p peýdaly we ondan ýylylyk bölüp çykarmaga sarp edilýän *P* kuwwaty hasaplamaly.

IV. DÜRLI GURŞAWLARDAKY ELEKTRIK TOGY

4.1. METALLARDAKY ELEKTRIK TOGY

Esasy kesgitlemeler we aňlatmalar

Tok güýjüniň dykyzlygy (j) – wektor ululyk bolup, ol san taýdan geçirijiniň kese kesiginiň birlik meýdanyndan wagt birliginde geçýän tok güýjüniň mukdaryna deňdir:

$$j = \frac{dq}{dSdt}. \tag{4.1}$$

Birhilli elektrik zynjyryndaky hemişelik elektrik togunyň güýjüniň dykyzlygyny aşakdaky ýaly aňladyp bolar:

$$j = \frac{I}{S}. \tag{4.2}$$

Tok güýjüniň dykyzlygy ony äkidiji bolup hyzmat edýän zarýadlanan ýönekeý bölejikleriň e zarýadyna, n konsentrasiýasyna we bir tarapa ugrukdyrylan hereketiniň $< \upsilon >$ orta tizligine baglydyr:

$$\vec{j} = en < \vec{\upsilon} >, \tag{4.3}$$

bu ýerde e – elektrik toguny äkidiji ýönekeý bölejigiň (elektronyň) zarýady.

• **Omuň kanunynyň differensial görnüşi.** Tok güýjüniň dykyzlygynyň wektory $\vec{j}$ geçirijiniň udel geçirijiliginiň we geçirijidäki elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň wektorynyň köpeltmek hasylyna deňdir:

$$\vec{j} = \gamma\vec{E}. \tag{4.4}$$

Tok güýjüniň dykyzlygynyň wektorynyň ugry geçirijidäki elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň wektorynyň ugry bilen gabat gelýär.

Nusgawy nazaryýetiň esasynda udel geçirijilik aşakdaky görnüşde aňladylýar:

$$\gamma = \frac{ne^2\lambda}{2m\upsilon_{\acute{y}}}, \tag{4. 5}$$

bu ýerde $n = N/V$ – elektrik toguny döredijileriň göwrümleýin sany; λ – erkin hereketiň uzynlygy; $\upsilon_{ý}$ – ýylylyk hereketiň tizligi; m – massasy; e – elektronyň zarýady.

• **Joulyň we Lensiň kanunynyň differensial görnüşi**. Geçirijilerden elektrik tok geçende bölünip çykýan ýylylyk kuwwatynyň göwrüm dykyzlygy, ýagny göwrüm we wagt birliklerindäki energiýasy udel geçirijilige we elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň kwadratyna baglydyr:

$$W = \frac{dQ_{(J.L)}}{dVdt} = \gamma E^2. \qquad (4.6)$$

Meseleleriň çözülişine mysallar

55-nji mesele. Kese kesiginiň S meýdanyna perpendikulýar ugur boýunça mis geçiriji υ_0 tizlik bilen hereket edýär. Eger geçiriji birden togtadylsa, onuň kese kesiginden nähili mukdardaky q zarýad 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 ýerde R – geçirijiniň garşylygy; $\langle I \rangle$ – ondan akýan tok güýjüniň orta bahasy. Meseläniň şertine görä geçiriji birden togtadylanda elektronlaryň inersiýasy boýunça ýüze çykýan tok hemişelik däldir. Bu tok nola çenli deňölçegli azalýan hasaplap, geçirijiniň kese kesiginden geçýän elektrik mukdarynyň orta bahasyny asakdaky ýaly ýazalyň:

$$q = 2It, \qquad It = q/2. \qquad (2)$$

Onda

$$A = qIR/2. \qquad (3)$$

Bu iş geçirijidäki hemme N sany erkin elektronlaryň inersiýasy boýunça dörän kinetik energiýasyny peseltmäge harç edilýär.

$$A = -N\Delta W_k = -N\Delta\left(\frac{m\upsilon_0}{2}\right)^2 = N\frac{m\upsilon_0^2}{2}, \qquad (4)$$

bu ýerde ΔW_k – geçiriji togtadylan pursady ondaky elektronlaryň tizlikleriniň υ_0-dan 0-a çenli peselmegi bilen olaryň kinetik energiýasynyň üýtgemegi.

Tok güýjüni (4.2) we (4.3) aňlatmalara görä ýazalyň:

$$I = jS = en\upsilon_0 S. \tag{5}$$

Bu (5) aňlatmany göz öňünde tutup, (3) deňligi aşakdaky görnüşde ýazyp bolar:

$$A = \frac{en\upsilon_0 SqR}{2}. \tag{6}$$

Mälim bolşy ýaly: $n = N/V = N/(Sl)$. Onda

$$A = \frac{eRq\upsilon_0 N}{2l} = N\frac{m\upsilon_0^2}{2}, \tag{7}$$

bu ýerde l – geçirijiniň uzynlygy. (7) aňlatmadan geçirijiniň kese kesiginden akyp geçen zarýady taparys:

$$q = \frac{m\upsilon_0 l}{eR} = \frac{m\upsilon_0 l}{e\rho\dfrac{l}{S}} = \frac{m\upsilon_0 S}{e\rho}, \tag{8}$$

bu ýerde m, e – degişlilikde elektronyň massasy we zarýady; ρ – mis geçirijiniň udel garşylygy; l – onuň uzynlygy.

56*-njy mesele. Radiuslary deň bolan iki sany metal şarjagaz udel garşylygy gowşak geçiriji birhilli gurşawda ýerleşdirilen. Şarjagazlaryň arasyndaky uzaklyk olaryň hususy r_0 radiusyndan uly, gurşawyň R garşylygyny 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 garşylykly q zarýada eýe bolar. Şarjagazlar biri-birinden ýeterlik daşlykda ýerleşendikleri üçin, olaryň potensiallary:

$$\varphi_1 = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r_0}, \quad \varphi_2 = -\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r_0}.$$

Potensiallaryň tapawudy:

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = 2\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r_0} = \frac{q}{2\pi\varepsilon_0 r_0}. \tag{1}$$

Položitel zarýadly şarjagazdan akýan tok güýji:

$$I = jS. \tag{2}$$

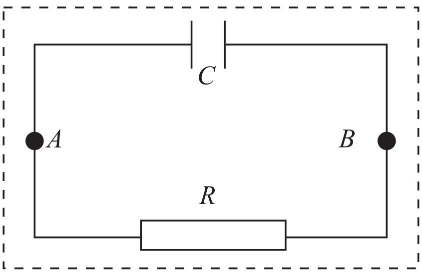
Indi $j = \gamma E = E/\rho$, $E = q/(4\pi\varepsilon_0 r_0^2)$ gatnaşyklary hasaba alyp (2) deňligi aşakdaky görnüşde ýazyp bolar:

$$I = \frac{E}{\rho}4\pi r_0^2 = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r_0^2\rho}4\pi r_0^2 = \frac{q}{\varepsilon_0\rho}. \qquad (3)$$

(1) we (2) 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: $r_0 = \rho/(2\pi R)$.



4.1-nji surat. Garşylyk bilen utgaşdyrylan kondensator

57*-nji mesele. Sygymy C bolan kondensator q_0 zarýad bilen zarýadlandyrylýar (*4.1-nji surat*). Soňra kondensatoryň plastinalary R garşylygyň üsti bilen utgaşdyrylýar. Bu zynjyrdaky R garşylykdan τ wagtyň dowamynda geçen zarýady we bölünip çykan ýylylyk mukdarlaryny kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i : Kondensatordaky naprýaženiýe garşylygyň uçlaryndaky $U_{AB} = IR$ naprýaženiýä deňdir:

$$U_{AB} = \frac{q}{C}. \qquad (1)$$

Bu ýerde tok güýji:

$$I = -\frac{dq}{dt}. \qquad (2)$$

Sebäbi elektrik togy kondensatoryň zarýadsyzlanmasynyň hasabyna ýüze çykýar. Soňky aňlatmany (1) deňlemede ornuna goýup alarys:

$$\frac{dq}{dt} = -\frac{q}{RC} \qquad (3)$$

ýa-da

$$\frac{dq}{q} = \frac{1}{RC}dt$$

deňlemäniň çözüwi:

$$\ln q = -\frac{t}{RC} + \ln C, \quad q = Ce^{-t/(RC)}.$$

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 bolar:

$$q_1 = q_0 - q_0 e^{-\tau/(RC)} = q_0 (1 - e^{-\tau/(RC)}). \qquad (4)$$

Elektrik zynjyryndaky R garşylykdan wagtyň dowamynda bölünip çykýan ýylylyk mukdaryny kesgitlemek üçin ýylylyk kuwwatyny wagta görä integrirlemek ýeterlikdir:

$$Q = \int_0^\tau I^2 R dt = \frac{q_0^2}{RC^2} \int_0^\tau e^{-2t/(RC)} dt = \frac{q_0^2}{2C}(1 - e^{-2\tau/(RC)}). \qquad (5)$$

Talyplaryň özbaşdak taýýarlyklaryny barlamak üçin soraglar we ýumuşlar

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 differensial görnüşi.
5. Nusgawy nazaryýet esasynda metal geçirijileriň udel geçirijiligi.
6. Elektronlaryň ýylylyk we tertipli hereketleriniň tizlikleriniň gatnaşygy.
7. Nusgawy nazaryýetiň ýetmezçilikleri.
8. Joulyň we Lensiň kanunynyň differensial görnüşi.

Özbaşdak çözmek üçin meseleler

4.1-nji gönükme

4.1. Kese kesiginiň meýdany $S = 0{,}4\ sm^2$ 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 diýip, olaryň bir tarapa tertipli hereketiniň orta $<\upsilon>$ tizligini kesgitlemeli.

4.2. Kese kesiginiň meýdany $S = 1 mm^2$ bolan mis siminden I=10 A tok güýji akýar. Misiň her bir atomyna iki elektron düşýän halatynda geçirijidäki tok güýjüni döredýän elektronlaryň hereketiniň $\langle \upsilon \rangle$ orta tizligini kesgitlemeli.

4.3. Alýumin geçirijidäki tok güýjüniň dykyzlygy $j = 1A / mm^2$, alýuminiň her $1 sm^3$ göwrüminde onuň atomlarynyň sanyna deň elektron bar hasaplap, olaryň bir tarapa tertipli hereketiniň $\langle \upsilon \rangle$ orta tizligini kesgitlemeli.

4.4. Mis geçirijiden akýan tok güýjüniň dykyzlygy $j = 3A / mm^2$. Geçirijidäki elektrik meýdanynyň E güýjenmesini kesgitlemeli.

4.5. Kese kesiginiň meýdany $S = 0{,}4\ mm^2$, uzynlygy $l = 2\ m$ mis simden tok akýar we ondan her sekuntda Q = 0,35 J ýylylyk bölünip çykýar. Bu geçirijiniň kese kesiginden 1 sekuntda näçe elektron geçer?

4.6. Göwrümi $V = 6\ sm^3$ bolan mis geçirijiden hemeşelik tok akýar we her t = 1 minut wagtda ondan Q = 216,7 J ýylylyk bölünip çykýar. Geçirijidäki elektrik meýdanynyň E güýjenmesini kesgitlemeli.

4.7. Kese kesiginiň meýdany S bolan mis simden tok akýar. Elektrik meýdany tarapyndan geçirijidäki her bir erkin elektrona nähili F güýç täsir eder?

4.8. Wodorodyň atomynyň ýadrosynyň töwereginde hereket edýän elektron nähili tok döreder? Elektronyň orbitasynyň radiusy $r = 5{,}3 \cdot 10^{-9}\ sm$.

4.9. Uzynlygy l = 1000 m bolan göni metal geçirijiden I = 60A tok güýji geçýär. Elektronlaryň jemi K impulsyny kesgitlemeli.

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:

$$A = e\varphi = E_{p0} - E_f, \qquad (4.7)$$

bu ýerde E_{p0} – potensial çukurjygyň çuňlugy; E_f – Ferminiň energiýasy.

• **Termoelektron tok güýji** anod naprýaženiýesiniň 3/2 derejesine baglydyr:

$$I = CU^{3/2}, \tag{4.8}$$

bu ýerde C – elektrodyň ölçeglerine we daşky görnüşine bagly hemişelik ululyk. Tekiz elektrodly diodlar üçin:

$$C = \frac{4}{9}\varepsilon_0 \frac{S}{d^2}\sqrt{\frac{2e}{m}}, \tag{4.9}$$

bu ýerde S – katodyň üsti (ol, adatça, anodyň üsti bilen deňeçerdir); e / m – elektronyň udel zarýady; d – katod bilen anodyň arasyndaky uzaklyk.

• **Doýgun tok güýjüniň j_d dykyzlygynyň katodyň T temperaturasyna baglylygy** Riçardsonyň we Deşmeniň deňligi bilen kesgitlenilýär:

$$j_d = BT^2 \exp[-A/(kT)], \tag{4.10}$$

bu ýerde B = 60,2 kA/K – hemişelik ululyk; k – Bolsmanyň hemişeligi; T – katodyň termodinamiki temperaturasy; A – termoelektron çykyş işi.

Potensiallaryň sepdäki tapawudy

• **Daşky sepdäki potensiallaryň tapawudy:**

$$U_{12} = \frac{A_2 - A_1}{e}. \tag{4.11}$$

• **Içki sepdäki potensiallaryň tapawudy:**

$$U_{12}^1 = \frac{k \cdot T}{e} \cdot \ln\frac{n_1}{n_2}, \tag{4.12}$$

bu ýerde 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 termo EHG döreýär we ol aşakdaky aňlatma bilen hasaplanylýar:

$$\varepsilon = \int_{T_1}^{T_2} \alpha_{12} dT, \tag{4.13}$$

bu ýerde $\alpha_{12} = \alpha_1 - \alpha_2$ – termoparanyň ýasalan jübüt metallarynyň (ýarymgeçirijiniň) differensial ýa-da başgaça udel EHG-si. Udel EHG-ä degişli geçirijilerdäki elektronlaryň konsentrasiýalarynyň gatnaşyklarynyň logarifmasy bilen hem kesgitlenilýär:

$$\alpha_{12} = \frac{k}{e} \cdot \ln\frac{n_1}{n_2}. \tag{4.14}$$

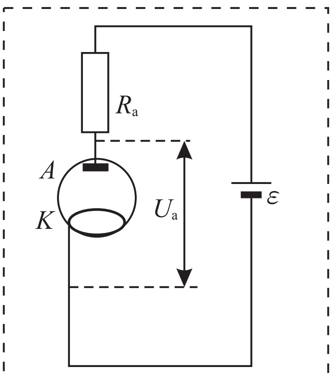
Onda (4.14) aňlatmany hasaba alyp, (4.13) deňligi aşakdaky görnüşde ýazyp bolar:

$$\varepsilon = \frac{k}{e}(T_2 - T_1)\ln\frac{n_1}{n_2}, \tag{4.15}$$

bu ýerde e – elektronyň zarýady; k – Bolsmanyň hemişeligi.

Meseleleriň çözülişine mysallar

58-nji mesele. Iki elektrodly käbir elektron çyranyň anod togy naprýaženiýäniň kesgitli aralygynda eiektrodlaryň arasyndaky U potensiallaryň tapawudy bilen $I_a = AU + BU^2$ deňleme arkaly baglanyşykly. Munuň ýaly çyra $R_a = 210^4$ Om garşylyk bilen yzygider $\varepsilon = 120$ V EHG-si bolan tok çeşmesiniň zynjyryna dakylanda döreýän anod toguny kesgitlemeli. Seredilýän çyra üçin: $A = 150$ mkA/V, $B = 5$ mkA / V^2. Tok çeşmesiniň içki garşylygy hasaba alynmaýar.



4.2-nji surat. Garşylyk bilen utgaşdyrylan elektron çyra

Ç ö z ü l i ş i : Meseläniň şertine görä diodyň R_a garşylygy we tok çeşmesi bilen emele getirýän çyzgysy 4.2-nji suratda şekillendirilen. Bu çyzga laýyklykda Omuň kanunynyň esasynda:

$$\varepsilon = I_a R_a + U_a. \tag{1}$$

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) deňlikden I_a-nyň bahasyny tapyp, $I_a = \frac{\varepsilon - U_a}{R_a}$ we ony (3) deňlikde ornuna goýup alarys:

$$BU_a^2 + AU_a - \left(\frac{\varepsilon - U_a}{R_a}\right) = 0$$

ýa-da

$$BR_aU_a^2 + AR_aU_a - \varepsilon + U_a = 0. \quad (4)$$

Bu ýerden bolsa aşakdaky kwadrat deňlemäni alarys:

$$BR_aU_a^2 + (AR_a + 1)U_a - \varepsilon = 0. \quad (5)$$

Bu kwadrat deňlemäniň položitel köküni alalyň, sebäbi U_a-nyň otrisatel bahasyna degişli I_a örän ujypsyz bolar. Biz bolsa zynjyr boýunça onuň položitel ugruna seredýäris (*4.1-nji surat*). Onda (5) deňlemeden:

$$U_a = \frac{-(AR_a + 1) + \sqrt{(AR_a + 1)^2 + 4BR_a\varepsilon}}{2BR_a}. \quad (6)$$

Şunlukda (4) deňlikde (6) deňleme boýunça U_a-nyň bahasyny goýup, anod togy üçin gutarnykly deňlemäni alarys:

$$I_a = \frac{\varepsilon - U_a}{R_a} = \frac{\varepsilon}{R_a} + \frac{(AR_a + 1) - \sqrt{(AR_a + 1)^2 + 4BR_a\varepsilon}}{2B_aR_a^2}. \quad (7)$$

Meseläniň şertindäki ululyklaryň san bahasyny ulanyp, (7) deňligiň esasynda $I_a = 5 \cdot 10^{-3}$ *A* hasaplap bileris.

59-njy mesele. Haýsy T_2 temperaturada torilenen düzümine toriý maddasy girizilen wolfram $T_1 = 2500$ *K* temperaturadaky arassa wolframyň udel emissiýasyny berer? Arassa we torilenen wolfram üçin emissiýa hemişeligi:

$$B_1 = 0,6 \cdot 10^6 \ A/(m^2 \cdot K^2); \quad B_2 = 0,3 \cdot 10^7 \ A/(m^2 \cdot K^2).$$

Olaryň çykyş işleri $A_1 = 4,5$ *eV* we $A_2 = 2,63$ *eV*.

Ç ö z ü l i ş i : $T_1 = 2500$ *K* temperaturada arassa we T_2 temperaturada torilenen wolframyň udel emissiýasy:

$$j_1 = B_1T_1^2 \exp\left[-\frac{A_1}{kT_1}\right] = 2,84 \cdot 10^3 \frac{A}{m^2},$$

$$j_2 = B_2T_2^2 \exp\left[-\frac{A_2}{kT_2}\right].$$

Meseläniň şertine görä: $j_1 = j_2$, ýagny:

$$B_2 T_2^2 \exp\left(-\frac{A_2}{kT_2}\right) = 2,84 \cdot 10^3 \frac{A}{m^2}. \qquad (1)$$

Udel emissiýanyň temperatura baglylygy T^2 köpeldiji arkaly däl-de, esasan, $\exp(-A/(kT))$ arkaly kesgitlenilýär. Onda birinji ýakynlaşmada:

$$B_2 T_1^2 \exp\left(-\frac{A_2}{kT_2}\right) = B_2 (2500)^2 \exp\left(-\frac{A_2}{kT_2}\right) = 2,84 \cdot 10^3 \frac{A}{m^3},$$

bu ýerden:

$$\exp\left(-\frac{A_2}{kT_2}\right) = \frac{2,86 \cdot 10^3}{0,3 \cdot 10^7 (2500)^2} = 1,86 \cdot 10^{-8} \text{ we } T_2 = 1690\ K.$$

Ikinji ýakynlaşmada

$$B_2 T_2^2 \exp\left(-\frac{A_2}{kT_2}\right) = B_2 (1690)^2 \exp\left(-\frac{A_2}{kT_2}\right) = 2,84 \cdot 10^3 \left[\frac{A}{m^2}\right],$$

bu ýerde $T_2 = 1770\ K$. Edil ýokardaky ýaly synanyşyp ýazarys:

$$B_2 (1770)^2 \exp\left(-\frac{A_2}{kT_2}\right) = 2,84 \cdot 10^3 \frac{A}{m^2}.$$

Onda üçünji ýakynlaşmada T_2=1750 K bolar.
Dördünji ýakynlaşmada

$$B_2 (1750)^2 \exp\left(-\frac{A_2}{kT_2}\right) = 2,84 \cdot 10^3 \frac{A}{m^3} \text{ we } T_2=1760\ K \text{ bolar.}$$

Bäşinji ýakynlaşmada dördünji bilen ýokary takyklykda gabat gelýän temperaturanyň alynýandygyna göz ýetirmek ýeňildir. Şeýlelikde, gözlenilýän ululyk T_2=1760 K.

60-njy mesele. Termoelektrik zynjyry wismut we surma geçirijilerden düzülip, olaryň uçlary özara kebşirlenen. Bu hilli termoparanyň sepleriniň arasyndaky temperaturanyň tapawudy ΔT = 100°C bolsa, onda ε = 1,1·10^2 V termoelektrik hereketlendiriji güýç döreýär. Wismutyň erkin elektronlarynyň konsentrasiýasynyň surmanyň erkin elektronlarynyň konsentrasiýasyna bolan gatnaşygyny kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i : D.I.Mendeleýewiň elementleriň periodik 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 potensiallaryň tapawudynyň döremegine sebäp bolýar. Bu şertde döreýän termotoguň EHG-si (4.15) deňlik bilen kesgitlenilýär. Ýagny:

$$\varepsilon = \frac{k}{e}(T_2 - T_1)\ln\frac{n_1}{n_2}.$$

Bu ýerden:

$$\ln\frac{n_1}{n_2} = \frac{e\varepsilon}{k(T_2 - T_1)} \qquad (1)$$

ýa-da

$$\frac{n_1}{n_2} = \exp\frac{e\varepsilon}{k(T_2 - T_1)}. \qquad (2)$$

Meseläniň şertine laýyklykda we $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\, Kl$, $k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}\, J/K$ hemişeliklerden peýdalanyp alarys:

$$\frac{n_1}{n_2} \approx 3{,}57.$$

Diýmek, wismutyň erkin elektronlarynyň göwrüm birligindäki sany surmanyňkydan 3,57 gezek uludyr. Şonuň üçin sepdäki gatlakda surma otrisatel zarýadlanýar (özüne kabul edýän elektronlary özünden berýäninden köp), wismut bolsa položitel zarýadlanýar (özüne birikdirýän elektronlaryndan ýitirýän elektronlary köpdür).

Talyplaryň özbaşdak taýýarlyklaryny barlamak üçin soraglar

1. Çykyş işi näme we ol HU-da haýsy birlikde kesgitlenilýär?
2. Termoelektron hadysasyny düşündirmeli.
3. Wakuum diodynyň işleýiş prinsipi nähili?
4. Diodyň wolt-amper häsiýetnamasy.
5. Wakuum diody üçin Omuň kanunyny ulanyp bolarmy? Eger bolmaýan bolsa, sebäbini düşündirmeli.
6. Daşky we içki sepdäki potensiallaryň tapawudynyň döreýşi.
7. Termoelektrik hereketlendiriji güýjüniň döreýşi we düşündirilişi.

Özbaşdak çözmek üçin meseleler

Termoelektron emissiýasy

4.2-nji gönükme

4.10. Tizligi $\upsilon = 1{,}3 \cdot 10^6$ *m/s* bolan elektron seziden ýasalan plastina urlanda ondan täze elektron goparylýarmy? Eger goparylýan bolsa, onda täze elektrony goparmak üçin plastina urulýan elektronyň nähili iň kiçi tizligi bolmaly?

4.11. Katodyň wolfram sapajagynyň T=2000 *K* temperaturasynda elektron çyradaky doýgun tok güýji: I_d = 2,86 *mkA*. Eger katodyň sapajygynyň uzynlygy l = 2 *sm* bolsa, onda onuň diametri näçä deň?

4.12. Temperaturasy T_1 = 2400 *K* bolan wolframyň gyzgynlygyny ýene-de 100 *K* artdyrylsa onuň termoelektron emissiýasy näçe esse artar?

4.13. Elektron çyradan I = 6,3 *mA* tok güýji akanda onuň anodyndan t = 1 sagatda Q = 63 *J* ýylylyk energiýa bölünip çykýar. Bölünip çykýan ýylylygy elektronyň kinetik energiýsynyň hasabyna bolup geçen hasaplap, katod dessesindäki elektronlaryň tizligini kesgitlemeli.

4.14. Ossillograf elektronşöhle turbasyndaky biri beýlekisinden d = 10 *sm* daşlykda ýerleşdirilen anod bilen katodyň arasynda E = 100 *kV/m* elektrik meýdanynyň güýjenmesi döredilen. Elektrik meýdanyny birhilli hasaplap, elektronyň turbanyň ekranyna urlan pursady onuň tizligini we energiýasyny kesgitlemeli.

4.15. Elektron çyranyň anod togunyň güýji 10 *mA*-e deň bolsa, katoddan her sekuntda näçe elektron çykar?

4.16. Ossillografyň elektronşöhle turbajygynyň ekranynyň ýakynynda elektron dessedäki elektronlaryň n 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 *kV* potensiallaryň tapawudy bilen güýçlendirilýär.

Sepdäki hadysalar

4.17. Mis-platina termoparanyň gyzgyn sepi Q = 4,19 J energiýany siňdirýän bolsa, termopara boýunça geçip biljek zarýadlaryň iň uly mukdary näçe? Termoparanyň gyzgyn sepiniň temperaturasy t_1 = 100°C sowugynyňky bolsa t_2= 0°C. Bu termoparanyň EHG-si ε = 0,76 mV.

4.18. Garşylygy R_t = 5 Om we udel EHG-si α = 92 kV/K bolan wismut-demir termopara R_t =110 Om içki garşylykly galwanometre birikdirilen. Eger termoparanyň bir sepiniň temperaturasy t_1= 100°C we beýlekisiniňki t_2= 0°C bolsa galwanometr nähili tok güýjüni görkezer?

4.19. Gurşawyň temperaturasyny ölçemek üçin onuň içine nikel-hrom termoparanyň bir sepi salnan. Termoparanyň içki garşylygy R_T = 2 k Om, bölümleriniň bahasy C = 10 $nA/böl$ bolan galwanometr bilen birikdirilen. Eger termoparanyň ikinji sepiniň temperaturasy t_2= 15°C-ä deň bolup, galwanometriň görkeziji peýkamjygy 25-nji bölümde bolsa, gurşawyň temperaturasyny kesgitlemeli. Termoparanyň udel EHG-si α = 0,5 mkV/K.

4.20. Udel EHG-si α = 50 mkV/K, seplerindäki temperaturanyň tapawudy ΔT = 500 K bolan termoparanyň EHG-sini kesgitlemeli.

4.21. Bölümleriniň bahasy C=15 $nA/böl$ we temperaturanyň üýtgemegini 6 mK takyklyga çenli ölçäp bilýän galwanometriň R_g garşylygyny kesgitlemeli. Galwanometre birikdirilen termoparanyň hususy garşylygy R_T = 6 Om we udel EHG-si α =50 mV/K.

4.22. Misden elektronlaryň çykyş işi A_m = 4,47 eV, gurşundan çykyş işi bolsa, A_g =3,74 eV. Bu iki metalyň daşky galtaşma sepindäki potensiallaryň tapawudyny kesgitlemeli. Geçiriji elektronlaryň konsentrasiýasyny iki metalda hem birmeňzeş hasaplamaly.

4.23. Temperaturasy t = 27 °C bolan mis we kaliniň içki sepindäki potansiallarynyň tapawudyny kesgitlemeli.

4.24. 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 pursady I = 85,0 mkA tok güýjüni görkezýär. Eger termoparanyň udel EHG-si α = 51,60 mkV/K bolsa, galwanometr näçe bölüme gyşarypdyr we sepiň temperaturasy näçe ΔT aralyga çenli gyzypdyr?

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 birinde bölünip çykýan maddanyň m massasy elektrolitden geçýän q elektrik zarýadyna baglydyr:*

$$m = K\,q, \tag{4.16}$$

bu ýerde K – maddanyň (elektrolitleriň) elektrohimiki ekwiwalenti.

• **Maddanyň *K* elektrohimiki ekwiwalenti olaryň himiki ekwiwalentine deňdir:**

$$K = C\frac{M}{Z}, \tag{4.17}$$

bu ýerde 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 (4.16) we ikinji (4.17) kanunlaryny bilelikde aşakdaky görnüşde ýazyp bolar:

$$m = \frac{M}{Z}\frac{q}{F}. \tag{4.18}$$

Elektrolitlerdäki akyp geçýän toguň *j* dykyzlygy, ondaky elektrik meýdanynyň güýjenmesine, položitel we otrisatel ionlaryň süýşüjiliginiň ($U_{(0+)} + U_{(0-)}$) jemine hem-de elektrolitiň göwrüm birligindäki bar bolan ionlaryň n_0 jübüt sanyna (konsentrasiýasyna) baglydyr:

$$j = qn\beta \cdot (U_{(0+)} + U_{(0-)})E, \tag{4.19}$$

bu ýerde q – ionlaryň zarýady, β – dissosiasiýa koeffisiýenti. Ol dissosirlenen molekulalaryň sanynyň umumy molekulalaryň sanyna bolan gatnaşygyna deňdir.

Elektrolitleriň geçirijiligi $\gamma = j/E$ aňlatmanyň esasynda:

$$\gamma = qn\beta \cdot (U_{(0+)} + U_{(0-)}). \tag{4.20}$$

Ionlaryň U$_{(0\pm)}$ süýşüjiligi E= 1 V/m güýjenmeli elektrik meýdanynda degişlilikde položitel we otrisatel ionlaryň tizligine deňdir:

$$U_{0(\pm)} = \frac{\upsilon_{(0\pm)}}{E}. \qquad (4.21)$$

Gazlardaky elektrik togy

Gazlardaky toguň dykyzlygy onuň doýgun we doýgun däl hallaryna baglydyr:

• **Doýgun haldan** daş pursatda tok güýjüniň dykyzlygy:

$$j = qn \cdot (U_{(0+)} + U_{(0-)}) \cdot E, \qquad (4.22)$$

bu ýerde q – ionyň zarýady; n – položitel we otrisatel ionlaryň konsentrasiýasy, $U_{(0+)}$ – položitel we $U_{(0-)}$ – otrisatel ionlaryň süýşüjiligi; E – elektrik meýdanynyň güýjenmesi.

• **Doýgun halda** gazlardaky tok güýjüniň dykyzlygy:

$$j_d = qnd, \qquad (4.23)$$

bu ýerde q – ionlaryň zarýady; n – ionlaşdyryjynyň her sekuntda döredýän gazynyň jübüt ionlarynyň konsentrasiýasy; d – elektrodlaryň arasyndaky uzaklyk.

Gazyň göwrüm birliginde sekuntsaýyn bitaraplaşýan (rekombinirlenýän) jübüt ionlaryň Δn sany ionlaryň n konsentrasiýasynyň kwadratyna baglydyr:

$$\Delta n = r \cdot n^2, \qquad (4.24)$$

bu ýerde r – bitaraplaşma koeffisiýenti.

Meseleleriň çözülişine mysallar

61-nji mesele. Bezeg şaý-seplerine (gülýaka) elektroliz usuly bilen altyn çaýylanda olaryň üstünden tok güýjüniň j dykyzlygy geçirilipdir. Altyn ýorkanyň galyňlygynyň ösüş tizligini kesgitlemeli.

Çözülişi: Meseläni çözmek üçin (4.18) 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:

$$m = DV.$$

Altynyň çaýylan meýdanyny S, onuň galyňlygyny bolsa, h bilen belgilesek $V = Sh$. Onda $m = DSh$ we $q = It$ ulanyp (4.18) deňligi ýazalyň:

$$DSh = \frac{M}{ZF} It. \tag{1}$$

Meseläniň şertine görä altyn ýorkanyň galyňlygynyň ösüş tizligi:

$$\upsilon = \frac{h}{t}. \tag{2}$$

(1) deňlikden bu ululygy tapyp bolar:

$$\upsilon = \frac{h}{t} = \frac{M}{DZF}\frac{I}{S} = \frac{M}{DZF} j. \tag{3}$$

Bu deňlikdäki M, D, Z we F ululyklary degişli tablisadan alyp, (3) deňlikden ýorkanyň tizligini kesgitläp bolar.

62-nji mesele. Göwrümleýin sany C bolan hlorly kaliniň (KCl) suw ergininiň β dissosiasiýa koeffisiýentini kesgitlemeli. Bu ergini berlen temperaturadaky udel garşylygy ρ, ionlaryň süýşüjiligi $U_{(0+)}$ we $U_{(0-)}$.

Ç ö z ü l i ş i : Meseläniň şertine görä kesgitlemek talap edilýän β dissosiasiýa koeffisiýentini elektrolitleriň geçirijiliginiň (4.20) aňlatmasyndan tapalyň:

$$\beta = \frac{\gamma}{qn(U_{0+} + U_{0-})}, \tag{1}$$

bu ýerde

$$\gamma = \frac{1}{\rho} \quad \text{we} \quad n = \frac{N}{V}. \tag{2}$$

Ergini suwdaky konsentrasiýasy onuň göwrüm birligine düşýän massasydyr:

$$C = \frac{m}{V}. \tag{3}$$

Bu deňligi ulanyp, (2) deňlik boýunça ýazyp bolar:

$$n = \frac{N \cdot C}{m}, \tag{4}$$

bu ýerde N – ionlaryň haýsy hem bolsa bir görnüşiniň sany. Ol N_A Awagadro hemişeliginiň we ergini molunyň v sany bilen baglanyşyklydyr:

$$N = \nu \cdot N_A = N_a \frac{m}{M}.$$

Bu ululygy (4) deňlikde goýup alarys:

$$n = \frac{N_A C}{M}, \tag{5}$$

bu ýerde M – hlorly kaliniň molýar massasy.

Seredilýän ergini düzýän ionlaryň bir walentliligi üçin: $q = e$. Ýokardaky (2) we (5) deňlikleri göz öňünde tutup, (1) deňlikden alarys:

$$\beta = \frac{M}{eN_a C(U_{(0+)} + U_{(0-)})\rho}. \tag{6}$$

Tablisadan hlorly kaliniň M molýar massasyny alyp, (6) deňlik boýunça β dissosiasiýa koeffisiýentini kesgitläp bolar.

63*-nji mesele. Eger mis kuporosynyň ergininiň üstünden akýan tok güýji deňölçegli 0-dan 4 A-e çenli artsa, onda 10 sekundyň dowamynda katodda bölünip çykýan misiň massasyny kesgitlemeli.

Ç ö z ü l ü ş i: Faradeýiň kanunyna görä, katodda bölünüp çykýan maddanyň massasy:

$$m = \frac{Aq}{Fn}. \tag{1}$$

Gözegçilik wagtynyň dowamynda erginden akyp geçen zarýad:

$$q = \int_0^{t_2} I dt. \tag{2}$$

Meseläniň şertine görä:

$$I = kt, \tag{3}$$

bu ýerde k – proporsionallyk koeffisiýenti. (3) deňligi t_2 wagt pursady üçin ýazalyň $I_2 = kt_2$. Bu ýerden $k = I_2/t_2$. Muny hasaba alyp, (3) deňligi aşakdaky görnüşde aňladyp bolar:

$$I = I_2 \frac{t}{t_2}. \tag{4}$$

(4) we (2) 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) deňlige görä:

$$m = \frac{AI_2 t_2}{2Fn}. \tag{5}$$

Meseläniň şertindäki ululyklardan peýdalanyp, (5) aňlatma boýunça katodda $m = 6{,}65 \cdot 10^{-6}$ *kg* misiň bölünip çykýandygyny hasaplap bolar.

64-nji mesele. Her biriniň meýdany $S = 250$ sm^2 bolan tekiz plastinalaryň arasynda göwrümi $V = 375$ sm^2 bolan 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:

$$U_{(0+)} = 5{,}4 sm^2/(V \cdot s) \text{ we } U_{(0-)} = 7{,}1 sm^2/(V \cdot s).$$

Ç ö z ü l i ş i : Kondensatoryň plastinalaryna goýlan U naprýaženiýäni onuň içindäki elektrik meýdanynyň E güýjenmesiniň üsti bilen aňladalyň:

$$U = E\,h, \tag{1}$$

bu ýerde h – kondensatoryň plastinalarynyň arasyndaky uzaklyk. Zynjyrdaky tok güýjüni doýgun haldan daş hasaplap, elektrik meýdanynyň E güýjenmesini (4.22) deňlikden taparys:

$$E = \frac{j}{qn(U_{(0+)} + U_{(0-)})}. \tag{2}$$

(1) deňlige laýyklykda:

$$U = \frac{jh}{qn(U_{(0+)} + U_{(0-)})} = \frac{I \cdot V}{qn(U_{(0+)} + U_{(0-)})S^2}. \tag{3}$$

Sebäbi $V = h \cdot S$ we $j = I/S$.

Degişli ululyklary (3) deňlikde goýup, $U = 110$ V bolýandygyny taparys.

65-nji mesele. Eger gaz zarýadsyzlandyryjy turbajygyň elektrodlarynyň arasy 10 *sm* bolsa we onuň 1sm^3 göwrüminde 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:

$$j_d = \frac{I_d}{S}, \tag{1}$$

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) aňlatmadan alarys:

$$j_d = \frac{q}{tS} = \frac{enV}{tS} = \frac{2en_j l}{t}. \tag{2}$$

Her sekuntda turbajygyň $1m^3$ göwrüminde emele gelýän jübüt ionlaryň sanyny $n_{jt} = n_j /t$ bilen belläliň, onda:

$$j_d = 2en_{jt}\, l. \tag{3}$$

Meseläniň şerti boýunça degişli ululyklary (3) aňlatmada goýup, $j_d = 3{,}2 \cdot 10^{-19}$ A/m^2 bolýandygyny hasaplap bolar.

66-njy mesele. Ionlaşdyryjy kameranyň elektrodlarynyň her biriniň meýdany S, olaryň aralygy h. Eger her sekuntda kameranyň göwrüm birliginde N sany jübüt ion döreýän bolsa, elektrodlaryň arasyndan geçýän tok güýjüniň doýgun I_d ululygyny kesgitlemäge mümkinçilik berýän aňlatmany getirip çykarmaly. Elektrodlara U potensiallaryň tapawudy goýulsa, olaryň arasyndan geçýän tok güýjüniň aňlatmasyny görkezmeli.

Ç ö z ü l i ş i : Gazlarda toguň dykyzlygy (4.23) deňlik boýunça tapylýar:

$$j_d = qnh. \tag{1}$$

Başga tarapdan:

$$j_d = \frac{I_d}{S}. \tag{2}$$

Onda $j_d / S = qnh$, bu ýerde ionyň zarýady elektronyň zarýadynyň absolýut ululygyna deňdir ($q=e$). Belli ululyklardan peýdalanyp, doýgun toguň ululygyny $I_d = Sqnh$ aňlatma bilen kesgitläp bolar.

Gazlar üçin Omuň kanuny:

$$j = qn(U_{(0+)} + U_{(0-)})E, \tag{3}$$

bu ýerde $U_{(0\pm)}$ – degişlilikde položitel we otrisatel ionlaryň süýşüjiligi. (1) aňlatma laýyklykda:

$$j = en(U_{(0+)} + U_{(0-)})\frac{U}{h}. \tag{4}$$

(2) deňlige laýyklykda $j = I/S$, onda (4) deňligi hasaba alyp ýazyp bolar:

$$I = en(U_{(0+)} + U_{(0-)})\frac{US}{h}. \tag{5}$$

Talyplaryň özbaşdak taýýarlyklaryny barlamak üçin soraglar we ýumuşlar

1. Elektrolitlerdäki tok güýji diýlip nämä aýdylýar?
2. Elektrolitlerdäki dissosiasiýany 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 we özbaşdak däl zarýadsyzlanma.
8. Gaz ionlarynyň süýşüjiligi.
9. Gazlardaky tok güýjüniň dykyzlygy, onuň doýgun we doýgun bolmadyk hallarynda nähili aňladylýar?
10. Gaz ionlarynyň bitaraplaşma koeffisiýentiniň manysyny düşündirmeli.
11. Tebigatda we tehnikada gaz zarýadsyzlanmalarynyň mysallary.

Özbaşdak çözmek üçin meseleler

Elektrolitlerdäki elektrik togy

4.3-nji gönükme

4.25. Elektrolitiň üstünden $I=5\ A$ tok güýji geçirilende $t=10\ min$ wagtda elektrodlaryň birinde iki walentli metalyň $m=1{,}02\ g$ mukdary bölünip çykýar. Onuň ionynyň otnositel molýar massasyny kesgitlemeli.

4.26. Iki sany elektrolit taňňyry yzygider birikdirilen. Birinji taňňyrda m_1 = 3,9 *g* sink, ikinjisinde bolsa şol bir wagt içinde m_2 = 2,24 *g* demir bölünip çykýar. Sink iki walentli. Demriň walentliligini kesgitlemeli.

4.27. Içinde mis kuporosynyň ergini bolan elektrolit taňňyry akkumulýatora birikdirilen. Akkumulýatoryň EHG-si ε = 4*V*, içki garşylygy r = 0,1 *Om*. Eger polýarlanma EHG-si ε_p=1,5 *V*, erginiň garşylygy R=0,5 *Om* bolsa t = 10 *min* elektroliz wagtynda elektrotda misiň näçe m mukdary bölünip çykar?

4.28. Mis kuporosynyň elektrolizinde t = 5 *s* wagtyň dowamynda tok güýjüniň dykyzlygy j = 80 A/m^2 hemişelik saklanýar. Elektrodda bölünip çykan mis ýorkasynyň h galyňlygyny kesgitlemeli.

4.29. 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.

4.30. 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.

4.31. Içi hlorly demir ($FeCl_3$) we mis kuporosy ($CuSO_4$) iki sany elektrolit taňňyry yzygider birikdirilen. Birinji taňňyrdaky elektrodda demriň m_1 massasy bölünip çykýan wagtynda ikinji elektrolit taňňyrynda misiň näçe massasy bölünip çykar?

4.32. Nikel sulfatynyň ($NiSO_4$) elektrolit ergininiň üsti boýunça j = 10 mA/sm^2 dykyzlykly tok güýji akýar. Elektrodlaryň birinde h = 50 *mkm* galyňlykly ýorka näçe wagtda emele geler? Eger elektrodlaryň arasyndaky naprýaženiýe U = 7 *V* bolsa S = 1 mm^2 meýdanda t_2 = 1 *s* wagtda agzalan galyňlykdaky nikeli çaýmak üçin nähili toguň kuwwaty zerur?

4.33. Suwuň elektrolizinde taňňyr boýunça t = 25 *min* wagtyň dowamynda I = 20 *A* tok güýji geçirildi. Bu ýagdaýda 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*.

4.34. 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 çykar. Gurluşyň η PTK-syny kesgitlemeli.

4.35. 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?

4.36. EHG-si $\varepsilon = 1{,}5\ V$, 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?

4.37. Massasy $m = 1 kg$ bolan alýumin almak üçin näçe elektrik energiýasy zerur? Elektroliz $U = 10\ V$ naprýaženiýede geçirilýär we gurluşyň PTK-sy $\eta = 80\%$. Alýuminiň molýar massasy $M = 27 \cdot 10^{-3}\ kg/mol.$

Gazlardaky elektrik togy

4.38. 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 $U_{(0+)} = 1{,}3 \cdot 10^{-4}\ m^2/(V{\cdot}s)$ we $U_{(0-)} = 1{,}8 \cdot 10^{-4}\ m^2/(V{\cdot}s)$.

4.39. Ionlaşdyryjy kamerada biri beýlekisinden $h = 0{,}05\ m$ uzaklykda ýerleşdirilen elektrodlaryň arasyndaky doýgun toguň güýjüniň dykyzlygy $j_d = 1{,}6 \cdot 10^{-5} A/m^2$. Bu giňişligiň $V = 1\ sm^3$ göwrüminde her $1\ s$ wagtda emele gelýän bir walentli jübüt ionlaryň n sanyny tapmaly.

4.40. Kosmiki şohlelenme we topragyň radioişjeňligi 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 $I_{doýg}$ ululygyny kesgitlemeli. Ionlary bir walentli hasaplamaly.

4.41. Içi howaly tekiz kondensatoryň plastinalaryna $U = 300\ V$ naprýaženiýe 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 $U_{(0+)} = 1{,}1 \cdot 10^{-4}\, m^2/(V \cdot s)$ we $U_{(0-)} = 1{,}2 \cdot 10^{-4}\, m^2/(V \cdot s)$ bolsa kondensatordaky ionlaryň konsentrasiýasyny kesgitlemeli.

4.42. Zarýadsyzlanma turbajygynda, biri beýlekisinden $d = 10\ sm$ uzaklykda ýerleşdirilen elektrodlara $U = 5\ V$ potensiallaryň tapawudy goýlan. Turbajykdaky gaz ionlaşan we onuň göwrüm birligindäki jübüt ionlaryň sany $n = 10^8\ m^{-3}$. Ionlaryň süýşüjiligi $U_{(0+)} = 10^{-2}\ m^2/(V \cdot s)$ we $U_{(0-)} 3 \cdot 10^{-2}\ m^2/(V \cdot s)$. Tapmaly: a) turbajykdaky tok güýjüniň j dykyzlygyny; b) doly tok güýjüniň haýsy mukdary (I_+ / I) položitel ionlar bilen geçirilýär?

4.43. Ýokary naprýaženiýeli 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 naprýaženiýäniň U pese gaçmagyny kesgitlemeli.

4.44. 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 güýjüniň ululygyny kesgitlemeli. Ionlar bir walentli.

4.45. Ýeriň elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň orta ululygy $E = 130\ V/m$. Eger $V = 1 m^3$ howada toguň emele gelmegini dörediýän $N = 7 \cdot 10^8$ jübüt ion bar bolsa, atmosferadaky geçiriji tok güýjüniň j dykyzlygyny kesgitlemeli.

4.46. 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 dörediýän naprýaženiýesinden has kiçi bolan $U = 150\ V$ naprýaženiýede plastinalaryň arasyndan $I = 4\ mkA$ tok akýar. Plastinalaryň arasyndaky ionlaryň konsentrasiýasyny kesgitlemeli.

4.4. ÝARYMGEÇIRIJILERDÄKI ELEKTRIK TOGY

Esasy kesgitlemeler we aňlatmalar

Hususy ýarymgeçirijilerde togy äkidiji bolup, elektronlar we deşijekler hyzmat edýär. Hususy ýarymgeçirijileriň udel elektrik geçirijiligi:

$$\gamma = en \cdot (U_{\text{on}} + U_{\text{op}}), \qquad (4.25)$$

bu ýerde e – elektronyň zarýady, n – olaryň konsentrasiýasy; U_{on} we U_{op} – degişlilikde elektronyň we deşijegiň süýşüjiligi.

Hususy ýarymgeçirijileriň udel elektrik geçirijiliginiň temperatura baglylygy eksponensial kanuna laýyklykda kesgitlenilýär:

$$\gamma = \gamma_0 \exp\left(-\frac{\Delta E}{2kT}\right), \qquad (4.26.)$$

bu ýerde ΔE – gadagan zolagyň ini; k – Bolsmanyň hemişeligi; T – kristalyň absolýut temperaturasy; γ_0 – ýarymgeçirijiniň tebigatyna bagly hemişelik ululyk.

Meseleleriň çözülişine mysallar

67-nji mesele. Hususy geçirijiligi bolan kremniniň udel geçirijiliginiň logarifmasynyň degişlilikde 1175°C we 430°C temperatura laýyk gelýän iki bahasy lgγ_1 we lgγ_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:

$$\ln\gamma_1 = \ln\gamma_0 - \frac{\Delta E}{2kT_1}; \quad \ln\gamma_2 = \ln\gamma_0 - \frac{\Delta E}{2kT_2}. \qquad (1)$$

Meseläniň şertinde γ_1 we γ_2 udel geçirijileriň san bahalary onluk logarifmde berilýändigi sebäpli, (1) deňlemäni onluk logarifmada ýazalyň:

$$\lg\gamma_1 = \ln\gamma_0 - 0,43\frac{\Delta E}{2kT_1}; \quad \lg\gamma_2 = \ln\gamma_0 - 0,43\frac{\Delta E}{2kT_2}. \qquad (2)$$

Bu deňliklerden:

$$\lg\gamma_1 - \lg\gamma_2 = 0,43\frac{\Delta E}{2k}\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right) \qquad (3)$$

ýa-da gutarnykly

$$\Delta E = \frac{2k(\lg\gamma_1 - \lg\gamma_2)}{0,43\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)}. \qquad (4)$$

Bu alnan deňlik boýunça meseläniň şertindäki ululyklardan peýdalanyp taparys:

$$\Delta E = 1,76\cdot 10^{-19}J = 1,1eV.$$

Hususy geçirijilikli ýarymgeçiriji üçin gadagan zolagyň ini ΔE =1,1 eV.

68-nji mesele. 67-nji meseläniň şertindäki görkezilen γ_1 we γ_2 udel geçirijiliklere degişli temperaturalary 200°C ululyga azaltsak, olaryň udel geçirijiligi näçe üýtgär?

Ç ö z ü l i ş i : Hasaplamak üçin zerur bolan deňleme hökmünde 67-nji meseledäki (3) 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 ΔE = 1,76·10^{-19} J, şeýle hem k = 1,38·10^{-23} J/K. Onda (1) deňligi aşakdaky görnüşde ýazalyň.

$$\lg\frac{\gamma_1}{\gamma_2} = 2.74\cdot 10^{3}\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right). \qquad (2)$$

1-nji hal. Ýarymgeçirijiniň temperaturasy 1175°C, ýagny T_1 =1448 K-dan T_2 =1248 K çenli peseldilýär. Onda (2) deňlige laýyklykda:

$$\lg\frac{\gamma_1}{\gamma_2} = 2,74\cdot 10^{-3}(1,98 - 1,42)\cdot 10^{3} = 1,534$$

ýa-da bu ululygy potensirläp alarys:

$$\frac{\gamma_1}{\gamma_2} = 2.$$

Kristalyň birinji temperaturasyny 200°C peseldilende onuň udel geçirijiligi 2 esse peselýär.

2-nji hal. Ýarymgeçirijiniň temperaturasy 430°C-den 230°C ululyga çenli peseldilen. Ýagny T_1 =703 K we T_2 =503 K. Bu halda:

$$\lg\frac{\gamma_1}{\gamma_2} = 2,74 \cdot 10^{-3}(1,98 - 1,42) \cdot 10^{3} = 1,534.$$

ýa-da $\frac{\gamma_1}{\gamma_2}$=34,2. Bu ýagdaýda ýarymgeçirijiniň udel geçirijiligi 34,2 esse peselýär.

69-njy mesele. Berlen temperaturada garyndysyz kristal germanide (Ge) zarýad äkidijileriň konsentrasiýasy $n = p = 3,1 \cdot 10^{19} m^{-3}$, olaryň süýşüjiligi degişlilikde $U_{on} = 0,39 m^2/(V \cdot s)$ we $U_{op} = 0,19 m^2/(V \cdot s)$ bolsa, germaniniň udel elektrik geçirijiligini kesgitlemeli. Berlen nusgada toguň dykyzlygy $j = 10,2 \cdot 10^4 A/m^2$ bolar ýaly, elektrik meýdanynyň güýjenmesi nähili bolmaly?

Ç ö z ü l i ş i : Udel elektrik geçirijiligini (4.25) aňlatma laýyklykda taparys:

$$\gamma = \gamma_n + \gamma_p = enU_{on} + epU_{op} = en(U_{on} + U_{op}).$$

Meseläniň şertindäki ululyklardan peýdalanyp, γ=2,91/($Om \cdot m$).

Elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň ululygyny tapmak üçin, Omuň kanunynyň differensial görnüşinden peýdalanalyň:

$$E = \frac{j}{\gamma} = 3,5 \cdot 10^4 \frac{V}{m}.$$

70*-nji mesele. Garyndysyz arassa germaniniň (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

$\rho = \frac{1}{\gamma} = \rho_0 e^{\Delta Eg/(2kT)}$, $\lambda_0 = 1{,}86$ *mkm,* bu ýerde ΔE_g – gadagan zolagyň ini; ρ_0 – hemişelik, onda:

$$\frac{d\rho}{dT} = \rho_0 e^{\frac{\Delta Eg}{2kT}}\left(\frac{\Delta E_g}{2kT}\right) = -\rho_0\frac{\Delta E_g}{2kT}, \tag{1}$$

$$\alpha = \frac{1}{\rho_0}\left(-\rho_0\frac{\Delta E_g}{2kT^2}\right) = -\frac{\Delta E_g}{2kT^2}. \tag{2}$$

Germaniý elementi üçin fotoeffektiň «gyzyl çägi» $E = h\nu$ şert bilen kesgitlenilýär. Bu ýerde h – Plankyň hemişeligi. Diýmek,

$$\Delta E_g = h\nu_0 = h\frac{c}{\lambda_0}. \tag{3}$$

Meseläniň şertindäki ululyklardan peýdalanyp, $\alpha = -0{,}045K^{-1}$ bolýandygyny hasaplap bolar.

71-nji mesele. Arassa tellury (Te) T_1 =300 K-den T_2=400 K çenli gyzdyrylanda onuň udel garşylygy, takmynan, 5,2 esse azalýar. Absolýut nol temperaturada arassa tellurda elektron-deşijek jübütiniň emele gelmeginiň iň kiçi energiýasyny kesgitlemeli.

Çözülüşi: Kristalyň udel garşylygynyň temperatura baglylyk $\rho \approx \rho_0 e^{\Delta Eg/(2kT)}$ aňlatmasyny iki ýagdaý üçin ýazalyň:

$$\rho_1 = \rho_0 e^{\frac{\Delta Eg}{2kT1}},\ \rho_2 = \rho_0 e^{\frac{\Delta Eg}{2kT2}}. \tag{1}$$

Soňky deňlemeleri özara gatnaşdyryp alarys:

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = e^{\frac{(T2-T1)\Delta Eg}{2kT1\,T2}}.$$

Alnan aňlatmany potensirläliň:

$$\ln\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{(T_2 - T_1)}{2kT_1T_2}\Delta E_g.$$

Bu ýerden:

$$\Delta E_g = \frac{\ln\frac{\rho_1}{\rho_2}}{\frac{(T_2 - T_1)}{2kT_1T_2}} = \frac{2kT_1T_2}{(T_2 - T_1)\ln\frac{\rho_2}{\rho_1}}.$$

Meseläniň şertinde berlen ululyklardan peýdalanyp alarys:

$$\Delta E_g = 0{,}34\ eV.$$

Talyplaryň özbaşdak taýýarlyklaryny barlamak üçin soraglar we ýumuşlar

1. Ýarymgeçirijiler özleriniň elektrik häsiýetleri boýunça metal geçirijilerden nähili tapawutlanýar? Olaryň Fermi energiýasy nämäni aňladýar?
2. Ýarymgeçirijileriň hususy we hususy bolmadyk geçirijiligini düşündirmeli.
3. Garyndyly geçirijilikli ýarymgeçirijiler üçin Ferminiň energiýasy.
4. Ýarymgeçiriji diodlarda *n-p* geçiş nähili emele gelýär? Ýarymgeçiriji diodyň elektrik shemalara birikdirilişi we onuň geçirijiligi.
5. Näme sebäbe görä *n-p* geçişde gadagan zolagyň görnüşiniň egrelmeginiň sebäbini düşündirmeli?
6. Ýarymgeçiriji diodyň wolt-amper häsiýetnamasy.

Özbaşdak çözmek üçin meseleler

4.4-nji gönükme

4.47. Kremniý geçirijiniň temperaturasy T_1=705 *K*-dan T_2 =1450 *K* çenli artdyrylanda onuň geçirijiligi $\gamma_1/\ \gamma_2$ =100 esse köpelýär. Kremniý üçin gadagan zolagyň inini kesgitlemeli.

4.48. Temperaturasy 300*K* bolan germaniniň udel garşylygy 10 esse artar ýaly edilip sowadylan. Onuň gadagan zolagynyň ini ΔE =0.7 *eV* deň diýip kabul edip, germaniniň haýsy temperatura çenli sowadylandygyny kesgitlemeli.

4.49. Kremniý üçin gadagan zolagyň ini ΔE =1,1 *eV*. Kremniniň başlangyç *t* temperaturasy t_1=430°C. Eger onuň garşylygy 100 esse azalan bolsa, ýarymgeçiriji näçe gradusa çenli gyzdyrylypdyr?

4.50. Ýarymgeçiriji güýjenmesi E = 150 *V/m* bolan elektrik meýdanynda ýerleşdirilen. Onuň üstünden geçýän tok güýjüniň dykyzlygyny kesgitlemeli. Kristalyň temperaturasy T = 700 *K*, gadagan zolagyň ini ΔE =1,1 *eV* we hemişelik ululygy γ_0 =8,10^5 $(Om\ m)^{-1}$.

4.51. Hususy geçirijiligi bolan germaniý ýarymgeçirijiniň berlen temperaturada we E = 1 *V/mm* daşky elektrik meýdanynyň güýjenmesinde tok güýjüniň dykyzlygy j = 0,002 A/mm^2. Elektronlaryň we deşijekleriň bilelikdäki jemi süýşüjiligini

$(U_{(0p)} + U_{(0n)}) = 0,58\, m^2/(V \cdot s)$ hasaplap, elektronlaryň konsentrasiýasyny kesgitlemeli.

4.52. Berlen temperaturada germaniý ýarymgeçirijide degişlilikde elektronlaryň we deşijekleriň süýşüjilikleri $U_{(0p)}=0,19 m^2 / (V{\cdot}s)$; $U_{(0n)} = 0,39 m^2/(V{\cdot}s)$. Elektronlaryň konsentrasiýasy $n = 22{\cdot}10^{18}\ m^{-3}$ kabul edip, ýarymgeçirijidäki $j = 10^{-3}\ A/mm^2$ tok güýjüne gabat gelýän germaniniň hususy udel geçirijiligini we elektrik meýdanynyň güýjenmesini kesgitlemeli.

4.53. Ýarymgeçirijiniň temperaturasyny t_1=0°C-den t_2=175°C-ä çenli artdyrylanda ondaky elektronlaryň tizlikleri $\upsilon_1 = 0,5\ m/s$-den $\upsilon_2 = 0,75\ m/s$-a çenli olaryň göwrümleýin sany bolsa, $n_1=1,3{\cdot}10^{14}\ m^{-3}$-den $n_2 = 2,1{\cdot}10^{18}\ m^{-3}$-e çenli artypdyr. Ýarymgeçirijidäki tok güýjüniň dykyzlygynyň näçe esse üýtgändigini kesgitlemeli.

V. MAGNIT MEÝDANY WE ELEKTROMAGNIT INDUKSIÝASY

5.1. HEMIŞELIK MAGNIT MEÝDANY

Esasy kesgitlemeler we aňlatmalar

• **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 birlik bölegine magnit meýdany tarapyndan täsir edýän güýje san taýdan deň bolan ululykdyr:

$$\vec{B} = \frac{d\vec{F}}{|Id\vec{l}\,|}, \tag{5.1}$$

bu ýerde $d\vec{F}$ – tokly $Id\vec{l}$ 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 bilen hem kesgitlenilýär:** eger, sag eliň dört barmagy bilen tokly geçirijini gysymlap, başam barmagy geçirijidäki toguň akýan ugruna gönükdirilse, tokly geçirijini gysymlan 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 *l* hasaplamaga mümkinçilik berýär. Oňa laýyklykda tokly geçirijiniň *Idl* elementiniň (böleginiň) wektorynyň döredýän magnit meýdanynyň induksiýasy degişlilikde wektor we skalýar görnüşde (5.2) we (5.3) deňlikler bilen aňladylýar:

$$d\vec{B} = k_m \frac{[Id\vec{l} \times \vec{r}]}{r^3}, \tag{5.2}$$

$$dB = k_m \frac{Idl}{r^2} \sin\alpha, \tag{5. 3}$$

bu ýerde $k_m = \mu_0/(4\pi)$, μ_0 – magnit hemişeligi ($\mu_0 = 1{,}26 \cdot 10^{6}$ *Gn/m*); r – tokly geçirijiniň böleginden magnit meýdanynyň induksiýasy kesgitlenilýän nokatda geçirilen radius wektor; α – $Id\vec{l}$ geçirijiniň tokly bölek wektory bilen $\vec{r}$ radius wektorynyň emele getirýän burçy.

• **Bionyň, Sawaryň we Laplasyň kanunynyň ulanylyşy**

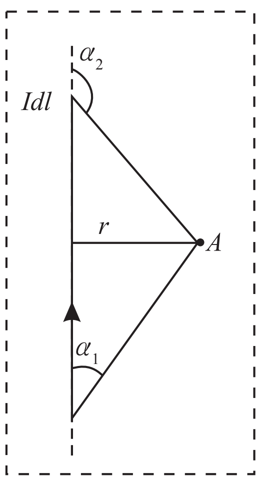
Kesgitli *l* uzynlykly, göni tokly geçirijiniň özünden *r* uzaklykdaky nokatda (*mysal üçin, A nokatda 5.1-nji surat*) döredýän magnit meýdanynyň induksiýasy:

$$B = k_m \frac{I}{r}(\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2), \tag{5.4}$$

bu ýerde α_1 we α_2 – *A* nokadyň geçirilen radius wektory bilen tokly bölek geçirijiniň emele getirýän burçy.

Tükeniksiz uzynlykly, göni geçirijiniň döredýän magnit meýdanynyň induksiýasy:

$$B = \frac{\mu_0\mu}{2\pi}\frac{I}{r}. \tag{5.5}$$



5.1-nji surat.
Tokly bölek geçiriji

• **Halka görnüşli tokly geçirijileriň merkezindäki magnit meýdanynyň induksiýasy:**

$$B = \frac{\mu_0}{2}\frac{I}{r}, \tag{5.6}$$

bu ýerde r – halka görnüşli tokly geçirijiniň radiusy.

• **Halka görnüşli tokly geçirijileriň merkezinden geçýän okuň üstündäki ýatan islendik nokadyň magnit meýdanynyň induksiýasy:**

$$B = \mu_0 \frac{2\pi I r^2}{(r^2 + d^2)^{3/2}}, \tag{5. 7}$$

bu ýerde d – halka görnüşli geçirijiniň merkezinden geçýän ok boýunça induksiýasy hasaplanylýan nokada çenli aralyk.

Uzyn solenoidiň içindäki magnit meýdanynyň induksiýasy:

$$B = \mu_0\, n\, I, \tag{5.8}$$

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 $\vec{B}_1, \vec{B}_2, \vec{B}_3, \ldots \vec{B}_N$ induksiýalarynyň wektor jemine deňdir:

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + \ldots + \vec{B}_N = \sum_{k=1}^{N} \vec{B}_k \tag{5. 9}$$

ýa-da bu deňligi iki tokly geçiriji üçin kosinuslar teoremasyndan peýdalanyp, skalýar görnüşde aňladyp bolar:

$$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2 - 2B_1B_2\cos\alpha}\,, \tag{5. 10}$$

bu ýerde α – $\vec{B}_1$ we $\vec{B}_2$ wektorlaryň arasyndaky burç.

• **Doly toguň kanuny.** Magnit meýdanynda islendik ýapyk l geçiriji halka boýunça induksiýanyň aýlanmagy $\oint\limits_L \vec{B}d\vec{l}$ bu halkanyň içindäki tok güýçleriniň algebraik jeminiň μ_0 magnit hemişeligine köpeltmek hasylyna deňdir:

$$\oint\limits_{l} \vec{B}d\vec{l} = \oint\limits_{l} Bdl\cos(\vec{B}d\vec{l}) = \mu_0 \sum_{k=1}^{N} I_k. \tag{5. 11}$$

$$\sum_{k=1}^{N} I_k = I_1 + I_2 + I_3 + ... + I_N$$ – tok güýçleriniň algebraik jemi.

Magnit meýdanynyň induksiýasy meýdanyň güýjenmesi bilen wakuumda

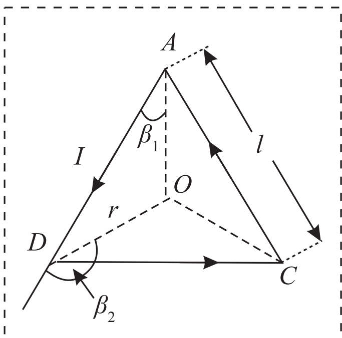
$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} \quad (5.12)$$

görnüşde baglydyr.

Meseleleriň çözülişine mysallar

72-nji mesele. Taraplary 50 *sm* bolan deňtaraply üçburçluk görnüşinde taýýarlanan geçirijiden I hemişelik tok güýji geçýär. Üçburçlugyň merkezinde magnit meýdanynyň güýjenmesini kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i : Ilki deňtaraply üçburçlugyň merkezi nokadyny takyklamaly. Munuň üçin deňtaraply üçburçlugyň hemme burçlarynyň bissektrissasyny üznükli (punktir) çyzyk bilen tä olar bir-biri bilen kesişýänçä geçireliň (*5.2-nji surat*). Suratda bu nokat O bilen bellenen. Bu nokatda meýdanyň güýjenmesini kesgitlemek üçin deňtaraply üçburçlukda toguň aýlanma ugruny görkezmeli. Suratda bu ugur hökmünde sagat diliniň (peýkamynyň) aýlanmasynyň garşylykly ugry kabul edilen. Indi burawjygyň düzgüninden peýdalanyp, üstünden I tok güýji geçýän deňtaraply üçburçlugyň her bir tarapynyň aýratynlykda O nokatda döredýän H güýjenmesiniň ýatan tekizliginden bize tarap perpendikulýar ugrukdyrylandygyny anyklarys. Bu nokatdaky magnit meýdanynyň güýjenmesini (5.9) we (5.12) deňlikleriň esasynda aşakdaky görnüşde ýazyp bolar.



5. 2-nji surat. Tokly deňtaraply üçburç geçiriji

$$H = H_1 + H_2 + H_3. \quad (1)$$

Bu ýerde meýdanyň güýjenmesiniň wektor ululyklary olaryň degişli skalýar ululyklaryna deňdir. Mundan başga-da, simmetriýa şertine laýyklykda deňtaraply üçburçlugyň aýry-aýry taraplarynyň O nokatda döredýän magnit meýdanynyň güýjenmeleri özara deňdir:

$$H_1 = H_2 = H_3. \tag{2}$$

(2) deňligi göz öňünde tutup, (1) aňlatmany aşakdaky görnüşde alarys:

$$H = 3H_1. \tag{3}$$

Diýmek, O nokatdaky güýjenme deňtaraply üçburçlugyň bir tarapynyň şol nokatda döredýän güýjenmesiniň üç essesine deňdir. Bu deňligi (5.4) we (5.12) deňlikleriň esasynda aşakdaky görnüşde ýazyp bolar:

$$H_1 = \frac{1}{4\pi}\frac{I}{r}(\cos\beta_1 - \cos\beta_2)$$

ýa-da

$$H = \frac{3}{4\pi}\frac{I}{r}(\cos\beta_1 - \cos\beta_2).$$

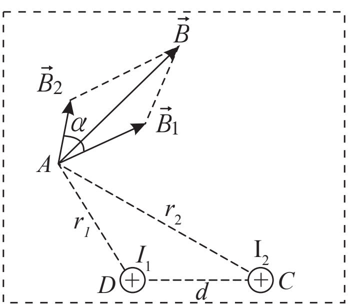
5.2-nji suratdan görnüşi ýaly, $\beta_2 = \pi - \beta_1$ we $r = (l/2)\ \mathrm{tg}\beta_1$, bu ýerde l – üçburçlugyň taraplarynyň uzynlygy. Onda:

$$H = \frac{3I}{2\pi l}\frac{\cos\beta_1 - \cos(\pi - \beta_1)}{\mathrm{tg}\beta_1} = \frac{3I\cos^2\beta_1}{\pi l\sin\beta_1}$$

ýagny $\beta_1 = \pi/6$ ýa-da $\sin\beta_1 = 1/2$; $\cos\beta_I = \sqrt{3}/2$; $\cos^2\beta_I = 3/4$. Bulary göz öňünde tutup alarys:

$$H = \frac{9I}{2\pi l}. \tag{3}$$

73-nji mesele. Biri-birinden $d = 10\,sm$ uzaklykda ýerleşdirilen tükeniksiz uzyn iki sany parallel geçirijileriň her birinden I = 60 A tok güýçleri bir ugra akýar. Birinji geçirijiden $r_1 = 5\ sm$, ikinji geçirijiden bolsa, $r_2 = 12\ sm$ uzaklykdaky nokatda magnit meýdanynyň induksiýasyny kesgitlemeli.



5.3-nji surat.Tokly parallel geçirijileriň magnit meýdany

Ç ö z ü l i ş i : Meseläniň şerti boýunça tok akýan parallel geçirijileri ýazgynyň tekizligine perpendikulýar ugrukdyrylan hasaplalyň (*5.3-nji surat*). Bu halda kabul edilen şertli bellenilişi ýaly tekizlige girýän tokly geçirijileri içi goşmakly tegelek bilen belgiläliň. A nokatda birinji we ikinji geçirijileriň döredýän magnit meýdanlarynyň induksiýasynyň ugruny burawjygyň düzgünini ulanyp kesgitlemeli. Bu nokatdaky netijeleýji B_A-nyň ululygyny induksiýalaryň goşulyş düzgüninden peýdalanyp ýazalyň:

$$\vec{B}_{\mathrm{A}} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2.$$

Induksiýanyň A nokatdaky B_A ululygyny kosinuslar teoremasyndan peýdalanyp tapmak bolar:

$$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2 + 2B_1 B_2 \cos\alpha}, \tag{1}$$

bu ýerde α – magnit meýdanynyň induksiýasynyň $\vec{B}_1$ we $\vec{B}_2$ wektorlarynyň arasyndaky burç. (5.5) deňlik boýunça B_1 we B_2-niň bahalaryny taparys:

$$B_1 = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{I}{r_1}, \tag{2}$$

$$B_2 = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{I}{r_2}. \tag{3}$$

Indi meseläni çözmek üçin $\cos\alpha$-ny kesgitlemek galdy, ýagny $\angle DAC = \alpha$, onda kosinuslar teoremasyndan:

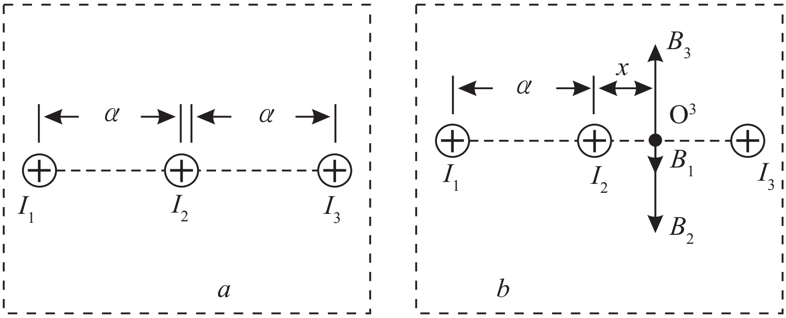
$$\cos\alpha = \frac{r_1^2 + r_2^2 - d^2}{2r_1 r_2}. \tag{4}$$

(1) deňlikde (2), (3) we (4) deňlikleri goýup, B_A-ny hasaplamak üçin gutarnykly aňlatmany alarys:

$$B_A = \frac{\mu_0}{2\pi} I \sqrt{\frac{1}{r_1^2} + \frac{1}{r_2^2} + \frac{1}{r_1 r_2}\frac{r_1^2 + r_2^2 - d^2}{r_1 r_2}}. \tag{5}$$

Bu deňlik bize meselede soralýan nokadyň magnit meýdanynyň induksiýasyny hasaplamaga mümkinçilik berer.

74-nji mesele. Bir tekizlikde biri-birinden 3 *sm* daşlykda ýerleşen parallel üç geçirijiniň ikisinden geçýän tok güýçleri $I_1 = I_2$ özara deň. Olaryň üçünjisinden geçýän toguň güýji bolsa, $I_3 = (I_1+I_2)$. Özüniň islendik nokadynda toklaryň döredýän magnit meýdanynyň induksiýasynyň nola deň bolan göni çyzygynyň nireden geçýändigini kesgitlemeli.



5.4-nji surat. Tükeniksiz uzyn parallel tokly geçirijileriň magnit meýdany

Çözülişi: Goý, I_1, I_2 we I_3 toklar çyzgynyň tekizligine perpendikulýar akýar diýeliň (*5.4-nji a surat*). Gözlenilýän tokly geçirijileriň I_2 we I_3 tokly geçirijiniň arasynda, I_2 tokdan x aralykda ýerleşjekdigi düşnüklidir. Hakykatdan hem, I_1 we I_2 toklaryň O nokatda döredýän magnit meýdanynyň induksiýalarynyň ugruny burawjygyň düzgüni bilen kesgitläp, $\vec{B}_1$ we $\vec{B}_2$ induksiýalarynyň aşak, I_3 togunyňky bolsa ýokary ugrukdyrylandygyny anyklap bolýar (*5.4-nji b surat*). Meseläniň şertine görä $\vec{B}_1$, $\vec{B}_2$ we $\vec{B}_3$ induksiýalar skalýar görnüşde:

$$B_1 + B_2 - B_3 = 0. \qquad (1)$$

Biz indi tükeniksiz uzyn göni tokly geçirijileriň döredýän magnit meýdanynyň induksiýasyny (5.5) deňligiň esasynda alarys:

$$\left.\begin{aligned} B_1 &= \frac{\mu_0 \mu I_1}{2\pi(a+x)} \\ B_2 &= \frac{\mu_0 \mu I_2}{2\pi x} \\ B_3 &= \frac{2\mu_0 \mu I_3}{2\pi(a-x)} \end{aligned}\right\}. \qquad (2)$$

(2) deňligi (1) deňlikde goýup alarys:

$$\frac{\mu_0 \mu I_1}{2\pi(a+x)} + \frac{\mu_0 \mu I_2}{2\pi x} - \frac{\mu_0 \mu (I_1 + I_2)}{2\pi(a-x)} = 0. \qquad (3)$$

Bu deňligi kwadrat deňlemä getireris:

$$4x^2 + ax - a^2 = 0. \qquad (4)$$

Bu ýerden:

$$x = \frac{-a \pm \sqrt{a^2 - 16a^2}}{8} = \frac{-3 \cdot 10^{-2} \pm 12,4 \cdot 10^{-4}}{8}.$$

Diýmek, kwadrat deňlemäniň ikinji köküni taşlaýarys, sebäbi ol I_1 we I_2 toklaryň arasyndaky nokada jogap berýär. Bu bolsa meseläniň şertine laýyk gelmeýär.

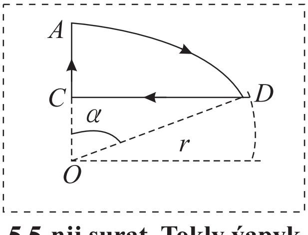
Talyplaryň özbaşdak taýýarlyklaryny barlamak üçin soraglar we ýumuşlar

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.

Özbaşdak çözmek üçin meseleler

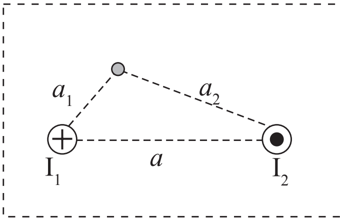
5.1-nji gönükme

5.1. 5.5-nji suratda 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°-a deň bolsa, onda O nokatdaky magnit meýdanynyň induksiýasyny kesgitlemeli.



5.5-nji surat. Tokly ýapyk geçiriji halka

5.2. Özara parallel ýerleşen iki geçirijiden garşylykly tarapa $I = I_1 = I_2$ tok güýji akýar. Geçirijileriň arasyndaky uzaklyk a. Birinji geçirijiden a_1 we ikinji geçirijiden $a_2 > a_1 > a$ uzaklykdaky A nokadyň magnit meýdanynyň induksiýasyny kesgitlemeli (*5.6-njy surat*).

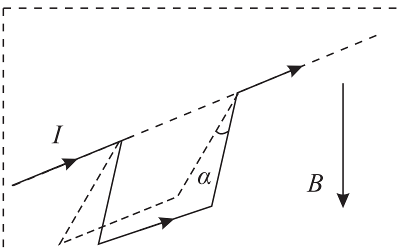


5.6-njy surat. Garşylykly tarapa ugrukdyrylan tokly geçirijiler

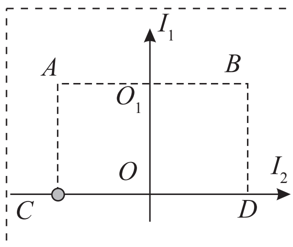
5.3. Radiusy R = 100 *sm* bolan aýlaw sarymyň inçe siminden $I = 1A$ tok güýji aýlanýan bolsa: a) sarymyň merkezinde we b) aýlaw sarymynyň merkezinden x = 100 *mm* uzaklykda ýerleşen nokatlarda magnit meýdanynyň induksiýasyny hasaplamaly.

5.4. Kese kesiginiň meýdany $S = 2\ mm^2$ bolan mis simi üç tarapy ini we boýy deň edilip 5.7-nji suratda görkezilişi ýaly egreldilip, oňa kese okuň daşynda aýlanyp biler ýaly mümkinçilik döredilen. Birhilli magnit meýdanynyň induksiýasynyň güýç çyzyklary bu geçirijiniň, üstüne perpendikulýar ugrukdyrylan. Haçanda geçirijiden I = 10 A tok güýji geçende ol öňki ýagdaýyndan $\alpha = 15°$ burça gyşarýan bolsa, daşky meýdanynyň B induksiýasyny kesgitlemeli.

5.5. Iki tükeniksiz uzyn, göni geçiriji bir tekizlikde bir-birine perpendikulýar ýerleşdirilen. Geçirijilerden I_1 we I_2 tok güýçleri geçýär. Eger $OC = OD = AO_1 = O_1K = l_1$ we $AC = KD = l_2$ bolsa, A we K nokatlaryň magnit meýdanynyň induksiýasyny kesgitlemeli (*5.8-nji surat*).



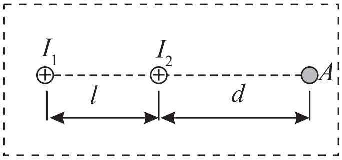
5.7-nji surat. Birhilli perpendikulýar ugrukdyrylan magnit meýdanyndaky inedördül epilen tokly geçiriji



5.8-nji surat. Özara perpendikulýar ýerleşen tokly tükeniksiz uzyn geçirijiler

5.6. Kese kesiginiň meýdany S-e deň bolan mis simden ýasalan halkadan I tok güýji geçende halkanyň merkezinde B ululykly magnit meýdany döreýär. Halkanyň uçlaryndaky potensiallaryň tapawudyny kesgitlemeli.

5.7. Biri-birinden l uzaklykda, wakuumda ýerleşen iki tükeniksiz uzynlykly, parallel geçirijilerden bir tarapa ugrukdyrylan I_1 we I_2 tok güýçleri geçýär (*5.9-njy surat*). Geçirijileriň üstüne geçirilen perpendikulýaryň dowamynda, ikinji tokly geçirijiden d daşlykdaky A nokatda döreýän magnit meýdanynyň induksiýasyny kesgitlemeli.



5.9-njy surat. Parallel tokly geçirijiler

5.8. Biri-birinden l uzaklykda ýerleşdirilen, iki parallel geçirijiden ululyklary boýunça özara deň tok güýçleri geçýär. Her bir geçirijiden l uzaklykda ýerleşen nokatdaky magnit meýdanynyň induksiýasynyň ugruny we ululygyny kesgitlemeli.

5.9. Taraplarynyň uzynlygy a we b deň bolan gönüburçly, üstünden I tok güýji geçýän ramkanyň merkezindäki magnit meýdanynyň B induksiýasyny kesgitlemeli.

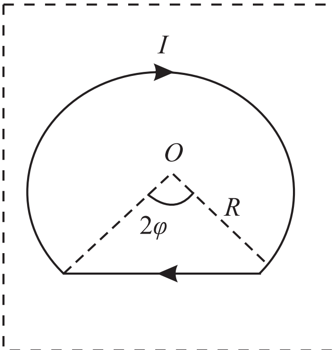
5.10. Inçe halka geçiriji boýunça tok geçýär. Ondaky togy üýtgetmän, geçirijä kwadrat görnüş berildi. Geçiriji halkanyň merkezindäki magnit meýdanynyň induksiýasy näçe esse üýtgär?

5.11. 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 geçiriji sim halka bilen ondaky toguň ugruna galtaşýar. Aýlaw toguň merkezindäki magnit meýdanynyň güýjenmesini kesgitlemeli.

5.12. Taraplary $a = 10$ *sm* bolan kwadrat görnüşindäki inçe geçirijiden $I = 5A$ tok güýji geçýär. Kwadratyň merkezinden onuň uzynlygyna deň bolan daşlykdaky nokadyň magnit meýdanynyň induksiýasyny kesgitlemeli.

5.13. 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.

5.14. Radiusy $R = 10$ *sm* bolan inçe geçiriji halkadan $I = 80\ A$ tok güýji geçýär. Halkanyň merkezinden geçýän gönüniň ugrunda $r = 20$ *sm* uzaklykdaky nokadyň magnit meýdanynyň induksiýasyny kesgitlemeli.

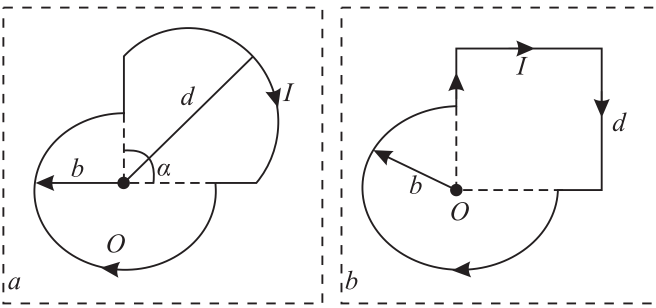


5.10-njy surat. Tokly geçiriji halka

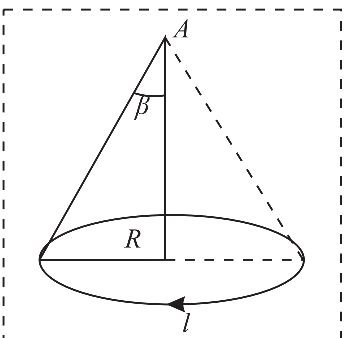
5.15. Ýaý şekilli egreldilen inçe geçirijiden I = 5A tok güýji geçýär (*5.10-njy surat*). Geçirijiniň ýaý şekilli böleginiň radiusy R=120 *mm*. Ýaýyň uçlarynyň radiusy onuň merkezinde özara 2φ = 90° burçy döredýär. O nokatdaky magnit meýdanynyň induksiýasyny kesgitlemeli.

5.16. Üstünden I tok güýji geçýän halkanyň: a) b we d radiuslar hem-de burç belli bolsa (*5.11-nji a surat*);

b) b radiusy we d tarapy belli bolsa, O nokatdaky magnit meýdanynyň induksiýasyny kesgitlemeli (*5.11-nji ç* surat).



5.11-nji surat. Tokly geçiriji halka



5.12-nji surat. Tokly geçiriji halka

5.17. Radiusy R=10 *sm* bolan inçe halka görnüşdäki geçirijiden tok geçýär. Eger A nokatda magnit meýdanynyň induksiýasy $B = 10^{-5}Tl$ we β = 10°-a deň bolsa (*5.12-nji surat*), onda halkadan akyp geçýän tok güýjüniň ululygyny kesgitlemeli.

5.18. Induksiýasy B = 0,01Tl bolan birhilli magnit meýdanynyň güýç çyzyklarynyň ugruna kese kesiginiň meýdany S = 4 mm^2 bolan göni mis geçiriji perpendikulýar ýerleşdirilen.

Eger, geçirijiden $I = 8{,}9A$ tok güýji geçirilse, onda geçiriji nähili tizlenme bilen magnit meýdanyndan iteklenip çykarylar?

5.19. Diametri $D = 6\ sm$ bolan solenoid ýogynlygy $d = 2\ mm$ mis siminden jebis edilip saralan. Solenoidiň içindäki magnit meýdanynyň induksiýasy $B = 7{,}5 \cdot 10^{-5}\ Tl$ bolmagy üçin solenoidiň içindäki naprýaženiýe näçe bolmaly?

5.20. Radiusy $r = 10\ mm$ bolan geçiriji ýuka diwarly uzyn metal turbadan ýasalyp, onuň oky boýunça geçiriji sim çekilen. Eger agzalan geçiriji boýunça ululygy özara deň garşylykly tarapa $I = 0{,}5\,A$ tok güýji akýan bolsa, onda geçirijiniň okundan $r_1 = 5mm$ we $r_2 = 15\,mm$ uzaklykdaky nokatda magnit meýdanynyň induksiýasyny kesgitlemeli.

5.21. Silindr şekilli turbanyň üstki diwary boýunça I hemişelik tok güýji geçýär. Turbanyň içindäki we daşyndaky magnit meýdanynyň güýjenmesi nähili bolar?

5.22*. 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** diýip, $\vec{J}$ göwrüm birligindäki magnit momentleriniň jemine aýdylýar:

$$\vec{J} = \frac{\sum \vec{p}}{V}, \tag{5.13}$$

bu ýerde $\vec{J}$ – magnitlenme weklory; V – magnit häsiýetli maddanyň garalýan bölüminiň göwrümi; p – magnit momenti.

Geçiriji halkanyň ýa-da magnit maddalaryň kesgitli böleginiň magnit momenti:

$$\vec{p} = iS\vec{n}, \tag{5.14}$$

bu ýerde i – geçiriji halkadan geçýän tok güýji ýa-da orbita boýunça elektronlaryň döredýän molekulýar tok güýji; S – molekulýar tok güýji bilen çäklenen meýdan; $\vec{n}$ – molekulýar i tok bilen sag nurbat boýunça baglanyşykly S üste geçirilen normal.

• **Magnit meýdanynyň induksiýasy bilen onuň güýjenmesiniň arasyndaky baglanyşyk:**

$$\vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H}. \tag{5.15}$$

Magnit meýdanynda $\vec{B}$, $\vec{H}$ we $\vec{J}$ weklorlaryň arasyndaky baglanyşyk:

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \vec{J}, \tag{5.16}$$

bu ýerde $\vec{H}$ – daşky magnit meýdanynyň güýjenmesiniň wektory; μ_0 – magnit hemişeligi. Uly bolmadyk magnit meýdanynda magnitlenme wektory meýdanyň güýjenmesi bilen baglanyşykdadyr:

$$\vec{J} = \chi \vec{H}, \tag{5.17}$$

bu ýerde χ – maddalaryň magnit kabul edijilik koeffisiýenti. Ol:

$$\mu = 1 + \chi. \tag{5.18}$$

• **Magnit meýdanynyň energiýasy:**

$$W = \frac{1}{2} L I^2, \tag{5.19}$$

bu ýerde L – geçirijiniň induktiwliligi; I – geçirijiden geçýän tok güýji.

• **Solenoidiň induktiwliligi:**

$$L = \mu_0 \mu n^2 V, \tag{5.20}$$

bu ýerde μ – solenoidiň içindäki maddanyň magnit syzyjylygy; $n = N / l$ – solenoidiň l uzynlyk birligine düşýän sarymlarynyň sany; $V=Sl$ – solenoidiň saralan silindriniň sarymy bilen bilelikdäki göwrümi.

• **Üstünden *I* tok güýji geçýän solenoidiň magnit meýdanynyň energiýasy:**

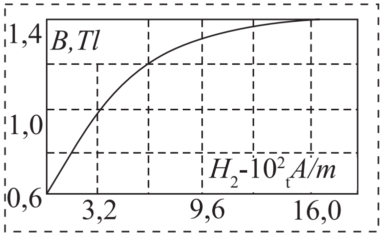
$$W = \mu_0 \mu \frac{n^2 I^2}{2} V = \frac{B^2}{2\mu_0 \mu} V = \frac{BH}{2} V. \tag{5.21}$$

• **Magnit meýdanynyň energiýasynyň *ω* dykyzlygy (göwrüm birligine düşýän bahasy):**

$$\omega = \frac{W}{V} = \frac{\mu_0 \mu}{2} H^2 = \frac{BH}{2} = \frac{B^2}{2\mu_0 \mu}. \tag{5.22}$$

Meseleleriň çözülişine mysallar

75-nji mesele. Güýjenmesi $H=6,4 \cdot 10^2$ *A/m* bolan magnit meýdanyna demir bölegi girizilen. Görkezilen 5.13-nji suratdan peýdalanyp, demriň magnit syzyjylygyny, magnitlenmesini we magnit kabul edijiligini kesgitlemeli.

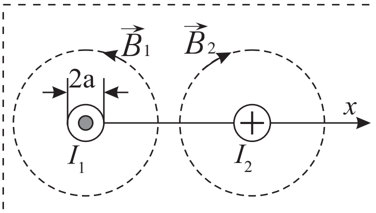


5.13-nji surat. Demir üçin *B=f(H)* baglylyk

Ç ö z ü l i ş i : Demir ferromagnit maddalarynyň hataryna girýär. Wakuumdaky magnit meýdanynyň induksiýasyny onuň güýjenmesi bilen baglanyşdyrýan (5.15) aňlatmany aşakdaky görnüşde ýazyp:

$$\mu = \frac{B}{\mu_0 H} \tag{1}$$

ferromagnit maddalarynyň magnit syzyjylygyny meýdanyň B we H ululyklarynyň üsti bilen aňladyp bolar. Bu gatnaşygyň esasynda 5.13-nji suratdan meseläniň şertinde H-yň berlen bahasyndan peýdalanyp, demir üçin, $B = 1,21$ *Tl* deňdigini bileris. Soňra (1) deňlik boýunça hasaplap, demir üçin $\mu = 497$ taparys. Indi bolsa, (5.17) deňlikden ferromagnit maddanyň magnitlenme wektoryny aşakdaky görnüşde aňladyp:



5.14-nji surat.
Garşylykly ugrukdyrylan tokly parallel geçirijiler

$$\vec{J} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{H} \tag{2}$$

onuň $J = 312 \cdot 10^3 Tl$ deňdigini kesgitleýäris.

Indi bolsa, (5.17) deňlikden aňlatma boýunça demir üçin 487,5-digini hasaplap bileris.

76-njy mesele. 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 ululykly tok güýji geçýär. Bu simleriň uzynlyk birliklerine düşýän induktiwliligini kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i : Meseläniň şertindäki geçiriji simler ýazgynyň tekizligine perpendikulýar ýerleşen diýip kabul edeliň. Çep tarapdaky geçiriji simiň merkezinden başlap, sag tarapa x okuny geçireliň. $0<x<a$ çäkde (geçirijiniň içinde) magnit meýdanynyň güýjenmesi:

$$H_1 = \frac{I}{2\pi a^2}x,$$

bu ýerde $I-$geçirijidäki tok güýji; $a-$geçirijiniň radiusy; x – koordinatanyň başlangyjyndan magnit meýdanynyň güýjenmesiniň gözlenýän nokadyna çenli aralyk. Bu ýerdäki magnit meýdanynyň induksiýasy:

$$B_1 = \mu_0 \frac{I}{2\pi a^2}x. \tag{1}$$

Magnit meýdanynyň birhilli däldigi üçin magnit akymyny kesgitläp bileris:

$$dN = BdS, \tag{2}$$

bu ýerde $dS = ldx$ – kiçi meýdança; l – geçirijiniň uzynlygy; B – meýdança arkaly geçýän magnit meýdanynyň induksiýasy. Bu (l) we (2) deňliklerden:

$$dN_1 = \mu_0 \frac{Il}{2\pi a^2}xdx. \tag{3}$$

Indi S 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 $x > a$ şertde magnit meýdanynyň güýjenmesi:

$$H_2 = \frac{I}{2\pi x}.$$

Induksiýasy bolsa:

$$B_2 = \frac{\mu_0 I}{2\pi x}.$$

Diýmek, bir ugra akýan tok güýji bolan geçirijiniň meýdany üçin onuň her bir metr uzynlygyna düşýän magnit akymy aşakdaky görnüşde aňladylýar:

$$N_2 = \int_a^d B_2 dS = \mu_0 \frac{I}{2\pi} \ln\frac{d}{a}.$$

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 ugrukdyrylandyr. Diýmek, tokly geçirijileriň döredýän doly magnit akymy:

$$N_{\text{dol}} = 2N = \frac{\mu_0}{\pi}\left(\frac{1}{2} + \ln\frac{d}{a}\right)Il.$$

Bu ulgamyň induktiwliligini $L = N/I$ deňlik bilen kesgitläp, iki simli geçirijiniň uzynly birligindäki indukliwliligini taparys:

$$L = \frac{L'}{l} = \frac{N}{Il} = \frac{\mu_0}{\pi}\left(\frac{1}{2} + \ln\frac{d}{a}\right) = 1,76 \cdot 10^{-6}\,\frac{Gn}{m}.$$

77-nji mesele. 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 meýdanynyň güýjenmesini kesgitlemek üçin onuň döredýän magnit meýdanynyň güýjenmesiniň güýç çyzyklarynyň bir halka boýunça $\oint \vec{H}d\vec{l}$ aýlanmasyny hasaplalyň.

Toroidiň magnit meýdanynyň güýç çyzyklary töwerek bolup, ol ähli nokatlarda özara deňdir. Şonuň üçin güýjenmäni integralyň daşyna çykaryp bolar:

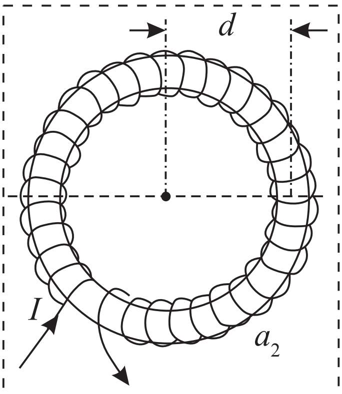
$$\oint H\,dl = H\int_0^{2\pi r} dl = 2\pi r H.$$

Ikinji tarapdan $\oint Hdl = \sum I_k$. Bu iki deňlikden, $2\pi rH = KI$, onda $H = KI/(2\pi r)$ deňligi alarys. Toroidiň orta radiusynyň $r = (r_1 + r_2)/2 = (d_1 + d_2)/4$ deňdigini göz öňünde tutup:

$$H = \frac{2KI}{\pi(d_1 + d_2)}.$$

Magnit meýdanynyň induksiýasyny aşakdaky görnüşde aňladyp bolar:

$$B = \mu_0 H = \mu_0 \frac{2KI}{\pi(d_1 + d_2)}.$$



5. 15-nji surat. Tokly içi ýürekçesiz toroid

78-nji mesele. Içinde ýürekçesi bolmadyk toroid şekilli tegegiň sarymlarynyň sany K= 1000 bolup, ondan I =5 A tok güýji geçýär (*5.15-nji surat*). Tegegiň orta diametri d=40 *sm*, sarymlarynyň radiusy bolsa, r =5 *sm*-e deň. Toroidiň merkezinden a_1=5 *sm*, a_2=20 *sm* we a_3 = 23 *sm* uzaklykdaky ýerleşen nokatlaryň magnit meýdanynyň induksiýasyny kesgitlemeli.

Çözülişi: Meseläni çözmek üçin doly toguň kanunyndan peýdalanalyň. Bu halda $\vec{B}$ wektoryň aýlanma halkasy hökmünde merkezi toroidiň merkezi bilen gabat gelýän, radiuslary bolsa, toroidiň merkezinden magnit meýdanynyň induksiýasyny kesgitlemeli. Biz meseläniň şertindäki a_1, a_2 we a_3 nokatlaryň induksiýalaryny degişlilikde B_1, B_2 we B_s bilen belgiläliň. Doly toguň kanunyna laýyklykda:

$$B_1 = 0. \tag{1}$$

Sebäbi toroidiň merkezinden a_x radiusly halka hiç hili togy gurşap almaýar.

Induksiýasy kesgitlenilmeli ikinji B_2 nokat toroidiň orta radiusyna ($2a_2$= d) deň bolan töweregiň üstünde ýerleşendir. Bu halda $\vec{B}$ wektoryň aýlanýan halkasynyň içine sarymlarynyň sany K bolan we üstünden I tok güýji geçýän geçirijiniň bölegi girýär. Diýmek, doly toguň kanunyny bu hal üçin aşakdaky görnüşde ýazyp bolar:

$$\oint B_l dl = \mu_0 K \cdot l.$$

Bu ýerden:

$$B_2 = \frac{\mu_0}{2\pi r} K \cdot l = \frac{\mu_0}{\pi d} K \cdot l. \tag{2}$$

Meseläniň şertine laýyklykda induksiýasy kesgitlenilmeli üçünji $a_3 > a_2 B_3$ nokat toroidiň içinde ýerleşendir. (2) aňlatmadaky ýaly:

$$B_3 = \frac{\mu_0}{2\pi a_3} K \cdot l. \tag{3}$$

Ýokarda getirilen (2) we (3) deňlikler boýunça taparys:

$$B_2 = 5{,}04 \cdot 10^{-3} Tl \quad \text{we} \quad B_3 = 4{,}4 \cdot 10^{-3} Tl.$$

79-njy mesele. Uzynlygy $l = 50$ *sm*, kese kesiginiň meýdany $S=2$ *sm*^{2} bolan magnitlenýän materialdan ýasalan sterženiň uzynlygynyň her bir santimetrine 20 sarym düşer ýaly bir-birine jebis degrilip, 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 şertindäki sargy geçiriji solenoid bolany üçin onuň döredýän magnit meýdanynyň energiýasy:

$$W = \frac{1}{2} L I^2, \tag{1}$$

bu ýerde L – solenoidiň induktiwliligi; I – onuň içindäki tok güýji.

Solenoidiň induktiwliligini onuň içinde ýürekçesi ýok halaty üçin (5.20) deňlige laýyklykda aňladyp bolar:

$$L = \mu_0 n^2 V, \tag{2}$$

bu ýerde $n = K / l$ – solenoidiň uzynlyk birligine düşýän sarym sany; $V = Sl$ – solenoidiň tutýan göwrümi. Bu deňligi ulanyp alarys:

$$W = \frac{1}{2} \mu_0 n^2 V I^2 = \frac{1}{2} \mu_0 n^2 I^2 S l \tag{3}$$

we hasaplamadan soňra $W=126$ *J* bolýandygyna göz ýetireris.

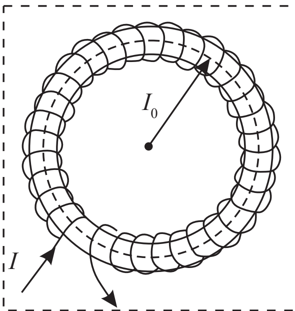
Talyplaryň özbaşdak taýýarlyklaryny barlamak üçin soraglar we ýumuşlar

1. Maddalaryň magnitlenme wektory diýip nämä düşünilýär?
2. Magnitlenme wektorynyň ugruny görkeziň.
3. $\vec{B}, \vec{H}$ we $\vec{J}$ wektorlaryň arabaglanyşygyny tapyň.
4. Maddalaryň magnit kabul edijilik we magnit syzyjylyk koeffisiýentlerini düşündiriň.
5. Doly toguň kanunyny getirip çykaryň.
6. Magnit meýdanynyň energiýasy.

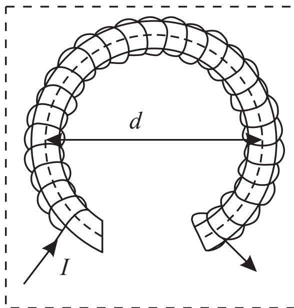
Özbaşdak çözmek üçin meseleler

5.2-nji gönükme

5.23. Sarymlarynyň sany K = 500 bolan inçe solenoidi tegelek demir ýürekçäniň daşyna saralyp (toroid şekilli), geçiriji halka döredilen (*5.16-njy surat*). 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 magnit meýdanynyň induksiýalaryny, demir ýürekçäniň magnit syzyjylygyny we magnitlenmesini kesgitlemeli.



5.16-njy surat. Demir ýürekçäniň daşyna saralan toroid



5.17-nji surat. Nal şekilli ýürekçäniň daşyna saralan toroid

5.24. Uzynlygy l_0 = 3 *mm* bolan howa ýarçygyny özünde saklaýan, polat ýürekçeli, her bir metr uzynlykda n = 1000 sarymly, diametri d = 30 *sm* toroidiň sarymyndan (*5.17-nji surat*) nähili ululykda I tok güýji geçende ýarçykda magnit meýdanynyň induksiýasy B_0 = 1 *Tl* bolar?

5.25. Bir ýürekçä induktiw koeffisiýentleri degişlilikde L_1 we L_2 bolan iki sany tegek saralan. Olaryň özara induktiwlilik koeffisiýentlerini kesgitlemeli. Ýarçykda magnit meýdanynyň dargamagy hasaba alynmaýar.

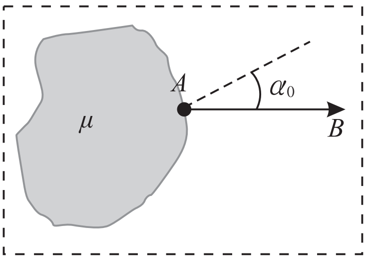
5.26. Mis simden taýýarlanan solenoidiň sarymlarynyň kese kesigi S, uzynlygy l, garşylygy bolsa R, onuň induktiwliligini kesgitlemeli.

5.27. Şol bir ýürekçä iki sany uzyn tegek saralan. Tegekleriň induktiwlilikleri degişlilikde L_1 = 1,6 *Gn* we L_2 = 0,1 *Gn*. Birinji tegegiň sarymlarynyň sany ikinji tegegiň sarymlarynyň sanyndan näçe esse köp?

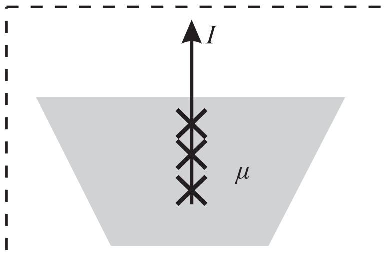
5.28. Üstünden $I = 5\ A$ tok güýji geçýän $K = 200$ sarymly ýürekçesiz toroidiň okundaky magnit meýdanynyň induksiýasyny we güýjenmesini hasaplamaly. Toroidiň daşky diametri $d_1 = 30\ sm$, içki diametri bolsa $d_2 = 20\ sm$.

5.29. Uzynlyk birligindäki saryma düşýän tok güýji nI amper--sarym bolan solenoid $\mu > 1$ magnit syzyjylykly birhilli magnit maddasy bilen doldurylan. Magnit meýdanynyň induksiyasyny kesgitlemeli.

5.30. 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.



5.18-nji surat.
Magnit häsiýetli madda wakuumda



5.19-njy surat.
Magnit maddasyna perpendikulýar batyrylan tokly geçiriji

5.31. Bölek magnit maddanyň wakuum bilen serhedindäki A nokatda döredýän magnit meýdanynyň induksiýasynyň wektory $\vec{B}_0$. Bu wektor A nokada geçirilen perpendikulýar bilen burçy emele getirýär (*5.18-nji surat*). Maddanyň magnit syzyjylygy μ-e deň. A nokatda magnit maddadaky B induksiýasyny kesgitlemeli.

5.32. Üstünden I tok güýji geçýän inçe geçirijiniň bölegi magnit maddanyň wakuum bilen araçägine perpendikulýar ýerleşdirilen (*5.19-njy çyzgy*). Maddanyň magnit syzyjylygy μ-e deň. Şu bölünme araçäkde magnitlendiriji tok güýjüniň I' çyzykly dykyzlygynyň geçirijä çenli r aralyga baglylygyny kesgitlemeli.

5.33. Magnit syzyjylygy μ bolan maddanyň wakuum bilen araçäkleşýän üstüne I tokly inçe, uzyn geçiriji perpendikulýar çümdürilen. Geçirijiniň töweregindäki wakuumdaky magnit meýdanynyň B induksiýasyny geçirijä çenli r aralygyň funksiýasy hökmünde tapmaly. Bu ýerde $\vec{B}_0$ wektoryň çyzyklarynyň merkezi geçirijiniň oky bilen gabat gelýär diýip kesgitlemeli.

5.34. Induktiwliligi L = 0,2 *Gn* bolan solenoidden I = 10 *A* tok güýji geçýär. Solenoidiň magnit meýdanynyň energiýasyny kesgitlemeli.

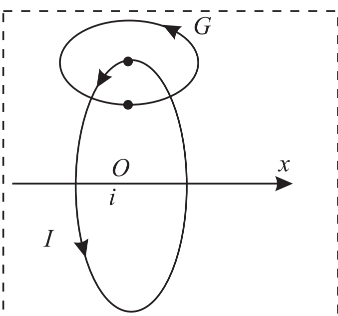
5.35. Solenoid K = 1000 sarym bir gat edilip saralan. Eger sarymdan geçýän tok güýji I = 1 *A* deň bolanda solenoidden geçýän magnit akymy N = 0,01 *Wb*. Magnit meýdanynyň W energiýasyny kesgitlemeli.

5.36. 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 energiýasyny kesgitlemeli.

5.37. Induksiýasy B = 1 *Tl* bolan demriň içinde döreýän magnit meýdanynyň energiýasynyň dykyzlygy ω = 200 J/m^3. Demriň μ magnit syzyjylygyny kesgitlemeli.

5.38. Içi ýürekçesiz solenoidiň üstünden geçýän tok güýjüniň käbir bahasynda onuň döredýän magnit meýdanynyň energiýasynyň dykyzlygy ω = 200 J/m^3. Eger solenoidden geçýän tok güýjüni üýtgetmän onuň içine demir ýürekçe girizilse magnit meýdanynyň energiýasynyň dykyzlygy näçe esse üýtgär?

5.39. Solenoiddäki demir ýürekçäni magnitlendiriji meýdanyň güýjenmesi H = 1,6 *kA m*. Demir ýürekçedäki magnit meýdanynyň energiýasynyň dykyzlygyny kesgitlemeli.



5.20-nji surat. Özara perpendikulýar tekizliklerde ýerleşen tokly geçiriji

5.40*. 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.

5.41*. Üstünden tok geçýän tegelek sarymyň simini gurşap alýan G halka boýunça $\vec{B}$ wektoryň aýlanmasyny tapmaly (*5.20-nji surat*). Eger x oky aýlaw togunyň 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 Lorensiň kanuny bilen kesgitlenilýär:**

$$\vec{F} = q[\vec{\upsilon}\vec{B}], \tag{5.23}$$

bu ýerde q – bölejigiň zarýady, $\vec{\upsilon}$ – onuň tizligi.

• **Elektrik we magnit meýdanlarynda hereket edýän zarýadlanan bölejige täsir edýän güýç:**

$$\vec{F} = q\vec{E} + q[\vec{\upsilon}\vec{B}], \tag{5.24}$$

bu ýerde $\vec{E}$ – elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň wektory. Bu deňlik skalýar görnüşinde:

$$F = qE + q\upsilon B\sin\alpha, \tag{5.25}$$

bu ýerde α – zarýadlanan bölejigiň hereket edýän ugry bilen magnit meýdanynyň induksiýasynyň wektorynyň emele getirýän burçy.

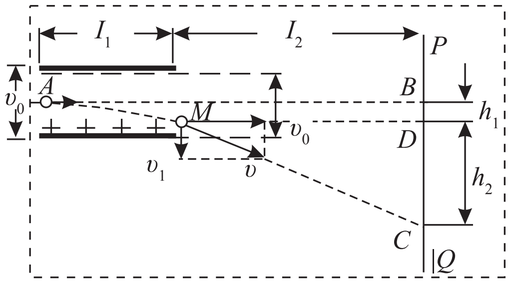
Meseleleriň çözülişine mysallar

80-nji mesele. Elektron başlangyç tizliksiz potensiallaryň tapawudy $U_0 = 10^4$ *V* bolan elektrik meýdanynda tizlendirilip, kondensatoryň içine göni çyzyk boýunça uçup girýär (*5.21-nji surat*). Kondensatoryň uzynlygy l_1= 20 *sm*, onuň plastinalarynyň arasy d=2 *sm* we napryaženiýesi U_1 = 100 *V*. Kondensatordan l_1 = 1 *m* uzaklykdaky *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 hemişelik tizlik bilen hereket edýär. Ikinjisi bolsa, elektron kondensatoryň elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň täsiri astynda wertikal ugra položitel plastina tarap deňtizleňýän hereket edýär (*5.21-nji surat*).

$$BC = h_1 + h_2, \tag{1}$$

bu ýerde h_1 – elektronyň kondensatoryň içindäki gyşarma aralygy; h_2 – elektronyň kondensatordan çykandan soňra tizlenmeli hereket edip, ekrandaky D nokatdan C nokada çenli süýşen aralygy.



5.21-nji surat. Elektronyň elektrik meýdanyndaky hereketi

Deňtizleňýän hereketiň aňlatmasyndan peýdalanyp taparys:

$$h_1 = \frac{at^2}{2}, \tag{2}$$

bu ýerde a we t – degişlilikde kondensatoryň içinde elektronyň hereket tizlenmesi we hereketiň bolup geçýän wagty.

Nýutonyň ikinji kanunyndan elektronyň tizlenmesini ýazyp bolar:

$$a = \frac{F}{m}, \tag{3}$$

bu ýerde $F = eE$ – elektrik meýdany tarapyndan elektrona täsir edýän güýç; m – elektronyň massasy. Bu güýji aşakdaky görnüşde hem aňladyp bolar:

$$F = eE = e\frac{U_1}{d}, \tag{4}$$

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 $l_1 = v_0 t$ deňlikden tapyp bolar:

$$t = \frac{l_1}{\upsilon_0}. \qquad (5)$$

Energiýanyň saklanmak kanuny boýunça:

$$\frac{m\upsilon_0^2}{2} = eU_0.$$

Bu ýerden:

$$\upsilon_0^2 = \frac{2eU_0}{m}. \qquad (6)$$

Indi (3), (6) deňlikleri hasaba alyp taparys:

$$h_1 = \frac{U_1 l_1^2}{4dU_0}. \qquad (7)$$

Kesimiň h_2 uzynlygyny MDC we $M\upsilon_0\upsilon$ üçburçluklaryň meňzeşliginden alarys:

$$h_2 = \frac{\upsilon_1 l_2}{\upsilon_0}, \qquad (8)$$

bu ýerde υ_1 – elektronyň M nokatdaky wertikal ugur boýunça tizligi; l_2 – kondensatordan ekrana çenli aralyk. Bu aňlatmadaky tizligi aşakdaky deňlikden $\upsilon_1 = at$ ýazyp bolar. Indi (3), (5) aňlatmalardan:

$$\upsilon_1 = \frac{eU_1 l_1}{m\upsilon_0 d}. \qquad (9)$$

Bu deňligi (8) aňlatmada ornuna goýup:

$$h_2 = \frac{eU_1 l_1 l_2}{m\upsilon_0^2 d}$$

ýa-da (6) deňlikdäki υ_0^2-yň bahasyny çalşyryp taparys:

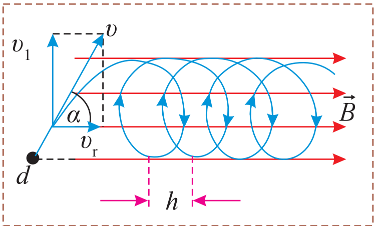
$$h_2 = \frac{U_1 l_1 l_2}{2dU_0}.$$

Indi gözlenýän BC aralyk üçin gutarnykly deňligi alarys:

$$BC = \frac{U_1 l_1}{2dU_0}\left(\frac{l_1}{2} + l_2\right). \qquad (10)$$

Soňky deňlik boýunça geçirilen hasaplamalardan $BC = 3{,}5$ *sm*.

81-nji mesele. Elektron $\upsilon = 2 \cdot 10^6$ *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*-e deň bolsa, onda elektronyň hereketiniň traýektoriýasynyň r egrilik radiusyny we onuň ýazan nurbatynyň h ädimini kesgitlemeli.



5.22-nji surat. Zarýadly bölejigiň magnit meýdanyndaky hereketi

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 nurbat boýunça hereket edýändigi nazaryýetden bellidir. Bölejigiň υ tizligi magnit meýdanynyň induksiýasynyň güýç çyzyklaryna $\upsilon_\perp$ perpendikulýar we υ_τ tangensial ($\vec{B}$ wektora parallel) ugrukdyrylan düzüjilere dargadyp, elektronyň nurbat boýunça hereket etmeginiň sebäbine düşünip bolar (*5.22-nji surat*).

Elektron özüniň tizliginiň 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 $F_L = F_{m.y.}$.

$$F_{m.y.} - \frac{m\upsilon_\perp^2}{R} = \frac{m\upsilon^2\sin^2\alpha}{R}$$

ýa-da

$$\frac{m\upsilon^2\sin^2\alpha}{R} = e\upsilon B\sin\alpha,$$

bu ýerde R – halkalaryň radiusy; e we m – degişlilikde elektronyň zarýady we massasy; $\vec{B}$ – magnit meýdanynyň induksiýasy; α – elektronyň tizligi bilen magnit meýdanynyň induksiýasynyň güýç çyzyklarynyň arasyndaky burç. Elektronyň magnit meýdanyndaky nurbatlaýyn hereketiniň ädimi elektronyň tizliginiň υ_τ tangensial düzüjisiniň onuň bir aýlaw etmäge harç eden T wagtyna köpeldilmegine deňdir:

$$h = \upsilon_{AB}T = \upsilon\cos\alpha \cdot T,$$

bu ýerde T – elektronyň bir aýlawynyň gaýtalanma wagty (periody). Ony $T = 2\pi r/\upsilon_\perp$ görnüşde tapyp bolar:

$$T = \frac{2\pi R}{\upsilon\sin\alpha}.$$

T-niň bahasyndan peýdalanyp, $h = 2\pi R \text{ctg}\alpha$ deňligi alarys. Meseläniň şertinde berlen ululyklardan peýdalanyp, ýokardaky deňlik boýunça taparys:

$$h = 2,06 \cdot 10^{-3} \ m.$$

82-nji mesele. Zarýad hemişelik tizlik bilen birhilli magnit meýdanyna onuň induksiýasynyň güýç çyzyklaryna perpendikulýar ugur boýunça uçup girýär (*5.23-nji surat*). Magnit induksiýasy $B = 1 Tl$, $t = 0{,}0001 \ s$ wagtyň dowamynda magnit meýdanyna parallel, güýjenmesi E=100 V/m bolan elektrik meýdany täsir edýär. Zarýadyň nurbat boýunça hereketiniň hemişelik ädimini kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i : Magnit meýdanynda hereket edýän zarýada Lorensiň güýji täsir edýär:

$$F_L = q\upsilon B \sin\alpha,$$

bu ýerde q – bölejigiň zarýady; υ – onuň tizligi; B – magnit meýdanynyň induksiýasy. Eger magnit meýdany birhilli, $\vec{\upsilon}$ we $\vec{B}$ wektorlar hem özara perpendikulýar bolsalar, onda $\vec{F}_L = q\vec{\upsilon}\vec{B} =$ *hemişelik* bolar we zarýadlanan bölejik R radiusly töwerek boýunça hereket eder. Bu halda Lorensiň güýji merkeze ymtylýan güýje deň bolar:

$$q\upsilon B = \frac{m\upsilon^2}{R}, \qquad (1)$$

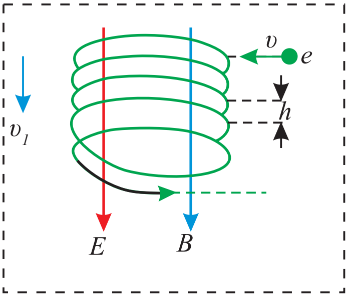
bu ýerde m – bölejigiň massasy. Seredilýän hal üçin (1) deňlikden:

$$R = \frac{m\upsilon}{qB}. \qquad (2)$$

Bu bolsa zarýadyň aýlanma periodyny tapmaklyga mümkinçilik berýär:

$$T = \frac{2\pi R}{\upsilon} \text{ ýa-da } T = \frac{2\pi m}{qB}. \qquad (3)$$

Zarýadlanan bölejige gysga wagtlaýyn elektrik meýdanynyň ($\vec{F}_{el} = q\vec{E},$ bu ýerde $\vec{E}$ – elektrik meýdanynyň güýjenmesi) täsiri magnit meýdanynyň ugruna tizligiň $\upsilon = 0$-dan υ_1-e çenli artmagyna getirer (*5.23-nji surat*). Güýjüň $F_{el.}t = m\upsilon_1$ impulsyndan υ_1-i alarys:



5.23-nji surat. Perpendikulýar ugrukdyrylan magnit we elektrik meýdanlarynda zarýadlanan bölejigiň hereketi

$$\upsilon_1 = \frac{F_{el}t}{m}. \tag{4}$$

Zarýadlanan bölejik magnit meýdanynda tä elektrik meýdany täsir edýänçä υ tizlik bilen töwerek boýunça hereket eder. Elektrik meýdanynyň täsiri netijesinde υ tizlige perpendikulýar bolan υ_1 tizligiň döremegi, zarýadlanan bölejigiň nurbat boýunça hereket etmegine sebäp bolar. Hereket durnuklaşandan soň nurbatyň h ädimi üýtgemez. Zarýadlanan bölejigiň υ_1 tizlik bilen bir aýlaw wagtyndaky h süýşmesini (ädimini) $h = \upsilon_1 T$ görnüşde ýazyp bolar ýa-da (3) we (4) deňliklerden peýdalanyp taparys:

$$h = \frac{2\pi E}{B}t = 6,28 \cdot 10^{-2} m.$$

83-nji mesele. Elektron potensiallarynyň tapawudynyň ululygy $\Delta\varphi = 10^4 V$ bolan elektrik meýdanynda tizlendirilip, B = 0,5 Tl 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 $\vec{B}$ induksiýasynyň güýç çyzyklaryna perpendikulýar ugur boýunça zarýadlanan bölejik $\vec{\upsilon}$ tizlik bilen hereket etse, onda ol töwerek boýunça aýlanar. Bu töweregiň r radiusyny aşakdaky deňlik bilen aňladyp bolar:

$$r = \frac{m}{e}\frac{\upsilon}{B},$$

bu ýerde m we e – degişlilikde elektronyň massasy we zarýady; $\vec{\upsilon}$ – tizligi; B – magnit meýdanynyň induksiýasy.

Töwerek boýunça hereket edýän elektronyň impulsynyň momenti:

$$m\upsilon r = m\upsilon\frac{m}{e}\frac{\upsilon}{B} = \frac{2m}{eB}\frac{m\upsilon^2}{2}.$$

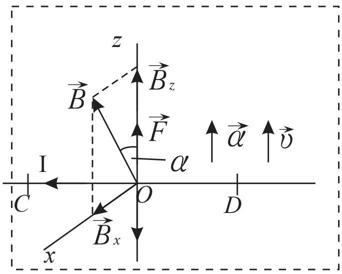
Elektronyň elektrik meýdanynda eýe bolan $m\upsilon^2/2$ kinetik energiýasy meýdanyň ýerine ýetirýän $e\Delta\varphi$ işine san taýdan deňdir:

$$\frac{m\upsilon^2}{2} = \Delta\varphi \cdot e.$$

Bu deňligi ulanyp taparys:

$$m\upsilon r = \frac{2m\Delta\varphi}{B} = 3,64 \cdot 10^{-26}\frac{kgm^2}{s}.$$

84*-nji mesele. Wertikal ugur bilen 30° 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 υ tizlige eýe bolýar. Eger geçirijiniň uzynlygy l=6,55 *m* bolsa, onda onuň υ tizligini kesgitlemeli.



5.24-nji surat. Magnit meýdanynda hereket edýän geçiriji

Ç ö z ü l i ş i : Magnit meýdanynda hereket edýän geçirijä *mg* agyrlyk güýji we amperiň $\vec{F}$ güýji täsir eder (*5.24-nji surat*). Amperiň güýji $F = IB_x l$-e deňdir. Bu ýerde $B_x = B\sin\alpha$ $\vec{B}$ 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 görnüşde ýazylar:

$$ma = F - mg$$

ýa-da (1) deňligi hasaba alyp:

$$ma = IBl\sin\alpha - mg. \qquad (2)$$

Indi $a = \upsilon/t$ deňlikden tizlenmäniň bahasyny (2) deňlikde ornuna goýup alarys:

$$m\frac{\upsilon}{t} = IBl\sin\alpha - mg,$$

bu ýerden:

$$\upsilon = \frac{IBl\sin\alpha - mg}{m}t. \qquad (3)$$

Meseläniň şertindäki berlen ululyklardan peýdalanyp hasaplarys:

$$\upsilon = 10\frac{m}{s}.$$

85*-nji mesele. 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 l i ş i : Zarýadlanan bölejik υ tizlik bilen birhilli magnit meýdanyna onuň induksiýasynyň güýç çyzyklaryna α burç bilen uçup girende, ol nurbatlaýyn traýektoriýa boýunça hereket eder. Bu halda zarýadlanan bölejigiň nurbatlaýyn traýektoriýasynyň oky magnit meýdanynyň $\vec{B}$ induksiýasynyň wektorynyň ugry bilen gabat geler. Nurbatyň ädimi:

$$h = \upsilon T \cos\alpha,$$

bu ýerde $T = \dfrac{2\pi m\upsilon}{qB}$ – magnit meýdanynda zarýadlanan bölejigiň aýlanma periody.

Eger $\alpha << 1$ bolsa, ädimiň ululygy burça baglylygyny ýitirýär:

$$h = \frac{2\pi m\upsilon}{qB}. \qquad (1)$$

Gowşak dargaýan (parallele golaý) dessede zarýadlanan bölejikler deň ädimli nurbat boýunça hereket edýärler. Diýmek, olar A nokada çenli aralygy h ädimiň bitin sanyna deň bolan nokatlarda fokusirlenýärler.

Ýokardaky (1) aňlatmadan peýdalanyp, ony aşakdaky görnüşde alarys:

$$\frac{l}{(2\pi m\upsilon/(qB_1))} = n, \quad \frac{l}{(2\pi m\upsilon/(qB_2))} = n + 1, \qquad (2)$$

bu ýerde n =1,2,3,….

Indi tizlendirilýän zarýadlanan bölejikleriň energiýalarynyň $m\upsilon^2/2 = qU$ saklanmak kanunyndan peýdalanyp, υ tizligi aşakdaky görnüşde alarys:

$$\upsilon = \sqrt{\frac{2qU}{m}}.$$

Bu aňlatmany (2) deňlemeler ulgamyndan taparys:

$$\frac{qB_2 l}{2\pi m\upsilon} - \frac{qB_1 l}{2\pi m\upsilon} = 1, \quad \frac{(B_2 - B_1)}{2\pi m\upsilon} ql = 1.$$

Bu aňlatmalary kwadrata göterip alarys:

$$\frac{(B_2 - B_1)^2}{4\pi^2 m^2 \upsilon^2} q^2 l^2 = 1, \quad \frac{(B_2 - B_1)^2 q l^2}{4\pi^2 m 2U} = 1.$$

Bu ýerden bolsa gutarnykly taparys:

$$U = \frac{(B_2 - B_1)^2 l^2}{8\pi^2} \frac{q}{m}.$$

86*-njy mesele. Induksiýasy B bolan birhilli magnit meýdanynda r radiusly metal şarjagaz $\vec{\upsilon} = hemişelik$ tizlik bilen hereket edýär. Şarjagazda potensiallaryň tapawudy iň uly baha eýe bolan nokatlaryny görkezmeli we bu potensiallaryň tapawudyny kesgitlemeli. Tizligiň ugry magnit induksiýasynyň ugry bilen burçy emele getirýär diýip hasaplamaly.

Ç ö z ü l 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 tamamlanar.

Elektrik we magnit meýdanlarynda hereket edýän zarýadlara:

$$\vec{F}_{el} + \vec{F}_{mag} = 0 \quad \text{ýa-da} \quad \vec{E}q + q[\vec{\upsilon}\vec{B}] = 0$$

güýçler täsir edýär. Bu ýerden:

$$\vec{E} = - [\vec{\upsilon}\vec{B}] = [\vec{B}\vec{\upsilon}].$$

Şarjagazyň içinde:

$$|\vec{E}| = |\vec{B}||\vec{\upsilon}|\sin\alpha$$

ululykly birhilli elektrik meýdany döreýär. Potensiallaryň tapawudynyň iň uly bahasy şarjagazyň diametriniň wektora parallel bolan nokatlarynyň arasynda döreýär. Onuň bahasy:

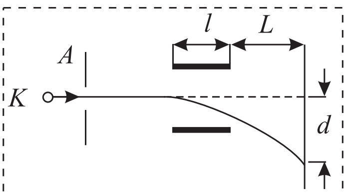
$$\Delta\varphi_{iH\text{uly}} = |\vec{E}|d = |\vec{E}|2r = 2r|\vec{B}||\vec{\upsilon}|\sin\alpha.$$

Talyplaryň özbaşdak taýýarlyklaryny barlamak üçin sorag we ýumuşlar

1. Elektrik meýdanyny nähili haldaky zarýadlara täsir edýändigini we onuň ugruny düşündirmeli.
2. Magnit meýdanyny nähili haldaky zarýadlara täsir edýändigini we onuň ugruny düşündirmeli.
3. Hemişelik elektrik we magnit meýdanlarynda hereketdäki položitel we otrisatel zarýadlary özlerini hähili alyp bararlar?
4. Amperiň we Lorensiň güýçleriniň täsir ugurlaryny kesgitlemeli.
5. Magnetron usulynyň manysyny düşündirmeli.

Özbaşdak çözmek üçin meseleler

5.3-nji gönükme



5.25-nji surat. Elektrik meýdanyndaky elektronyň hereketi

5.42. Örän kiçi tizlikli elektronlar, gyzdyrylan K katoddan çykyp, A ýarçykly perdeden inçe desse görnüşde potensiallaryň tapawudy U bolan elektrik meýdanynda bellibir tizlige eýe bolýarlar. Soňra olar l uzynlykly kondensatoryň plastinalarynyň arasyndan geçip, ondan L uzaklykda ýerleşdirilen ekrana düşerler (*5.25-nji surat*). Kondensatorda elektrik meýdany döredilse ekrandaky menejik d aralyga süýşýär. Kondensatordaky elektrik meýdanynyň güýjenmesini kesgitlemeli.

5.43. Elektronlar $\upsilon_0 = 3 \cdot 10^6\, m/s$ tizlik bilen keseleýin ýerleşdirilen tekiz kondensatoryň plastinalarynyň arasyna parallel uçup girýärler. Kondensatoryň plastinalarynyň uzynlygy l = 5 *sm*, elektrik meýdanynyň güýjenmesi E = 200 *V/m*. Elektronlar dessesiniň kondensatordan çykýan pursadyndaky gyşarma burçuny kesgitlemeli.

5.44. Elektron $\upsilon_0 = 10^7\, m/s$ tizlik bilen keseleýin ýerleşen kondensatoryň içine, onuň plastinalaryna parallel uçup girýär. Kondensatoryň plastinalarynyň uzynlygy l = 5 *sm*, elektrik meýdanynyň güýjenmesi E = 100 *V/m*. Elektronyň kondensatordan uçup çykýan pursadyndaky tizliginiň ululygyny we ugruny kesgitlemeli. Elektron başdaky ugrundan nähili burça gyşarar?

5.45. 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?

5.46. 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 pursadyndaky energiýasyny kesgitlemeli

5.47. Elektron tekiz kondensatoryň plastinalarynyň arasyna oňa parallel $\upsilon_0 = 10^7 m/s$ tizlik bilen uçup girýär we ondan α =35° burç bilen çykyp gidýär. Eger plastinalarynyň uzynlygy l = 3 *sm* we olaryň aralygy d = *2 sm* bolsa kondensatoryň plastinalarynyň arasyndaky U potensiallaryň tapawudyny kesgitlemeli.

5.48. Elektron U = 100 *V* potensiallaryň tapawudyndan geçende nähili tizlige eýe bolar?

5.49. Elektron υ tizlik bilen birhilli $\vec{H}$ magnit meýdanynyň güýjenmesiniň ugruna perpendikulýar düşýär. Elektron nähili radiusly töweregi çyzar?

5.50. Elektron potensiallaryň tapawudy ΔU bolan elektrik meýdanynda tizlenip, birhilli magnit meýdanynyň $\vec{B}$ induksiýa çyzyklaryna perpendikulýar ugurda oňa uçup girýär we r radiusly töwerek boýunça hereket edip başlaýar. Elektronyň udel zarýadyny kesgitlemeli.

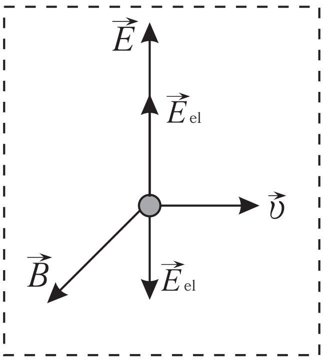
5.51. Elektron potensiallarynyň tapawudy U = 1000 *V* bolan elektrik meýdanynda tizlenip, induksiýasy B = 10^3 *Tl* bolan birhilli magnit meýdanyna perpendikulýar uçup girýär. Elektronyň hereket etjek töwereginiň radiusyny kesgitlemeli.

5.52. Kinetik energiýasy W_k bolan zarýadlanan bölejik birhilli magnit meýdanynda r radiusly töwerek boýunça hereket edýär. Bu bölejige meýdan tarapyndan täsir edýän güýji kesgitlemeli.

5.53. Elektron $\vec{B}$ 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.

5.54. Induksiýasy B bolan magnit meýdanynda töwerek boýunça hereket edýän elektronyň aýlanma ýygylygyny kesgitlemeli.

5.55. Elektron $B = 0{,}1\,Tl$ induksiýaly birhilli magnit meýdanynda töwerek boýunça hereket edýär. Elektronyň hereketi zerarly döreýän aýlaw togunyň ululygyny kesgitlemeli.



5.26-njy surat. Zarýadyň elektrik we magnit meýdanyndaky hereketi

5.56. Induksiýasy $B = 10mTl$ bolan birhilli magnit meýdany, güýjenmesi $E = 17\,kV/m$ bolan birhilli elektrik meýdanyna perpendikulýar ugrukdyrylan. Ion $U = 15\ kV$ güýçlendiriji potensiallaryň tapawudyndan geçip, bu iki meýdanyň tutýan giňişligine perpendikulýar ugurda gönüçyzykly we deňölçegli tizlik bilen hereket edýär (*5.26-njy surat*). Bu ionyň q/m udel zarýadyny kesgitlemeli.

5.57. Tizligi $\upsilon_0 = 10^7\,m/s$ bolan elektron uzynlygy $l = 5sm$ bolan kondensatoryň gorizontal ýerleşdirilen plastinalarynyň arasyna uçup girýär. Kondensatoryň elektrik meýdanynyň güýjenmesi $E = 10kV/m$-e deň, elektron kondensatordan çykyp, birhilli magnit meýdanyna υ_0 wektoryň ugruna parallel düşýär. Magnit meýdanynyň induksiýasy $B = 15\ mkTl$. Elektronyň elektrik we magnit meýdanlaryndaky gyşarmasyny kesgitlemeli.

5.58. Elektron induksiýasy $B = 3{,}14 \cdot 10^{-2}Tl$ bolan birhilli magnit meýdanynyň ugruna $\alpha = 30°$ burç bilen $\upsilon = 8 \cdot 10^8 sm/s$ tizlikli uçup girýär. Elektronyň nurbat görnüşdäki hereketiniň ädimini we radiusyny kesgitlemeli.

5.4. ELEKTROMAGNIT INDUKSIÝA HADYSASY

Esasy kesgitlemeler we aňlatmalar

Elektromagnit induksiýasynyň esasy kanuny (Faradeýiň kanuny): geçiriji halkada döreýän induksiýanyň ε EHG-si, bu halka bilen çäklenen meýdandan geçýän $d\Phi$ magnit akymynyň üýtgeýiş tizligine göni baglydyr:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt}, \tag{5.26}$$

bu ýerde $d\Phi/dt$ – magnit akymynyň üýtgeýiş tizligi. (5.26) aňlatmadaky minus alamaty Lensiň düzgünine laýyklykda induksiýa togunyň 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:

$$I_{\text{ind}} = \frac{\varepsilon}{R}. \tag{5.27}$$

Magnit akymynyň üýtgeýiş döwründe geçiriji halkadan geçýän doly q zarýadyň mukdary aşakdaky görnüşde aňladylýar:

$$q = \int_0^t I_{\text{ind}} dt = -\frac{1}{R}\int_{\Phi_0}^{\Phi} d\Phi = -\frac{\Delta\Phi}{R}. \tag{5.28}$$

Geçiriji halkadan I tok güýji geçende döreýän magnit akymy:

$$\Phi = IL. \tag{5.29}$$

Öz-özünde induksiýanyň EHG-si:

$$\varepsilon_{öz} = -\frac{d\Phi}{dt} = -L\frac{dI}{dt}. \tag{5.30}$$

Birhilli magnit meýdanynda l uzynlykly geçiriji υ tizlik bilen hereket edende, geçirijide döreýän induksiýanyň EHG-si:

$$\varepsilon = Bl\upsilon\sin\alpha, \tag{5.31}$$

bu ýerde α – geçirijiniň hereketiniň $\vec{\upsilon}$ tizliginiň ugry bilen magnit meýdanynyň $\vec{B}$ induksiýasynyň emele getirýän burçy.

Geçiriji zynjyr utgaşdyrylanda ýa-da ýazdyrylanda döreýän tok güýji:

$$I = I_0 e^{-Rt/L} + \varepsilon \frac{(1 - e^{-Rt/L})}{R}, \quad (5.32)$$

bu ýerde I_0 – zynjyrdan geçýän tok güýjüniň amplituda bahasy; e – natural logarifmanyň esasy; R – zynjyryň garşylygy; L – geçirijiniň induktiwliligi; ε – tok çeşmesiniň EHG-si; t – zynjyryň utgaşdyrylma ýa-da ýazdyrylma wagty. Elektrik zynjyry tok çeşmesine utgaşdyrylanda ($I_0 = 0$; $t = 0$) (5.32) deňligi aşakdaky görnüşe getirip bolar:

$$I = \frac{\varepsilon}{R}(1 - e^{Rt/L}). \quad (5.33)$$

Ýagny tok güýji özüniň iň uly ($I_0 = \varepsilon / R$) bahasyna eksponent boýunça artar.

Elektrik zynjyry tok çeşmesinden ýazdyrylanda ($\varepsilon = 0$; $t = 0$) (5.32) deňlik aşakdaky görnüşi alar:

$$I = I_0 e^{-Rt/L}. \quad (5.34)$$

Ýagny zynjyrdaky tok güýji özüniň başlangyç I_0 bahasyndan eksponent boýunça nola çenli azalar.

Meseleleriň çözülişine mysallar

87-nji mesele. Sarymlarynyň sany $N = 1000$ bolan ramka, $B = 1\,Tl$ induksiýaly birhilli magnit meýdanynda deňölçegli aýlanýar. Ramkanyň meýdany $S = 150\ sm^2$ bolup, ol $v = 10$ *aýl/s* ýygylyk bilen aýlanýar. Ramka $\alpha = 30°$ burça öwrülendäki EHG-niň pursatlaýyn bahasyny kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i : Induksiýanyň EHG-siniň pursatlaýyn bahasy:

$$\varepsilon = -N\frac{d\Phi}{dt}, \quad (1)$$

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 şu kanun boýunça üýtgeýär:

$$\Phi = BS\cos\omega t,$$

bu ýerde B – magnit meýdanynyň induksiýasy; S – ramkanyň meýdany; ω – ramkanyň aýlaw ýygylygy, ýagny ωt ramkanyň tekizliginiň üstüne geçirilen pependikulýar bilen $\vec{B}$ wektoryň arasyndaky burçuň pursatlaýyn bahasy. Magnit akymynyň bu bahasyny ulanyp, (l) deňlikden aşakdaky deňlemäni alyp bolar:

$$\varepsilon = KS\sin\omega t. \qquad (2)$$

Ramkanyň ω aýlaw ýygylygy bilen onuň sekuntdaky v aýlaw sany bir-biri bilen $\omega = 2\pi v$ görnüşe baglydyr. ω-niň bu bahasyny (2) deňlikde goýup alarys:

$$\varepsilon = 2\pi vKBS\sin 2\pi vt. \qquad (3)$$

(3) deňlik boýunça taparys:

$$\varepsilon = 471\ V.$$

88-nji mesele. Solenoidiň (uzyn tegegiň) sarymlary mis sim bilen bir-birine jebis, bir gat edilip saralan. Mis simiň diametri $d = 0{,}2\,mm$, solenoidiň diametri $d_s = 5\ sm$-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 galyňlygy göz öňünde tutulmaýar.

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 aňladyp:

$$dq = I\,dt \qquad (1)$$

solenoidiň sarymlaryndan geçýän I tok güýjüni (5.32) deňlige laýyklykda aşakdaky görnüşde ýazalyň:

$$I = I_0 e^{-Rt/L},$$

bu ýerde I_0 – solenoidiň uçlary özara birikdirilmänkä ondan geçýän tok güýjüniň bahasy; R – solenoidiň sarymlarynyň garşylygy; L – onuň induktiwliligi. Tok güýjüniň aňlatmasyny (l) deňlikde ornuna goýup, bu deňligi t-niň 0-dan ∞-ge çenli aralygynda integrirläp: gutarnykly q-nyň ululygyny hasaplamaga mümkinçilik berýän aňlatmany alarys:

$$q = \int_0^\infty I_0 e^{-Rt/L} dt = I_0 \int_0^\infty e^{-Rt/L} dt = I_0\left(-\frac{R}{L}\right)e^{-Rt/L}\Big|_0^\infty =$$

$$= I_0\left(-\frac{L}{R}\right)(0-1) = I_0\frac{L}{R}. \qquad (2)$$

II usul. (l) deňlikdäki I tok güýjüniň ululygyny solenoidde döreýän induksiýanyň EHG-siniň we onuň R garşylygynyň üsti bilen, $I = \varepsilon/R$ aňladyp, (1) deňligi aşakdaky görnüşde ýazyp bolar:

$$dq = \frac{\varepsilon}{R}dt.$$

Indi induksiýanyň ε EHG-siniň:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} \text{ ýa-da } \varepsilon = -L\frac{dI}{dt}$$

deňligini hasaba alyp, ýokarky aňlatmany şu görnüşde ýazyp bolar:

$$dq = -L\frac{dI}{R}.$$

Soňky aňlatmany integrirläp taparys:

$$q = -\int_0^{I_0} L\frac{dI}{R} = I_0\frac{L}{R}.$$

Bu ýerde solenoidiň induktiwliligi:

$$L = \mu_0 n^2 V = \mu_0\frac{N^2}{l_1}\frac{\pi d_1^2}{4}.$$

Onuň R garşylygy bolsa:

$$R = \rho\frac{l}{S} = \rho\frac{4Nd_1}{d^2},$$

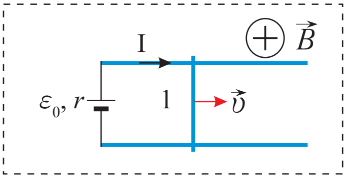
bu ýerde μ_0 – magnit hemişeligi; N – solenoidiň sarymlarynyň sany; l_1 – solenoidiň uzynlygy; S – onuň kese kesiginiň meýdany; ρ – geçirijiniň udel garşylygy; l – geçirijiniň uzynlygy; d – onuň diametri; d_1 – solenoidiň diametri. Ahyrky deňliklerden peýdalanyp, (2) deňlik boýunça alarys:

$$q = I_0\frac{\mu_0 N\pi d_1 d^2}{16\rho l_1}. \tag{3}$$

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. Muny göz öňünde tutup, (3) deňligi aşakdaky görnüşde ýazyp bolar:

$$q = \frac{\pi\mu_0}{16\rho}dd_1 I_0. \tag{4}$$

Bu deňlik boýunça edilen hasaplar hem edil (2) deňlik bilen ýerine ýetirilen hasaplamalardaky ýaly $q = 3{,}63 \cdot 10^{-6} Kl$ netijäni alarys.



5.27-nji surat. Magnit meýdanyndaky hereket etmäge ukyply tokly geçiriji

89-njy mesele. Iki sany parallel daşy goragsyz geçirijileriň biri tok çeşmesiniň položitel, ikinjisi bolsa çeşmäniň otrisatel gysgyjyna birikdirilen (*5.27-nji surat*). Tok çeşmesiniň içki garşylygy r we EHG-si ε_0. Bu parallel ýerleşdirilen geçirijileriň üstünde sürtülmesiz süýşmäge ukyply, l uzynlykly we R garşylykly geçiriji keseleýin iki geçirijä-de galtaşar ýaly edilip ýerleşdirilen. Bu geçirijileriň ýatan tekizliginiň üstüne perpendikulýar ugur boýunça $\vec{B}$ induksiýaly magnit meýdany döredilse, l uzynlykly kese ýerleşdirilen geçiriji υ tizlik bilen suratda görkezilen ugra herekete geler. Geçirijileriň garşylygyny öz-özünde induksiýany hasaba almazdan, çeşmäniň uçlaryndaky naprýaženiýäni we geçirijiden bölünip çykýan ýylylyk ýitgisiniň kuwwatyny kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i : Magnit meýdanynyň induksiýasynyň güýç çyzyklary l uzynlykly geçirijiniň üstüni kesip geçende onda induksiýanyň ε_{ind} EHG-si dörär. Bu halda l geçirijiniň hereket ugruna baglylykda ε_0 we ε_{ind} birikme uçlary bir alamatly ýa-da dürli alamatly bolup biler. Eger olaryň bir atly uçlary birikdirilse, zynjyrdaky tok güýji peseler, tersine dürli atly uçlary birikdirilse, ol artar. Seredilýän halda çep eliň düzgüninden peýdalanyp, I_{ind} induksiýa togunyň güýjüniň ugrunyň çeşmäniň I tok güýjüniň garşysyna ugrugandygyna göz ýetirmek bolar. Diýmek, seredilýän halda ε_0 we ε_{ind} bir-birine garşylykly ugrukdyrylandyr. Şunlukda l uzynlykly geçiriji magnit meýdanynyň $\vec{B}$ induksiýasynyň ugruna perpendikulýar ugur boýunça hereket edende onda döreýän induksiýanyň ε_{ind} EHG-siniň ululygy şu deňlik bilen aňladylar:

$$\varepsilon_{\text{ind}} = \upsilon B l. \tag{1}$$

Şeýlelikde, mesele geçiriji halkada ε_0 we ε_{ind} EHG-leri bolan iki sany dürli tok çeşmesi özara yzygider birikdirilen halyna syrygýar. Bu halda eger $\varepsilon_0 > \varepsilon_{\text{ind}}$ şert ýerine ýetse, zynjyrdaky netijeleýji ε EHG aşakdaky deňlik bilen aňladylar.

$$\varepsilon = \varepsilon_0 - \varepsilon_{ind}. \qquad (2)$$

Şeýle hem geçiriji halkadaky netijeleýji tok güýji şu baha eýe bolar:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}. \qquad (3)$$

Çeşmäniň zarýadsyzlanýandygyna görä, onuň gysgyçlaryndaky naprýaženiýe:

$$U = \varepsilon_0 - Ir. \qquad (4)$$

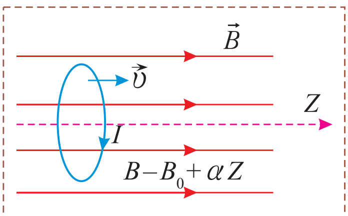
Kese atylan l uzynlykly hereket edýän geçirijiden bölünip çykýan ýylylyk ýitgisiniň kuwwaty:

$$P = I^2 R. \qquad (5)$$

Şunlukda (1), (5) deňliklerden gözlenilýän ululyklar üçin aňlatmany alarys:

$$U = \frac{\varepsilon_0 R + \upsilon B l r}{R + r}, \quad P = \frac{(\varepsilon_0 - \varepsilon_{ind})^2 R}{(R + r)^2}. \qquad (6)$$

Meselede soralýan ululyklary (6) deňlikden hasaplap bolar.



5.28-nji surat. Magnit meýdanynda hereket edýän geçiriji tegek

90*-njy mesele. Radiusy r bolan geçiriji tegek magnit meýdanynda Z okuň boýuna υ tizlik bilen hereket edýär (*5.28-nji surat*). 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:

$$I = \frac{\varepsilon}{R}. \qquad (1)$$

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:

$$\Phi = BS_0 = (B_0 + \alpha Z)S_0, \qquad (2)$$

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) deňligi aşakdaky görnüşde ýazyp bolar:

$$\Phi = [B_0 + \alpha(Z_0 + \upsilon t)]\pi r^2.$$

Magnit akymynyň Δt wagtda üýtgemesi:

$$\Delta\Phi = \alpha\upsilon\pi r^2\Delta t. \tag{3}$$

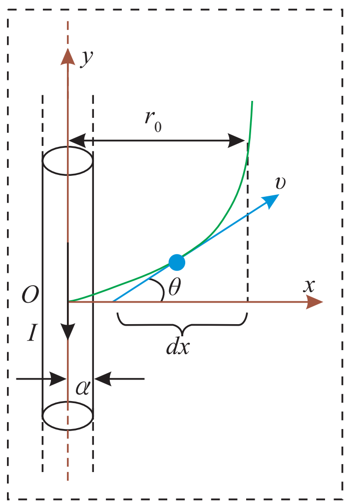
Induksiýanyň EHG-si aşakdaky aňlatma bilen kesgitlenýär:

$$|\varepsilon_{\text{ind}}| = \left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right| = \alpha\upsilon\pi r^2.$$

Bu halda meseläniň şertinde soralýan tegekden akjak toguň ululygy:

$$I = \frac{\varepsilon_{\iota\nu\delta}}{R} = \frac{\varepsilon_{\text{ind}}}{\rho l}S = \frac{\alpha\upsilon\pi r^2 S}{2\pi r\rho} = \frac{\alpha\upsilon r S}{2\rho}.$$

91*-nji mesele. 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 aralygy r_0-a deň bolsa, elektronyň υ_0 tizligini hasaplamaly.



5.29-njy surat.
Tokly tükeniksiz uzyn göni geçirijiniň magnit meýdanyndaky elektronyň hereketi

Çözülişi: Koordinata oklaryny 5.29-njy suratda görkezilişi ýaly ugrukdyralyň.

Tükeniksiz uzyn göni tokly geçirijiniň döredýän magnit meýdanynyň induksiýasy meseläniň şertine görä:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi x}. \tag{1}$$

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:

$$R = \frac{m\upsilon_0}{eB} = \frac{2\pi m\upsilon_0}{e\mu_0 I}x. \qquad (2)$$

Suratdan görnüşi ýaly Ox ok bilen elektronyň traýektoriýasyna geçirilen galtaşmanyň arasyndaky θ burçundan peýdalanyp alarys:

$$dx = R\cos\theta d\theta \ \text{ ýa-da } \ \cos\theta d\theta = \frac{dx}{R}.$$

Abssissa (x) koordinatasy a-dan r_0-e çenli üýtgände, θ burç noldan $\pi/2$-ä çenli üýtgeýär. Şonuň üçin:

$$\int_0^{\pi/2} \cos\theta d\theta = \int_a^{r_0} \frac{dx}{R}.$$

Bu aňlatmany (2) deňligi hasaba alyp ýazyp bolar:

$$\int_a^{r_0} \frac{dx}{2\pi m\upsilon_0 x}\mu_0 eI = \int_0^{\pi/2} \cos\theta d\theta \ \text{ ýa-da } \ \frac{\mu_0 eI}{2\pi m\upsilon_0}\int_a^{r_0} \frac{dx}{x} = 1.$$

Bu ýerden:

$$\ln\left(\frac{r_0}{a}\right) = \frac{2\pi m\upsilon_0}{e\mu_0 I},$$

$$\upsilon_0 = \frac{\ln(r_0/a)}{2\pi m}e\mu_0 I = \frac{e}{m}\frac{\mu_0 I}{2\pi}\ln\left(\frac{r_0}{a}\right).$$

Talyplaryň özbaşdak taýýarlyklaryny barlamak üçin ýumuşlar

1. Elektromagnit induksiýa hadysasyny we Faradeýiň tejribelerini düşündirmeli.
2. Lensiň düzgüniniň kesgitlemesini düşündirmeli we ony tejribede görkezmeli.

3. Öz-özünde induksiýa we elektromagnit hadysalarynyň arasyndaky tapawudyny anyklamaly.
4. Öz-özünde induksiýa hadysasynyň ýüze çykarylýan tejribelerini düşündirmeli.
5. Elektrik zynjyry tok çeşmesine utgaşdyrylanda we ýazdyrylanda döreýän pursatlaýyn tok güýçleriniň aňlatmalaryny we grafiklerini düşündirmeli.

Özbaşdak çözmek üçin meseleler

5.4-nji gönükme

5.59. Induktiwlilik koeffisiýenti L = 100 mGn bolan tegekde öz-özünde induksiýanyň ε = 80 V EHG-si döreýän bolsa, tegekdäki tok güýjüniň üýtgeýiş tizligini hasaplamaly.

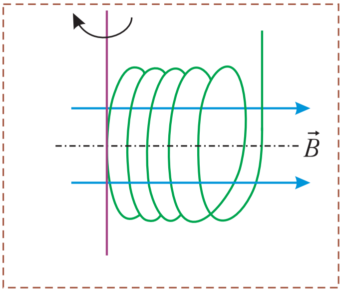
5.60. Biri-birinden l = 0,3 m aralykda, özara parallel ýerleşdirilen daşy dielektriksiz metal geçirijiniň üstünde olaryň boýuna süýşmäge ukyply keseligine geçiriji bölek sim goýlan. Bu gurluş magnit meýdanynyň induksiýasynyň güýç çyzyklaryna perpendikulýar ýerleşdirilen. Eger geçirijilerden I = 5A tok güýji goýberilse, parallel geçiriji simleriň boýuna bölek simiň deňölçegli hereket etmegi üçin nähili ululykdaky magnit meýdanynyň induksiýasyny döretmeli bolar? Bölek simiň massasy m = 0,5 kg, onuň geçirijiler bilen sürtülme koeffisiýenti k = 0,2.

5.61. Radiusy r = 5 sm bolan geçiriji halka, induksiýasy 1 Tl bolan birhilli magnit meýdanynda onuň güýç çyzyklaryna perpendikulýar ugur boýunça aýlanýar. Eger geçiriji halka Δt = 0,2 s wagtyň dowamynda α = 90° burça öwrülse, halkada dörän induksiýanyň EHG-siniň ortaça bahasyny kesgitlemeli.

5.62. Induksiýasy B bolan birhilli magnit meýdanynda aýlanma oky öz tekizliginde ýatan S meýdanly ramka ýygylyk bilen deňölçegli aýlanýar. Magnit meýdanynyň induksiýasynyň güýç çyzyklary ramkanyň aýlanma okuna perpendikulýar ugrukdyrylan. Ramkada döreýän induksiýanyň EHG-siniň ε_0 amplituda bahasyny kesgitlemeli.

5.63. Diametri d, sarymlarynyň sany K bolan tegek magnit meýdanynda ýerleşdirilen. Magnit meýdanynyň induksiýasynyň güýç çyzyklary tegegiň okuna paralleldir. Eger 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?

5.64. Uzynlygy l geçiriji υ tizlik bilen magnit meýdanynyň güýç çyzyklarynyň ugruna hereket edýär. Magnit meýdanynyň induksiýasynyň ululygy B bolsa, geçirijiniň uçlarynda döreýän induksiýasynyň EHG-sini kesgitlemeli.



5.30-njy surat. Hususy okuna we magnit meýdanynyň güýç çyzyklaryna perpendikulýar tekizlikde aýlanýan tegek

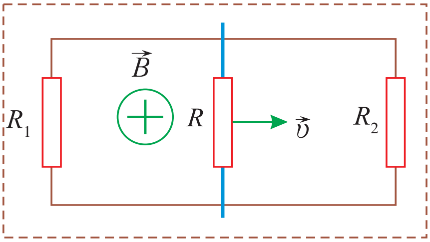
5.65. Sarymlarynyň sany N bolan tegek, B induksiýaly magnit meýdanynda deňölçegli aýlanýar. Tegegiň kese kesiginiň meýdany S, bir sekuntdaky aýlaw sany ν-e deň. Aýlanma oky tegegiň hususy okuna we magnit meýdanynyň güýç çyzyklaryna perpendikulýar (*5.30-njy surat*). Aýlanýan tegekde döreýän induksiýanyň EHG-siniň amplituda bahasyny kesgitlemeli.

5.66. Uzynlygy $l = 20$ *sm* bolan geçiriji $B = 0{,}1\,Tl$ induksiýaly birhilli magnit meýdanynda onuň güýç çyzyklary bilen geçirijiniň oky $\alpha = 30°$ burç emele getirer ýaly edilip gönüçyzykly herekete getirilen. Geçirijiniň uçlaryndaky potensiallaryň tapawudyny $1\,V$-a çenli artdyrmak üçin, oňa nähili tizlenme bermek zerur?

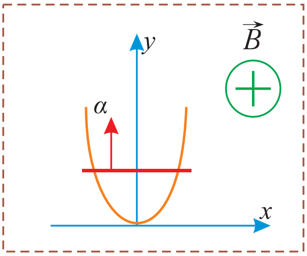
5.67. Induksiýasy $B = 10^{-2}$ *Tl* bolan birhilli magnit meýdanynda *absd* gönüburçly ramka şekilli geçiriji ýerleşdirilen. Bu geçirijiniň uzynlygy $l = 0{,}1m$ bolan *ab* tarapy meýdanyň güýç çyzyklaryna perpendikulýar ugurda $\upsilon = 25$ *m/s* tizlik bilen hereket edende onuň uçlarynda döreýän EHG-ni kesgitlemeli.

5.68. Induksiýasy B bolan birhilli magnit meýdanynda r radiusly mis disk magnit meýdanynyň induksiýasynyň çyzyklaryna perpendikulýar tekizlikde aýlanýar we sekuntda ν aýlaw edýär. Geçiriji disk typýan utgaşdyryjylar bilen elektrik zynjyryna birikdirilen halatynda onuň garşylygy R. Geçiriji disk aýlananda döreýän induksiýanyň EHG-sini, ondan geçýän q zarýadlaryň mukdaryny, şeýle hem diskiň K aýlaw eden wagtynda zynjyrdan bölünip çykýan Q ýylylyk mukdaryny kesgitlemeli.

5.69. Induksiýasy $B = 0,4Tl$ bolan birhilli magnit meýdanynyň güýç çyzyklaryna perpendikulýar tekizlikde $l = 10$ *sm* uzynlykly geçiriji steržen özüniň bir ujundan geçýän okuň töwereginde $n = 16$ *aýl/s* ýygylyk bilen aýlanýar. Geçiriji sterženiň ujunda döreýän potensiallaryň tapawudyny kesgitlemeli.



5.31-nji surat. Birhilli magnit meýdanynda ýerleşdirilen ýapyk elektrik geçiriji zynjyr



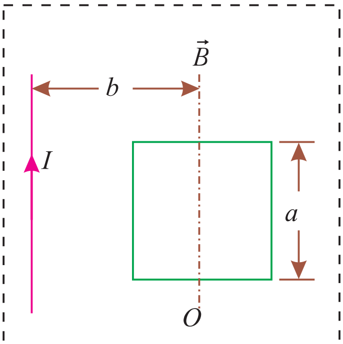
5.32-nji surat. Birhilli magnit meýdanynda ýerleşdirilen germewli parabola şekilli geçiriji

5.70. Gönüburçly dörtburç geçirijiniň uzyn garşylykly taraplarynyň üstüne olar bilen galtaşmada bolup, süýşmäge ukyply R garşylykly geçiriji germelen. Bu geçirijileriň ýatan tekizligine perpendikulýar birhilli, B induksiýaly magnit meýdany ugrukdyrylan. Dörtburçlugyň germewe parallel taraplarynyň garşylyklary 5.31-nji suratda görkezilen. Seredilýän geçirijilerde induksiýanyň EHG-si ýüze çykmaýar. Germew υ hemişelik tizlik bilen öňe hereket edende ondan akyp geçýän tok güýjüniň aňlatmasyny kesgitlemeli.

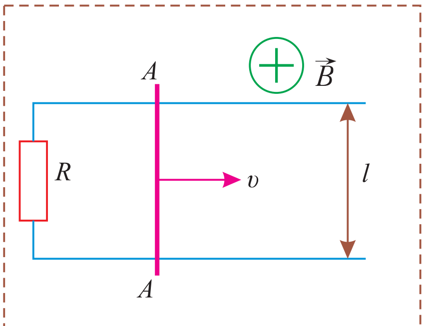
5.71. Geçiriji $y = kx^2$ görnüşdäki parabola bolup, ol 5.32-nji suratda, görkezilişi ýaly gönüburçly koordinatalar okunda birhilli magnit meýdanynda ýerleşdirilen. Magnit meýdanynyň B induksiýasy geçirijiniň ýatan tekizligine perpendikulýar ugrukdyrylan. Parabolanyň üstüne geçiriji germewi goýup, ony parabolanyň depesinden $t = 0$ wagt pursadyndan başlap $\vec{a}$ hemişelik tizlenme bilen y okuň ugruna öňe süýşürip başlaýar. Germewiň süýşmeginden emele gelen geçiriji halkada dörän induksiýanyň EHG-siniň $\varepsilon = f(y)$ baglylygyny kesgitlemeli.

5.72. Üstünden I tok güýji geçýän taraplary a deň bolan kwadrat geçiriji ramka we göni geçiriji bir tekizlikde ýerleşdirilen (*5.33-nji surat*). Ramkanyň induktiwliligi we garşylygy degişlilikde L, R. Tokly geçirijiden b daşlykdaky ramka OO okuň töwereginde 180° burça aýlandyrylanda ondan geçen elektrik zarýadlarynyň mukdaryny kesgitlemeli.

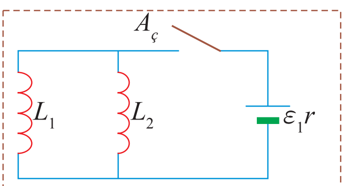
5.73. Massasy m bolan AA germew biri-birinden l aralykda ýerleşen iki sany uzyn geçiriji boýunça sürtülmesiz süýşýär (*5.34-nji surat*). Bu geçirijiler suratyň tekizligine perpendikulýar ugrukdyrylan $\vec{B}$ induksiýaly birhilli magnit meýdanynda ýerleşdirilen. Geçirijileriň çep uçlary R garşylyk bilen birikdirilen. Bu AA germew $t = 0$ wagt pursadynda başlangyç tizlik bilen herekete başlaýar. Germewiň, geçiriji simleriň garşylyklaryny we germewiň süýşmeginden dörän geçiriji konturyň öz-özünde induksiýasyny hasaba alman, germewiň tizliginiň wagta baglylygyny $\upsilon = f(t)$ we onuň tizlenmesini kesgitlemeli.



5.33-nji surat. Tokly göni geçirijiniň ýanynda ýerleşdirilen aýlanma okly kwadrat ramka



5.34-nji surat. Birhilli magnit meýdanynda ýerleşdirilen süýşmäge ukyply germewli geçiriji



5.35-nji surat. Ýapyk elektrik zynjyry

5.74. Hödürlenýän 5.35-nji suratdaky tok çeşmesiniň EHG-sini, onuň r içki garşylygyny we aşageçiriji tegekleriň L_1 we L_2 induktiwliliklerini belli hasaplap, $A_ç$ açar utgaşdyrylandan soňra tegeklerdäki durgunlaşan tok güýjüni kesgitlemeli.

5.75. Massasy $m = 0{,}5$ kg bolan bütewi tegelek mis bölegi magnit meýdanynyň tekizliginde ýerleşdirilen. Eger mis bölegini özüne perpendikulýar okunyň daşynda 90° burça gyşardylsa, onda döreýän (induktirlenýän) elektrik zarýadyň mukdaryny kesgitlemeli. Ýeriň magnit meýdanynyň gorizontal düzüjisini $B_{gor} = 32 \cdot 10^{-3} Tl$ hasaplamaly. Misiň dykyzlygy ρ_1-e deň.

5.76. Uzynlygy l = 1,2 *m* bolan göni geçiriji çeýe geçiriji sim arkaly r = 0,5 *Om* içki garşylykly, ε = 24 *V* EHG-li tok çeşmesi bilen birikdirilen we ol induksiýasy B = 0,8*Tl* bolan 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?

5.77*. Garşylygy R we massasy m bolan halka ýerden gorizontal tekizlige görä $|\vec{B}| = B_0(1 + \alpha H)$ kanun boýunça üýtgeýän beýiklikden magnit meýdanynda aşak gaçýar. Eger halkanyň durnukly tizligi bolsa, onda onuň diametrini tapmaly. Halkanyň tekizligi hereketiň dowamynda gorizontal ýerleşen.

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:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d(BS\cos\omega t)}{dt} = BS\omega\sin\omega t = \varepsilon_0\sin\omega t, \qquad (6.1)$$

bu ýerde ε_{ind} – induksiýanyň EHG-si; dN/dt – magnit akymynyň dt wagtda üýtgeýşi; B – magnit meýdanynyň induksiýasy; S – geçiriji halkanyň meýdany; $\varepsilon_{ind} = \varepsilon$, ε_0 – EHG-niň amplituda bahasy.

Üýtgeýän elektrik yrgyldysynyň aýlaw ω we v ýygylyklary bilen T periody aşakdaky ýaly özara 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:

$$I = \frac{\varepsilon_{ind}}{R} = \frac{\varepsilon_0}{R}\sin\omega t = I_0\sin\omega t. \qquad (6.\ 2)$$

Işjeň R garşylygyň uçlarynda naprýaženiýe dörär:

$$U = IR = RI_0\sin\omega t, \qquad (6.\ 3)$$

bu ýerde I_0 – tok güýjüniň amplituda bahasy.

Üýtgeýän toguň pursatlaýyn, täsir ediji, orta we amplituda ululyklary:

a) berlen wagtdaky elektrik toguna pursatlaýyn tok diýilýär we ol (6.2) 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:

$$I_{\text{t.ed.}} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}; \quad U_{\text{t.ed.}} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}, \tag{6. 4}$$

bu ýerde I_0 we U_0 – degişlilikde toguň we naprýaženiýäniň amplituda bahalary.

ç) üýtgeýän tok güýjüniň orta bahasy:

$$I_{\text{ort}} = \frac{1}{T/2}\int_0^{T/2} Idt = \frac{2I_0}{\pi} \approx 0,637I_0.$$

Üýtgeýän toguň naprýaženiýesiniň orta bahasy hem edil şeýle çemeleşme boýunça tapylýar:

$$U_{or} \approx 0,637U_0.$$

d) gaýtalanma periodynyň dowamynda toguň eýe bolýan iň uly bahasyna tok güýjüniň amplituda bahasy diýilýär. Ol (6.2) deňlikde I_0 -a deňdir.

Üýtgeýän toguň zynjyry üçin Omuň kanuny:

$$I_0 = \frac{U_0}{Z}, \tag{6. 5}$$

bu ýerde $U_0 = U_R + U_L + U_C$ işjeň, induktiw we sygym garşylyklaryň uçlaryndaky naprýaženiýeleriň amplituda bahalary; Z – zynjyryň umumy garşylygy. Ol aşakdaky aňlatma deňdir:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega c}\right)^2}, \tag{6. 6}$$

bu ýerde R – işjeň, $R_L = \omega L$ – induktiw we $R_c = \dfrac{1}{\omega C}$ – sygym garşylyklary.

Tok güýjüniň I_0 we naprýaženiýäniň U_0 amplituda bahalarynyň arasyndaky φ faza süýşmesi:

$$\text{tg}\varphi = \frac{\omega L - \dfrac{1}{\omega C}}{R}, \tag{6. 7}$$

bu ýerde ω – üýtgeýän toguň aýlaw ýygylygy; L – tegegiň induktiwliligi; C – kondensatoryň sygymy; R – işjeň garşylyk.

Üýtgeýän toguň orta kuwwaty:

$$P_{\text{ort}} = \frac{I_0 U_0}{2}\cos\varphi$$

ýa-da

$$P_{\text{ort}} = I_{\text{t.ed.}} U_{\text{t.ed.}} \cos\varphi, \qquad (6.\ 8)$$

bu ýerde P_{ort} – üýtgeýän toguň orta kuwwaty; cos φ – kuwwat koeffisiýenti; $I_{\text{t.ed.}}$ we $U_{\text{t.ed.}}$ – degişlilikde tok güýjüniň we naprýaženiýäniň täsir ediji bahalary.

Meseleleriň çözülişine mysallar

92-nji mesele. Üýtgeýän toguň EHG-si $\varepsilon = 100\sin 20\pi t$ deňleme arkaly berlen. EHG-niň amplituda we täsir ediji bahalaryny, şeýle hem onuň fazasy $\pi/6$-a deň bolandaky toguň periodyny we ýygylygyny tapmaly.

Ç ö z ü l i ş i : EHG-niň amplituda bahasy, haçanda $\sin 20\pi t = 1$ şert ýerine ýetende $\varepsilon = \varepsilon_0$ alynýar, ýagny $\varepsilon_0 = 100$ *V*, EHG-niň täsir ediji bahasy:

$$\varepsilon_{\text{t.ed.}} = \frac{\varepsilon_0}{\sqrt{2}} = 70,7\,V.$$

Eger $\varphi = 20\pi t = \pi/6$-a deň bolsa onda:

$$\varepsilon_{\varphi} = 100\sin\left(\frac{\pi}{6}\right) = 100\sin 30^{\circ} = 50\,V.$$

Toguň gaýtalanma periodyny aşakdaky şertden tapyp bileris:

$$20\pi T = 2\pi; \quad T = \frac{2\pi}{20\pi} = 0,1\,s.$$

Toguň *ν* ýygylygy: $\nu = \frac{1}{T} = 10\ Gs.$

93-nji mesele. Işjeň garşylygy $R = 10^3$ *Om*, induktiwliligi $L = 0,5$ *Gn* bolan tegegiň we $C = 1$ *mkF* sygymly kondensatoryň yzygider birikdirilen zynjyryndaky $U = U_0 \sin(\omega t + \varphi)$ naprýaženiýäniň we tok güýjüniň arasyndaky faza süýşmesiniň burçuny kesgitlemeli. Elektrik toguň ýygylygy $\nu = 50$ *Gs* we naprýaženiýäniň amplitudasy $U_0 = 100$ *V* bolan zynjyrdaky orta kuwwaty kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i : Berlen $U = U_0 \sin(\omega t + \varphi)$ naprýaženiýe bilen $I = I_0$ sin ωt tok güýjüniň arasyndaky faza süýşme burçy aşakdaky gatnaşykdan kesgitlenilýär:

$$\mathrm{tg}\varphi = \frac{\omega L - \dfrac{1}{\omega C}}{R}.$$

Üýtgeýän toguň aýlaw ýygylygy: $\omega = 2\pi\nu$. Onda:

$$\mathrm{tg}\varphi = \frac{2\pi\nu L - \dfrac{1}{2\pi\nu C}}{R}. \tag{1}$$

Üýtgeýän toguň orta kuwwaty:

$$P_{\mathrm{ort}} = \frac{1}{2} I_0 U_0 \cos\varphi,$$

bu ýerde I_0 we U_0 – degişlilikde tok güýjüniň we naprýaženiýäniň amlituda bahalary. Tok güýjüniň I_0 amplituda bahasyny aşakdaky deňlikden tapyp bileris:

$$I_0 = \frac{U_0}{Z}.$$

Onda:

$$P_{\mathrm{ort}} = \frac{U_0^2}{2Z} \cos\varphi,$$

bu ýerde Z – zynjyryň doly garşylygy. Indi (6.5) deňligi göz öňünde tutup, üýtgeýän toguň orta kuwwatyny aşakdaky ýaly aňladyp bolar:

$$P_{\mathrm{ort}} = \frac{U_0^2}{2\sqrt{R^2 + (2\pi\nu L - \dfrac{1}{2\pi\nu C})^2}} \cos\varphi. \tag{2}$$

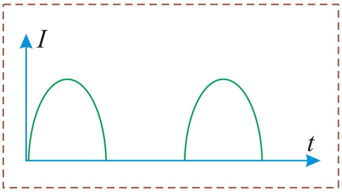
Ýokarda getirilen (1) deňlige degişli san bahalaryny goýup, taparys:

$$\mathrm{tg}\varphi = -\ 3{,}02; \quad \varphi = -\ 71°41'.$$

Bu ýerde otrisatel alamat naprýaženiýäniň tok güýjünden fazasy boýunça yza galýandygyny aňladýar.

Tablisadan $\cos\varphi \approx 0{,}31$ bolany üçin (2) deňlikde ýerine goýup, kuwwaty taparys:

$$P_{\mathrm{ort}} \approx 0{,}5 Wt.$$



6.1-nji surat. Pulsirleýji tok

94-nji mesele. Elektrik göneldiji gural üýtgeýän toguň diňe ýarym periodyny geçirýär (*6.1-nji surat*). Eger 10 minutda mis kuporosynyň ergininindäki elektrodda 200 *mg* mis bölünip çykýan bolsa, onda tok güýjüniň amplitudasy nähili bolar?

Ç ö z ü l i ş i : Elektroliz wagtynda bölünip çykýan maddanyň massasy:

$$m = \frac{1}{F}\frac{A}{n}q. \qquad (1)$$

Üýtgeýän toguň pursatlaýyn bahasy:

$$I = I_0 \sin\omega t.$$

Bir periodyň dowamynda elektrolit arkaly geçýän elektrik zarýadyň 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 aşakdaky görnüşde aňladyp bolar:

$$q = \frac{q_1 t}{T} = \frac{I_0}{\pi}t.$$

Indi (1) we (2) deňlikleriň esasynda alarys:

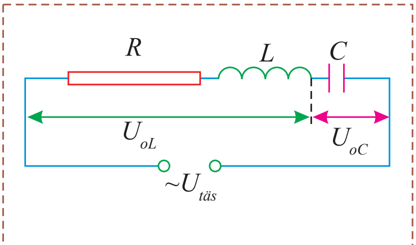
$$I_0 = \frac{Fmn\pi}{At},$$

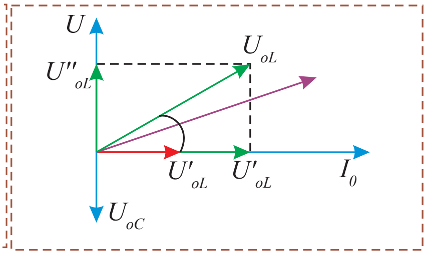
bu ýerde $F = 9{,}65 \cdot 10^4 \frac{Kl}{kg\ ekw}$, $A = 63$, $n = 2$ bahalary tablisadan alyp taparys:

$$I_0 = 3{,}2\ A.$$

95-nji mesele. Naprýaženiýäniň täsir ediji bahasy $U_{täs.ed.} = 220\ V$ (ýygylygy $\nu = 50\ Gs$) bolan üýtgeýän toguň zynjyrynda $R = 10\,Om$ işjeň garşylyk, $L = 0{,}6\ Gn$ induktiwlilikli tegek we $C = 18\ mkF$ sygymly kondensator yzygider birikdirilen. Bu halda naprýaženiýe toguň güýjünden fazasy boýunça $\alpha = 60°$ 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 ulanyjjylaryň zynjyra birikdirilişi 6.2-nji suratda, napryaženiýeleriň diagrammasy bolsa, 6.3-nji suratda görkezilen. Elektrik zynjyrynyň düzümine girýän ulanyjjylar yzygider birikdirilendigi üçin olaryň üstünden akýan tok güýçleri deňdirler. Emma, kondensatordaky napryaženiýäniň amplitudasy U_{oc} tok güýjüniň I_0 amplitudasyndan fazasy boýunça $\varphi = \pi/2$ yza galýar.





6.2-nji surat.
Ýapyk elektrik zynjyry

6.3-nji surat. Napryaženiýeleriň wektor diagrammasy

Ýürekçeli tegekdäki napryaženiýäniň amplitudasy U_{OL} tok güýjüniň amplitudasyndan fazasy boýunça α burç öňe düşýär.

Ýürekçeli tegekdäki napryaženiýäniň amplitudasyny iki sany işjeň $U'_{0L} = U_{0L}\cos\alpha$ (tok güýji bilen bir fazada yrgyldaýar) we işjeň däl $U''_{0L} = U_{0L}\sin\alpha$ (tok güýji fazasy boýunça $\pi/2$ öňe düşýär) düzüjä dargadalyň. Doly napryaženiýäniň amplitudasy zynjyrdaky aýry-aýry U'_{0L}, U''_{0L}, U_{0C} napryaženiýeleriň wektor jemine deňdir.

Fazasy boýunça tok güýji bilen gabat gelýän napryaženiýäniň amplitudasy:

$$U'_{0L} = I_0(R + R'),$$

bu ýerde R' – ýürekçeli sarymyň işjeň garşylygy.

Wektor diagrammadan:

$$R' = \frac{\omega L}{\operatorname{tg}\alpha}.$$

Tok güýjünden fazasy boýunça $\pi/2$ öňe düşýän napryaženiýäniň amplitudasy:

$$U''_{0L} = I_0\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right).$$

Doly napryaženiýäniň 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:

$$P = I^2_{t.ed.} R.$$

Kondensatorda bölünip çykýan kuwwat nola deňdir, ýagny $P_1 = 0$. Sebäbi kondensatoryň garşylygy işjeň däldir.

Işjeň R garşylykda bölünip çykýan kuwwat:

$$P_2 = I^2_{t.ed.} R.$$

Ýürekçeli tegekdäki bölünip çykýan kuwwat:

$$P_2 = I^2_{t'ed.} R'.$$

Ähli zynjyrdaky bölünip çykýan kuwwat bolsa:

$$P_4 = P_2 + P_3.$$

Ähli zynjyr üçin kuwwat koeffisiýenti $\cos\varphi = \dfrac{P_4}{IU}$.

Geçirilen hasaplamalara laýyklykda:

$$R' = 10{,}9\,Om;\; I_{t.ed.} = 9{,}3A;\; P_2 = 846Wt;$$

$$P_3 = 925Wt;\; P_4 = 1771Wt;\; \cos\varphi = 0{,}875.$$

Talyplaryň özbaşdak taýýarlyklaryny barlamak üçin soraglar we ýumuşlar

1. Üýtgeýän toguň alnyşy we onuň deňlemeleriniň derňewi.
2. Üýtgeýän toguň zynjyryna işjeň R garşylyk dakylanda tok güýji we napryaženiýesi. Olaryň grafikleri.
3. Üýtgeýän toguň güýjüniň we napryaženiýesiniň täsir ediji bahalary.
4. Üýtgeýän toguň aýlaw, çyzykly ýygylyklary we fazasy.
5. Üýtgeýän tok üçin Omuň kanuny.

6. Üýtgeýän tok güýjüniň we naprýaženiýesiniň amplituda bahalarynyň arasyndaky faza süýşmesi.
7. Üýtgeýän toguň orta kuwwaty.

Özbaşdak çözmek üçin meseleler

6.1-nji gönükme

6.1. Zynjyra yzygider birikdirilen rezistoryň garşylygy $R = 20$ *Om*, tegegiň induktiwliligi $L = 1$ *mGn*, kondensatoryň sygymy $C = 0{,}1$*mkF* bolup, olara sinusoidal üýtgeýän ε EHG täsir edýär. Eger EHG-niň täsir ediji bahasy 30 *V*-a deň bolsa, onda rezonans wagtyndaky toguň I güýjüniň we zynjyra dakylan ähli ulanyjylardaky naprýaženiýeleriň U_R, U_L, U_C täsir ediji bahalaryny kesgitlemeli.

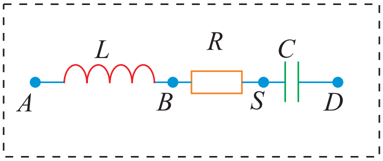
6.2. Eger $R = 1$ *Om*, $L = 1$ *mGn*, C=0,11 *mkF*, $\varepsilon = 30$ *V*, $\omega = 10^5$ *rad/s* bolsa, onda 6.2-nji suratda görkezilen elektrik zynjyrynyň ähli böleklerinde tok güýçleriniň täsir ediji bahalaryny kesgitlemeli.

6.3. Ýygylygy $\nu = 50$ *Gs* bolan üýtgeýän toguň zynjyryndaky naprýaženiýäniň täsir ediji bahasy 127 *V*. 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.

6.4. 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 bir-birine jebis degrilip, 1000 sargy saralan. Eger zynjyrdaky naprýaženiýäniň amplituda bahasy 120 *V* bolsa, tok güýjüniň yrgyldysynyň bir periodynyň dowamynda induktiw tegekde näçe mukdarda ýylylyk bölünip çykar? Geçiriji simleriň garşylygyny hasaba almaly däl.

6.5. Ýygylygy $\nu = 50$ *Gs* bolan $U = 220$ *V* 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.

6.6. Kese kesiginiň meýdany S_1 bolan, r radiusly, l uzynlykly, N sarymly mis simden taýýarlanan tegek v ýygylykly üýtgeýän toguň zynjyryna birikdirilen. Tegegiň degişlilikde işjeň we induktiw garşylyklarynyň zynjyryň doly garşylygyna bolan gatnaşyklaryny kesgitlemeli.



6.4-nji surat. Düzümi *L*, *R* we *C*-den ybarat elektrik zynjyry

6.7. Elektrik zynjyryndan sinuslar kanuny boýunça üýtgeýän tok geçýär (*6.4-nji surat*). Eger zynjyrdaky naprýaženiýeleriň işjeň bahalary U_{AB} =30 V, U_{AS}=10 V we U_{SD}=15 V bolsa, zynjyryň AD böleginiň işjeň naprýaženiýesini kesgitlemeli.

6.8. Induktiwliligi $L= 4\cdot10^{-7}$ Gn bolan solenoidiň kese kesiginiň meýdany $S = 4$ sm^2, uzynlygy l=60 sm. Tok güýjüniň nähili bahasynda solenoidiň içindäki magnit meýdanynyň energiýasynyň göwrümleýin dykyzlygy ω =$2\cdot10^{-2}$ Wt/m^3 bolar?

6.9. Eger üýtgeýän tok güýjüniň amplitudasy I_0 = 5A, naprýaženiýäniň amplituda bahasy U_0 = 157 V we toguň ýygylygy $v = 50$ Gs bolsa, onda tegegiň induktiwliligi nämä deň bolar? Tegegiň işjeň garşylygyny hasaba almaly däl.

6.10. Üýtgeýän toguň $U = 300\sin 200\pi t$ naprýaženiýeli çeşmesine $L = 0{,}5Gn$ induktiwlilikli 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.

6.11. Naprýaženiýesiniň täsir ediji ululygy $U_{t.ed.}$ = 120 V bolan üýtgeýän toguň zynjyryna R = 15 Om işjeň garşylyk we L = 50 mGn induktiwlilikli tegek yzygider birikdirilen. Eger zynjyrdaky tok güýjüniň amplitudasy I_0 = 7 A bolsa, onda toguň ýygylygyny kesgitlemeli.

6.12. Işjeň garşylygy R we induktiwliligi L bolan tegek, wagtyň t = 0 pursadynda $U = U_0 \cos\omega t$ kanuna laýyklykda üýtgeýän toguň naprýaženiýeli çeşmesine birikdirilen. Zynjyrdaky tok güýjüniň wagta baglylygyny kesgitlemeli.

6.13. Amplituda bahasy U_0 = 100 V bolan üýtgeýän toguň naprýaženiýeli çeşmesine R = 110 Om, işjeň garşylyk we kondensator yzygider birikdirilen. Bu halda tok güýjüniň durnukly amplituda bahasy I_0= 0,5 A bolan üýtgeýän tok güýji bilen onuň naprýaženiýesiniň arasyndaky faza burçuny kesgitlemeli.

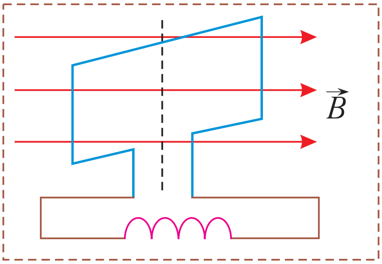
6.14. Üýtgeýän toguň zynjyryna işjeň garşylykly tegek we kondensator yzygider birikdirilen. Zynjyryň üýtgeýän naprýaženiýesiniň amplituda bahasyny üýtgetmezden onuň ýygylygyny üýtgedip bolýar. Elektrik zynjyrdaky toguň ω_1 we ω_2 ýygylyklarynda ondan geçýän tok güýçleriniň amplituda bahalary özara deň halatynda tok güýjüniň rezonans ýygylygyny kesgitlemeli.

6.15. Üýtgeýän toguň zynjyryna R işjeň garşylygy bolan L induktiwlilikli 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. Degişli wektor diagrammasyny gurmaly. Diagrammanyň kömegi bilen tegekdäki tok güýjüniň amplituda bahasyny kesgitlemeli.

6.16. Üýtgeýän toguň zynjyrynyň bölegindäki naprýaženiýe wagtyň geçmegi bilen $U = U_0\sin(\omega t\text{-}\pi/6)$ kanun boýunça üýtgeýär. Wagtyň $t = T/2$ pursadynda naprýaženiýe U = 10 V bolar. Yrgyldynyň periody T = 0,01 s bolan pursadynda naprýaženiýäniň U_0 amplitudasyny, ω we ν – ýygylyklaryny kesgitlemeli.

6.17. Üýtgeýän toguň zynjyryna R = 1 kOm işjeň garşylyk, L = 0,5 Gn induktiwlilikli tegek we C = 1mkF sygymly kondensator yzygider birikdirilen. Üýtgeýän toguň ν_1 = 50Gs we ν_2 = 10Gs ýygylyklaryndaky X_L induktiw, X_C sygym we Z doly garşylygy kesgitlemeli.

6.18. Amplituda bahasy U_0= 220 V bolan naprýaženiýeli elektrik zynjyra käbir işjeň garşylykly tegek we işjeň R garşylyk yzygider birikdirilen. Eger R = 0,16 kOm garşylykdaky we tegekdäki naprýaženiýeleriň täsir ediji bahalary degişlilikde U_1= 80 V we U_2=180 V bolsa, onda tegekden bölünip çykjak ýylylygyň kuwwatyny kesgitlemeli.



6.5-nji surat. Magnit meýdanynda aýlanýan induktiw tegekli ramka

6.19. Kwadrat şekilli rama birhilli magnit meýdanynyň güýç çyzyklaryna perpendikulýar ugurda burç tizligi bilen aýlanýar (*6.5-nji surat*). Ramkanyň uçlary aýlanmanyň ähli wagtynda L induktiwlilikli tegege birleşdirilýär. Ramkanyň nähili ýagdaýynda ondaky toguň güýji iň uly baha eýe bolar?

6.20. Eger 6.19-njy meseledäki zynjyra L induktiwlilik, tegekden başga C sygymly kondensator we R işjeň garşylyk yzygider birikdirilse, onda ramkanyň nähili ýagdaýynda toguň güýji amplituda baha deň bolar?

6.2. ELEKTROMAGNIT MEÝDANY

Esasy kesgitlemeler we aňlatmalar

Makswelliň deňlemeleriniň integral görnüşi:

• ***Makswelliň birinji deňlemesi*** $\frac{\partial B}{\partial t}$ üýtgeýän magnit meýdanynyň köwlenme häsiýetli elektrik meýdanyny döredýändigini aňladýar:

$$\left.\begin{array}{l} \oint_L \vec{E}d\vec{l} = -\frac{dN}{dt} = -\frac{d}{dt}\int_s \vec{B}d\vec{S}, \\ \oint_L \vec{E}d\vec{l} = -\int_s \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}d\vec{S} \end{array}\right\}. \tag{6.8}$$

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:

$$\oint_L \vec{H}d\vec{l} = I + \frac{d}{dt}\int_s \vec{D}d\vec{S} = I + \frac{dD_s}{dt}. \tag{6.9}$$

Üýtgeýän elektrik meýdany üýtgeýän magnit meýdanyny ýüze çykarýar.

• ***Makswelliň üçünji deňlemesi*** elektrik meýdany üçin Ostrogradskiniň we Gaussyň teoremasydyr:

$$\oint_S D_n dS = \sum q_i. \tag{6.10}$$

Islendik S ýapyk üst boýunça D wektoryň akymy bu üstüň içinde ýerleşen zarýadlaryň ululyklarynyň algebraik jemine deňdir.

• ***Makswelliň dördünji deňlemesi*** Ostrogradskiniň we Gaussyň teoremasyny magnit meýdany üçin umumylaşdyryp ýazyp bolar:

$$\oint_S \vec{B}d\vec{S} = 0. \tag{6.11}$$

Ýagny, S ýapyk üst boýunça B induksiýasynyň doly akymy hemişe nola deňdir.

Makswelliň deňlemeleriniň kömegi bilen meseleler çözülende $\vec{B} = \mu_0\mu\vec{H}$ we $\vec{D} = \varepsilon_0\varepsilon\vec{E}$ ululyklary göz öňünde tutmak zerurdyr. Şeýle hem elektrik we magnit meýdanlaryna baglanyşyksyzlykda garamak mümkin däldir. Sebäbi wagta baglylykda olaryň biriniň üýtgemegi ikinjini we tersine ikinjiniň üýtgemegi birinjini dörediýär. Makswelliň deňlemeleri ýeke-täk elektromagnit meýdanyny beýan edýär.

Eger $\vec{E} = hemişelik$, $\vec{B} = hemişelik$ şert ýerine ýetse, Makswelliň deňlemeleri bir-birine bagly bolmadyk iki sany topara bölünýär:

$$1.\ \oint_L \vec{E}d\vec{l} = 0;$$

$$2.\ \oint_L \vec{B}d\vec{l} = \mu_0 I; \quad \left(\oint_L \vec{H}d\vec{l} = I\right);$$

$$\oint_S \vec{D}d\vec{S} = q; \quad \oint_S \vec{B}d\vec{S} = 0.$$

Makswelliň deňlemeleriniň differensial görnüşi

Makswelliň integral deňlemelerini differensial görnüşde ýazmak mümkin:

$$\mathrm{rot}\vec{E} = -\frac{\partial\vec{B}}{\partial t}; \quad \mathrm{div}\vec{D} = \rho \tag{6.12}$$

$$\mathrm{rot}\vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}; \quad \mathrm{div}\vec{B} = 0. \tag{6.13}$$

Bu (6.12) we (6.13) deňlemeler elektrik meýdanynyň diňe iki:

1) elekrtik meýdanynyň E çeşmesiniň bolmagy ($\rho = \frac{dq}{dV}$ – zarýadlaryň göwrümleýin dykyzlygy);

2) $\partial\vec{B}/\partial t$ – wagta görä üýtgeýän magnit meýdanynyň elmydama wagt birliginde üýtgeýän E elektrik meýdanyny döredýändigi sebäpli döräp biljekdigini görkezýär.

Ýokardaky (6.8) deňleme magnit meýdanynyň induksiýasyny hereket edýän zarýadlaryň ýa-da $(\partial\vec{B}/\partial t)$ wagta görä üýtgeýän elektrik meýdanynyň döreýändigini, şeýle hem olaryň ikisiniň hem bir wagtda döräp bilýändigini görkezýär.

Elektromagnit meýdanyny doly beýan etmek üçin, Makswelliň deňlemeleriniň üstüni gurşawy häsiýetlendirýän ululyklar bilen doldurmak zerurdyr.

Giňişlikde wagta görä haýal üýtgeýän gowşak elektromagnit meýdanlary üçin material deňlemeler şeýle ýazylýar:

$$\vec{D} = \varepsilon_0\varepsilon\vec{E}, \quad \vec{B} = \mu_0\mu\vec{H}, \; \vec{j} = \gamma(\vec{E} + \vec{E}^*), \tag{6.14}$$

bu ýerde ε, μ – gurşawy häsiýetlendirýän elektrik we magnit syzyjylyklary; γ – geçirijiniň geçirijiligi; ε_0, μ_0 – elektrik we magnit hemişelikleri; $\vec{E}^*$ – 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 υ:

$$\upsilon = \frac{1}{\sqrt{(\varepsilon_0\varepsilon\mu_0\mu)}} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon\mu}}, \tag{6.15}$$

bu ýerde $c \approx 3 \cdot 10^8$ *m/s* $\left(c = \dfrac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}\right)$ – elektromagnit tolkunlarynyň (ýagtylygyň) wakuumda ýaýraýyş tizligi; $\sqrt{\varepsilon\mu} = n$ – gurşawyň döwme görkezijisi.

Umowyň we Poýtingiň wektory

Meýdan birliginden wagt birligine geçýän energiýa akymyna, energiýa akymynyň dykyzlygy ýa-da *Umowyň we Poýtingiň wektory* diýilýär:

$$\vec{P} = [\vec{E} \times \vec{H}]. \tag{6.16}$$

Bu ýerde $\vec{P}$ wektor $\vec{E}$ we $\vec{H}$ wektorlaryň ýatan tekizligine perpendikulýar bolup, elektromagnit tolkunynyň ýaýraýan ugry bilen gabat gelýär.

Elektromagnit tolkunlarynyň intensiwliligi

$$I = \frac{1}{2} E_m H_m = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\varepsilon_0 \varepsilon}{\mu_0 \mu}} \cdot E_m^2, \tag{6.17}$$

bu ýerde E_m we H_m – degişlilikde elektrik we magnit meýdanlarynyň güýjenmeleriniň amplituda bahalary.

Elektromagnit tolkunlarynyň impulsy

$$\vec{K}_{\text{el.mag}} = \frac{\vec{P}}{\upsilon^2}. \tag{6.18}$$

Elektromagnit tolkunlarynyň massasy

$$m = \frac{W}{c^2}, \tag{6.19}$$

bu ýerde $W = \omega V$ – garalýan V göwrümdäki meýdanyň energiýasy; c – ýagtylygyň wakuumdaky tizligi; ω – göwrüm birligindäki elektromagnit tolkunynyň dykyzlygy:

$$\omega = \frac{1}{2} \varepsilon \varepsilon_0 E^2 + \frac{1}{2} \mu \mu_0 H^2. \tag{6.20}$$

Meseleleriň çözülişine usuly görkezmeler

96-njy mesele. Uzyn göni solenoidiň uzynlyk birligine düşýän sarymlarynyň sany n-e deň. Solenoidden $I = I_0$ üýtgeýän toguň güýji geçýär. Süýşme toguň güýjüniň dykyzlygyny solenoidiň okundan r aralygyň funksiýasy hökmünde tapmaly. Solenoidiň kesiginiň radiusy R.

Çözülişi: Süýşme toguň güýjüniň dykyzlygyny tapmak üçin, $\vec{j} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ deňligiň esasynda, ilkibada elektrik meýdanynyň E güýjenmesini tapmaly. Bu meýdan köwlenme häsiýetlidir. Makswelliň deňlemesinden peýdalanyp taparys:

$$2\pi r\vec{E} = \pi r^2 \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}.$$

Bu ýerden: $$\vec{E} = \frac{r}{2}\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}.$$

Solenoid üçin magnit meýdanynyň induksiýasy:

$$B = \mu_0 nI = \mu_0 nI_0 \sin \omega t.$$

Onda: $$\frac{\partial B}{\partial t} + B = \mu_0 nI_0 \omega \cos \omega t,$$

$$\frac{\partial^2 B}{\partial t^2} = -\mu_0 n\omega^2 I_0 \sin \omega t.$$

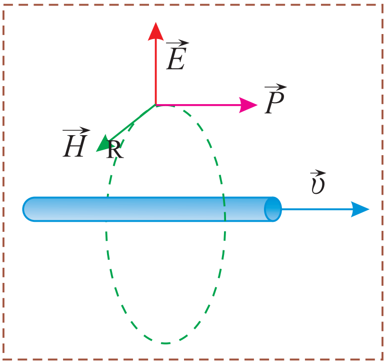
Şeýlelikde, süýşme toguň dykyzlygy üçin gutarnykly alarys:

$$j = \frac{\partial D}{\partial t} = \varepsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t} = \frac{1}{2}\varepsilon_0 rB, \quad r<R.$$

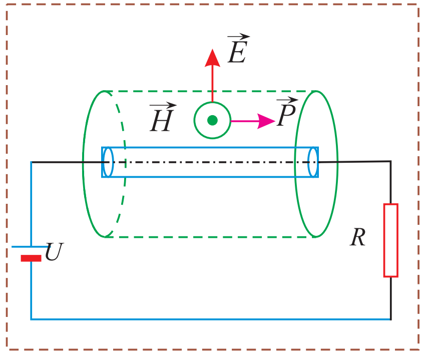
$r<R$ bolanda:

$$j = \frac{1}{2}\varepsilon_0 B'' \frac{R^2}{r}.$$

97-nji mesele. Tizlikleri relýatiwist bolmadyk protonlar U potensiallaryň tapawudy arkaly tizlendirilende I tok desse görnüşli aýlaw kesigi döredýär. Onuň okundan r aralykda dessäniň daşyndaky Poýtingiň wektorynyň modulyny we ugruny kesgitlemeli.



6.6-njy surat. Tizlendirilen protonyň elektromagnit meýdany



6.7-nji surat. Ýapyk elektrik zynjyry

Çözülişi: 6.6-njy suratdan görnüşine görä $\vec{P} \uparrow\uparrow \vec{\upsilon}$. $\vec{S}$ wektoryň modulyny tapalyň:

$$\vec{P} = [\vec{E} \times \vec{H}],$$

bu ýerde E we H – r-e baglydyr. Ostrogradskiniň we Gaussyň teoremasyna görä:

$$2\pi E = \frac{\tau}{\varepsilon_0},$$

bu ýerde τ – uzynlyk birligine düşýän zarýad. Magnit meýdanynyň güýjenmesiniň $\vec{H}$ wektoryň aýlanmasy baradaky teorema görä:

$$2\pi RH = I.$$

Soňky iki deňlikden E we H ululyklary kesgitläp, soňra bolsa $I = \tau\upsilon$ hem-de $m\upsilon^2/2 = eU$ energiýanyň saklanmak kanunyny göz öňünde tutup, gutarnykly alarys:

$$P = E \cdot H \frac{I^2}{4\pi^2 \varepsilon_0 r^2 \upsilon} = \frac{I^2\sqrt{\dfrac{m}{2eU}}}{4\pi^2 \varepsilon_0 r^2}.$$

98-nji mesele. Hemişelik U napryaženiýeli 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 üstünden bölünip çykýan energiýanyň kuwwatyny kesgitlemeli. Bu geçirijiniň daşky gatlagy ýuka diwarly diýip hasaplamaly.

Ç ö z ü l i ş i : Meseledäki geçirijiniň kese kesiginiň dS meýdany arkaly wagt birliginde geçýän dW energiýa akymy görnüşde aňladylýar (*6.7-nji surat*):

$$dW = PdS,$$

bu ýerde $dS = 2\pi r dr$ – 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:

$$W = \int_{r_1}^{r_2} P 2\pi r dr. \tag{1}$$

Ikilendirilen geçirijiniň okundan r ($r_1 < r < r_2$) daşlykdaky nokadyň E elektrik we H magnit meýdanlarynyň güýjenmeleri degişlilikde (Ostrogradskiniň we Gaussyň teoremasyna görä):

$$E = \frac{\tau}{\varepsilon_0 r}; \qquad H = \frac{I}{2\pi r},$$

bu ýerde τ – içki geçiriji simiň birlikleýin zarýady; I – içki geçiriji sim boýunça akýan toguň ululygy. Indi E-niň we H-yň bahalaryny (1) deňlikde ornuna goýup, soňra bolsa integrirläp alarys:

$$W = \frac{I\tau}{2\pi\varepsilon_0} \ln\frac{r_2}{r_1}. \tag{2}$$

Meseläniň şertinde τ, r_1, r_2 ululyklaryň san bahalary berilmändir. Ýöne olara derek U berlen. Bu ululyklaryň özara baglanyşygyny tapalyň:

$$U = \int_{r_1}^{r_2} E dr = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0} \ln\frac{r_2}{r_1}. \tag{3}$$

(2) we (3) aňlatmalardan peýdalanyp, ulanyjyda bölünip çykýan N kuwwaty taparys:

$$N = I\,U. \tag{4}$$

99-njy mesele. Tekiz, içi howaly kondensatoryň plastinalary radiusy R= 6 *sm* bolan tegelek disk görnüşinde bolup, ol $\omega = 1000$ *rad/s* ýygylykly sinusoidal üýtgeýän napryaženiýä birikdirilen. Kondensatoryň içindäki magnit we elektrik meýdanlaryň energiýalarynyň amplituda bahalarynyň gatnaşygyny kesgitlemeli.

Ç ö z ü l i ş i : Goý, kondensatorda naprýaženiýe $U = U_m \cos\omega t$ kanun boýunça üýtgäp, onuň plastinalarynyň aralygy d deň bolsun. Kondensatoryň plastinalarynyň arasyndaky elektrik energiýa meselede berlen şerte görä:

$$W_e = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2 V = \frac{1}{2}\varepsilon_0 \frac{U_m^2}{d^2}\cos^2\omega t \cdot \pi R^2 d = \frac{1}{2}\varepsilon_0 \pi R^2 \frac{U_m^2}{d}\cos^2\omega t. \quad (1)$$

Kondensator üýtgeýän naprýaženiýä birikdirilendigi üçin, onda döreýän magnit meýdanynyň energiýasy:

$$W_m = \int \frac{1}{2} BHdV = \frac{1}{2}\int \frac{B^2}{\mu_0} dV. \quad (2)$$

Bu integraly hasaplamak üçin, ilki bilen magnit meýdanynyň $\vec{B}$ induksiýasyny onuň $\vec{H}$ güýjenme wektorynyň aýlanmagy baradaky teoremadan peýdalanyp tapalyň:

$$\int Hdl = \int \frac{\partial D}{\partial t} dS$$

ýa-da

$$2\pi RH = \pi R^2 \frac{\partial D}{\partial t}.$$

Bu ýerden:

$$\frac{\partial D}{\partial t} = \varepsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t} = \varepsilon_0 \frac{\partial (U_m \cos\omega t)}{d \cdot \partial t} = -\varepsilon_0 \omega \frac{U_m}{d}\sin\omega t.$$

Onda:

$$B = \mu_0 H = \mu_0 \frac{\pi R^2}{2\pi R}\frac{\partial D}{\partial t} = \mu_0 \frac{R}{2}\frac{\partial D}{\partial t} =$$

$$= -\frac{1}{2}\mu_0 \varepsilon_0 R\omega \frac{U_m}{d}\sin\omega t = \frac{1}{2}\mu_0 \varepsilon_0 R\omega \frac{U_m}{d}|\sin\omega t|. \quad (3)$$

(3) deňlikden $\frac{\partial D}{\partial t}$-niň bahasyny (2) deňlikde ýerine goýup, şeýle hem halka görnüşindäki kiçi göwrümiň $dV = 2\pi R \cdot dR \cdot d$ aňlatmasyny ulanyp taparys:

$$W_m = \frac{1}{2}\int \frac{B^2}{\mu_0} dV = \frac{\pi}{16}\mu_0 \varepsilon_0^2 \alpha \omega^2 \frac{U_m}{d} R^4 \sin^2\omega t. \quad (4)$$

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:

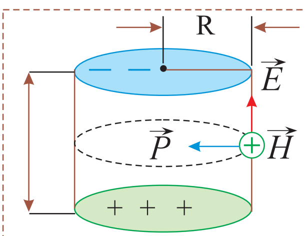
$$\frac{W_m}{W_e} = 5 \cdot 10^{-15}$$

deňdigini hasaplap bolar.

100*-nji mesele. Plastinalary parallel tekiz kondensatory hyýalymyzda zarýadlandyralyň. Wagt birliginde kondensatoryň gapdal üsti boýunça energiýasynyň artmagynyň Poýtingiň wektorynyň akymyna deňdigini görkezmeli. Hasaplamalarda kondensatoryň gyralarynda elektrik meýdanynyň üýtgemesi hasaba alynmaýar.

Ç ö z ü l i ş i : Goý, kondensatoryň aşaky plastinasy položitel, ýokarkysy bolsa, otrisatel zarýadlandyrylan bolsun. Onda kondensatordaky elektrik meýdanynyň güýjenmesi ýokaryk ugrukdyrylýar we ol birhillidir. Sebäbi meseläniň şertine görä gyra hadysalary hasaba alynmaýar. Kondensatoryň plastinasyndaky zarýadyň artmagy bilen onuň döredýän elektrik meýdanynyň $\vec{E}$ güýjenmesi ulalýar. Plastinalaryň üstündäki magnit meýdanynyň $\vec{H}$ güýjenmesini kesgitlemek üçin Makswelliň integral görnüşindäki:

$$\oint \vec{H}d\vec{l} = \int_S \vec{j}d\vec{S} + \frac{d}{dt}\int_S \vec{D}d\vec{S} = \int_S \frac{d\vec{D}}{dt}d\vec{S} \qquad (1)$$



6.8-nji surat. Plastinalary tegelek kondensator

deňlemesinden peýdalanalyň. Soňky (1) aňlatmada kondensatoryň üstünden geçiriljek elektrik akymyň geçmeýändigi we magnit meýdanynyň diňe süýşme tok arkaly kesgitlenýändigi hasaba alyndy. Ýapyk integrirlenme kontury hökmünde 6.8-nji suratda üznükli çyzyk bilen görkezilen töweregi alalyň. Simmetriýa düşünjesinden ugur alynsa, magnit meýdanynyň güýjenmesiniň diňe silindrik üste geçirilen galtaşma boýunça onuň okuna perpendikulýar ugrukdyrylyp bilinjekdigi düşnüklidir. (1) deňligiň sag tarapynda integrirlenme R radiusly tegelegiň meýdany boýunça amal edilýär. Onda:

$$\oint \vec{H}d\vec{l} = H\int_0^{2\pi R} dl = 2\pi RH,$$

$$\int_S \frac{d\vec{D}}{dt}d\vec{S} = \pi R^2 \frac{dD}{dt} \quad \text{we} \quad 2\pi RH = \pi R^2 \frac{dD}{dt}.$$

Bu ýerden:

$$H = \frac{R}{2}\frac{dD}{dt}.$$

Poýtingiň $\vec{P} = [\vec{E} \times \vec{H}]$ wektory kondensatoryň içine tarap ugrukdyrylandyr. Onda kondensatoryň S gapdal üsti boýunça elektromagnit energiýasynyň N akymy $N = SP = 2\pi RhP = 2\pi RhEH$ bolar.

Indi $H = \frac{R}{2}\frac{dD}{dt}$ hasaba alyp:

$$N = \pi R^2 hE\frac{dD}{dt} = VE\frac{d}{dt}(\varepsilon_0 \varepsilon \mathrm{E}) = V\frac{d}{dt}\left(\frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2}\right) = V\frac{d\omega}{dt},$$

bu ýerde $V = \pi R^2 h$ – kondensatoryň göwrümi; $\omega = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon \mathrm{E}^2}{2}$ – kondensatoryň içindäki elektrik meýdanynyň energiýasynyň göwrümleýin dykyzlygy. Kondensatoryň doly elektrik energiýasynyň $W = V\omega$ deňdigini we $\frac{dW}{dt} = V\frac{d\omega}{dt}$ bolany üçin, gutarnykly alarys:

$$N = \frac{dW}{dt}.$$

Talyplaryň özbaşdak taýýarlyklaryny barlamak üçin ýumuşlar

1. Süýşme togunyň döreýşini düşündiriň.
2. Elektrik we magnit meýdanynyň arabaglanyşygy.
3. Makswelliň dört deňlemesiniň fiziki manysy. Elektrik we magnit meýdanynyň häsiýetnamasy.

Özbaşdak çözmek üçin meseleler

6.2-nji gönükme

6.21. Kese 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.

6.22. Plastinalary tekiz kondensator haýal zarýadlandyrylýar. Kondensatoryň gapdal üstünde Poýtingiň wektor akymynyň, kondensatoryň wagt birligindäki energiýasynyň artmasyna deňdigini görkezmeli. Kondensatoryň plastinalarynyň gyrasyndaky elektrik meýdanynyň ýaýramasy hasaba alynmaýar.

6.23. Uzyn silindr şekilli kondensatory tok çeşmesiniň EHG-si arkaly zarýadlandyrylýar. Kondensatoryň plastinalarynyň arasyndaky giňişligi doldurýan dielektrigiň süýşme togunyň zynjyrdaky EHG-niň toguna deňligini subut etmeli. Kondensatoryň uçlaryndaky meýdanyň üýtgemesi hasaba alynmaýar.

6.24. Kuwwatlylygy 500 *kWt* bolan radiostansiýa gije-gündiziň dowamynda 20 sagatlap energiýany şöhlelendirýär. Bu radiostansiýanyň 30 gije-gündiziň dowamynda şöhlelendirýän energiýasyna degişli bolan massasyny tapmaly.

6.25. 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 energiýasyna deňdigini görkezmeli.

6.26. 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 amplitudasy $E_0 = 1\, mV/m$. Tolkunyň periodynyň t-den kiçidigini ($T << t$) görkezmeli.

6.27. Tekiz kondensator iki sany tegelek geçiriji diskden ybarat bolup, onuň aralygynda birhilli gowşak geçiriji gurşaw ýerleşdirilen. Kondensator zarýadlandyrylyp, naprýaženiýe çeşmeden ýazdyrylan. Çetki hadysalary hasaba almazdan kondensatoryň içinde magnit meýdanynyň ýokdugyny görkezmeli.

6.28. Kondensatoryň plastinalary tegelek geçiriji disk görnüşinde bolup, onuň arasyndaky giňişlik γ udel geçirijilikli we ε dielektrik syzyjylykly birhilli gowşak ulgam bilen doldurylan. Plastinalaryň aralygy d. Eger, kondensatora $U = U_m \cos \omega t$ üýtgeýän naprýaženiýe berlen bolsa, onda çetki hadysalary hasaba almazdan, plastinalaryň merkezini birikdirýän okdan r aralykdaky magnit meýdanynyň güýjenmesini tapmaly.

6.29. Käbir inersial hasaplanyş ulgamyň çäginde ω burç tizligi bilen aýlanýan, induksiýasy $\vec{B}$ bolan magnit meýdany bar. Bu çäkde elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň üýtgemesini $\vec{B}$ we ω wektorlaryň funksiýasy hökmünde tapmaly.

6.30. Uzyn göni solenoidiň sarymyndan akýan tok ýeterlik haýal artýar. Solenoidiň magnit meýdanynyň energiýasynyň üýtgeýiş tizligini onuň gapdal üsti boýunça Poýtingiň wektor akymyna deňdigini görkezmeli.

MESELELERIŇ JOGAPLARY

1.1-nji gönükme

1.1. $F_{el}/F_{Gr} = 4 \cdot 10^{42}$; $m/q = 0{,}86 \cdot 10^{-10}$ *Kl/kg*.

1.2. $F = 2 \cdot 10^{15}$ *N*.

1.3. $q = 2786$ *SGSE zb*.

1.4. $\Delta T = \dfrac{qq_0}{8\pi^2 \varepsilon r^2}$.

1.5. $\vec{E} = 2{,}7\vec{i} - 3{,}6\vec{j}$; $E = 4{,}5$ *kV/m*.

1.6. $E = 50{,}4$ *kV/m*.

1.7. $Q = -\dfrac{q}{\sqrt{3}}$.

1.8. $E = \dfrac{qb}{\pi\varepsilon_0\left(b^2 + \dfrac{a^2}{2}\right)^{3/2}}$.

1.9. $E = \dfrac{q}{2\pi\varepsilon_0 R^2}$.

1.10. $E = \dfrac{qz}{4\pi\varepsilon_0 (a^2 + z^2)^{3/2}}$.

1.11. $E = \dfrac{qz}{4\pi\varepsilon_0 x\sqrt{l^2 + x^2}}$.

1.12. $E = \dfrac{q\sqrt{19}}{4\pi\varepsilon_0 R^2}$.

1.13. $E = \dfrac{4q}{3\sqrt{2}\,\pi\varepsilon_0 l^2}$.

1.14. $Q \geq 2\dfrac{mgd^2}{q}$.

1.15*. *Bissektrisa boýunça.*

1.16. $\rho = \dfrac{3q^2 \operatorname{ctg}\alpha/2}{64\pi^3\varepsilon_0^3 rgl^2 \sin^2\alpha/2} \approx 2 \cdot 10^2 \dfrac{kg}{m^3}$.

1. 2-nji gönükme

1.17. $E = \dfrac{\tau\sqrt{R}}{4\pi\varepsilon_0 d}$.

1.18. $q = \dfrac{mg}{2\pi\sigma}\mathrm{tg}\alpha$.

1.19. $E = \dfrac{8\tau d}{d_2+4h_2}$.

1.20. $E_{\mathrm{maks}} = \dfrac{\tau}{\pi\varepsilon_0 l}$.

1.21. a) $r < R \rightarrow E = \dfrac{\rho r}{3\varepsilon_0}\left(1 - \dfrac{3r}{4R}\right)$; $r > R \rightarrow E = \dfrac{\rho_0 R^3}{9\varepsilon_0}$;

b) $E_{\mathrm{mak}} = \dfrac{\rho_0 R}{9\varepsilon_0}$; $r_m = \dfrac{2}{3}R$.

1.22. a) $E = \dfrac{ql}{4\pi\varepsilon_0(r^2 + l^2)^{3/2}}$; $E = \dfrac{ql}{4\pi\varepsilon_0 l^2}$;

b) $E_{\mathrm{mak}} = \dfrac{\mathrm{q}}{6\sqrt{3}\,\pi\varepsilon_0 \mathrm{r}^2}$.

1.23. a) $E = \dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0\sqrt{a^2 + r^2}}$; b) $E = \dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0(a^2 + r^2)}$.

1.3-nji gönükme

1.24. a) E_c=1.4 kN/Kl; φ_c =840 V; E_{d}=0; φ_d =1,2 V.
b) güýjenmäniň ugry üýtgeýär, potensial nola deň;
E_D=4 kN/Kl; φ_D=0.
1.25. U=34 kV; A=1 mJ.
1.26. $r_0=5.0\cdot 10^{-14} m$.
1.27 $A=7,3\cdot 10^{-5} J$.
1.28. A=180 mkJ.
1.29. U=250V.
1.30. φ = 900 V.
1.31. W_n = – 63 mkJ.
1.32. W_p = 48.8 mkJ.
1.33. φ = 432 V.
1.34. 1) $\varphi = 0$; 2) $\varphi = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\dfrac{Q_1}{R_1} + \dfrac{Q_2}{R_2}\right)$;

3) $\varphi = \dfrac{Q_1 + Q_2}{4\pi\varepsilon_0 r}$.

1.35. $\varphi = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{q}{(R^2 + h^2)^{1/2}}$.

1.36. a) $\vec{E} = -\,2a(x\vec{i} - y\vec{j})$; b) $\vec{E} = -\,a(y\vec{i} + x\vec{j})$.

1.37. $\Delta\varphi_1$=200 V; $\Delta\varphi_2$ =150 V.

1.38. $\varphi = \dfrac{\sigma}{2\pi\varepsilon_0}[\sqrt{a^2 + R^2} - a]$.

1.39. $\varphi = \dfrac{\sigma R}{\pi\varepsilon_0}$.

1.40. $\varphi = \dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0\sqrt{R^2 + h^2}}$.

1.41. $\varphi = -\dfrac{\tau}{2\pi\varepsilon_0}\ln\eta = 5\ kV$.

1.42. $\varphi = \dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 l}$.

1.43. $\varphi = \dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0}(\dfrac{1}{r} - \dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2}) = 1\ kV$.

1.4-nji gönükme

1.44. C=0,025 mkF.
1.45. a) U=260 V; b) U=100 V.
1.46. C_4=6C_1;
1.47. U_2=400 V.
1.48. C=1,62 mkF.
1.49. C=4 mkF
1.50. a) $\sigma_1' = 5,6 \cdot 10^{-8} Kl/m^2$; $\sigma_2' = 4,2 \cdot 10^{-8} Kl/m^2$;

b) $q_1' = 4,6 \cdot 10^{-10} Kl$; $q_2' = 2,0 \cdot 10^{-10} Kl$.

1.51. $t = 1,2 \cdot 10^{-10} s$.

1.52. $C = \dfrac{\pi\varepsilon_0}{\ln(b/a)} = 7,1 pF$.

1.53. a) $C = \dfrac{\varepsilon_0 S}{\left(\dfrac{d_1}{r_1} + \dfrac{d_2}{r_2}\right)}$; b) $\tau' = \varepsilon_0 U(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)(\varepsilon_1 d_2 - \varepsilon_2 d_1)$.

1.54. $C = \dfrac{2\pi\varepsilon_0 \varepsilon l}{\ln(R_2/R_1)}$; $C = \dfrac{2\pi\varepsilon_0 a}{\ln(R_2/R_1)}$.

1.55. $C = 2\pi\varepsilon_0(1+\varepsilon)\dfrac{ab}{b-a}$.

1.56. $C = \dfrac{\pi\varepsilon_0}{\ln(b/a)}$.

1.5-nji gönükme

1.57. $R = \left(\dfrac{p}{4\pi\varepsilon_0 E_0}\right)^{1/3}$.

1.58. $E = \sqrt{E_r^2 + E_0^2} = \dfrac{p}{4\pi\varepsilon_0}\sqrt{1+3\cos^2\theta}$.

1.59. $A=2pE=30$ mkJ.

1.60. $F=p\dfrac{\partial E}{\partial x}=0{,}2$ mN.

1.61. $\dfrac{\partial E}{\partial r} = \dfrac{q}{2\pi\varepsilon_0 r^3} = 1{,}8 mV/m^2$; $F=\dfrac{qp}{2\pi\varepsilon_0 r^3}=9$ mkN.

1.62. $\left|\dfrac{\partial E}{\partial r}\right| = \dfrac{\tau}{2\pi\varepsilon 0 r^2} = 0{,}9 mV/m$; $F = p\dfrac{\partial E}{\partial r} = 3{,}9$ mkN.

2.1-nji gönükme

2.1. a) $\sigma_0 = \dfrac{\tau}{2\pi l}$; b) $\sigma = \dfrac{\tau}{2\pi(l^2+x^2)^{1/2}}$.

2.2. $A = \dfrac{q^2}{16\pi\varepsilon_0 l} = 0{,}15J$.

2.3. $F = \dfrac{(2\sqrt{2}-l)q^2}{8\pi\varepsilon_0 l^2}$.

2.4. $F = \dfrac{(2\sqrt{2}-1)q^2}{4\pi\varepsilon_0 l^2} = 8N$.

2.5. $\sigma = \dfrac{ql}{2\pi(R^2+l^2)^{3/2}}$; $\varphi = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\dfrac{q}{R} - \dfrac{q}{\sqrt{R^2+4l^2}}\right)$.

2.2-nji gönükme

2.6. $\varphi_1 = -\dfrac{\rho}{\varepsilon_0\varepsilon}\dfrac{x^2}{2}$; $\varphi_2 = \dfrac{\rho l^2}{\varepsilon_0} - \dfrac{\rho l^2}{2\varepsilon_0\varepsilon} - \dfrac{\rho l}{\varepsilon_0}x$.

2.7. $C = \dfrac{\varepsilon_0 S}{l - a} = 44nF$.

2.8. $\sigma^{erk} = 5,3\cdot 10^{-6}\ Kl/m^2$; $\sigma_{pol} = 4,4\cdot 10^{-6}\ Kl/m^2$.

2.9. $E_1 = \dfrac{U\varepsilon_2}{\varepsilon_2 l_1 + \varepsilon_1 l_2}$; $E_2 = \dfrac{U\varepsilon_1}{\varepsilon_2 l_1 + \varepsilon_1 l_2}$; $E_0 = \dfrac{U\varepsilon_1\varepsilon_2}{\varepsilon_2 l_1 + \varepsilon_1 l_2}$.

2.10. $P = 1,6 \,{}^{mkKl}\!/_{m^2}$; $\varepsilon = 1,17$.

2.11. $\chi = 1,27$; $\varepsilon = 1,00342$.

2.12. $C = \dfrac{\varepsilon_0 s}{d}\dfrac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{2}$.

2.13. $p = 2,4\cdot 10^{-37}\, Kl\cdot m$.

2.3-nji gönükme

2.14. $W=6\ (acb)^3$.

2.15. $A = \dfrac{q^2(1+1/2)}{4}\left(\dfrac{1}{R_1} - \dfrac{1}{R_2}\right)$.

2.16. $A = \dfrac{q}{8\pi\varepsilon_0}\dfrac{a-b}{ab}\angle 0$.

2.17. $A = \dfrac{q^2}{2\mu_0 S}(x_2 - x_1)$.

2.18. $W = W_1 + W_2 + W_3 = \dfrac{1}{4\grave{A}\mu_0}\left(\dfrac{q_1^2}{2R_1} + \dfrac{q_2^2}{2R_2} + \dfrac{q_1 q_2}{R_2}\right)$.

2.19. $W = \dfrac{3q^2}{20\pi\varepsilon_0 R}$; $\dfrac{W_1}{W_2} = \dfrac{1}{5}$.

3.2-nji gönükme

3.1. $I = 1{,}5\ mkA$.

3.2. $I=5\ nA$.

3.3. $q=50\ Kl$.

3.4. $E_1=1{,}7\cdot10^{-3}\ V/m$; $E_2=35\ V/m$.

3.5. $\rho=1{,}6\cdot10^{-6}\ Om\cdot m$.

3.6. $l=3{,}75\ m$; $U_{\text{iň uly}}=0{,}3\ V$.

3.7. $q= 20\ Kl$.

3.8. $j = 6{,}1\ {}^{mA}\!/\!{}_{m^2}$.

3.9. $R=18{,}8\ Om$.

3.10. $t=3\ ms$; $F=1\ MN$.

3.11. $R_{AB} = \frac{5}{6}R$.

3.12. $R_{DG} = \frac{7}{12}R$.

3.13. $I_{AC} = \frac{I}{2}$.

3.14. $\sigma=D\cos\alpha$; $j = \frac{D\sin\alpha}{\varepsilon_0\varepsilon\rho}$.

3.15. 1) $E = \frac{2\pi aI}{S^2}$; 2) $R_{\text{birl}} = \frac{E}{I} = \frac{2\pi a}{S^2}$.

3.3-nji gönükme

3.16. $R = 0{,}17\ Om$.

3.17. $d = 5{,}6\ mm$.

3.18. $R = \frac{R_1}{2} + \sqrt{\frac{R_1^2}{4} + R_1R_2} = 4Om$.

3.19. $R = \frac{5}{11}r$.

3.20. $\frac{R_1}{R_2} = 0{,}02675$.

3.21. $l_1 = 43{,}6\ l_2$.

3.22. $n = 4$.

3.23. $\alpha = \frac{\alpha_1 + n\alpha_2 + m\alpha_3}{1 + n + m}$.

3.24. $R = \frac{\rho}{2\pi}\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b}\right)$.

3.25. $R= \rho / (2\pi a)$.

3.4-nji gönükme

3.26. $I = 5{,}4\ A$.
3.27. $I = (\varepsilon\text{-}1)\varepsilon_0\ \upsilon b/d$.
3.28. $P = 12\ Wt$.
3.29. $\varepsilon = 34\ V$; $r = 1{,}4\ Om$.
3.30. $\varepsilon = 4.1\ V$; $r = 0{,}05\ Om$.
3.31. $U_W = U\dfrac{R_W lx}{R_0 lx + R_W l^2 - R_o x^2}$.

3.32. $R = 3r$.
3.33. $\varepsilon = 12\ V$.
3.34. $I = I_0 e^{-\eta t/RC}$, bu ýerde $I_0 = (\eta\text{-}1)\ \varepsilon/R$.
3.35. $q_1 = \dfrac{RC}{R + R_0}(\varepsilon - \varepsilon_0)$.
3.36. $U_2 = \dfrac{\varepsilon \mathrm{P}_1}{R_1 + R_3 + r} \cdot \dfrac{C_1}{C_2 + C_1} = 0{,}2V$.

3.5-nji gönükme

3.37. $I_A = 0{,}5\ A$.
3.38. $\tau = 9{,}2 \cdot 10^{-3} s$.
3.39. $R_1 = 470\ Om$.
3.40. $U_w = 80V$.
3.41. $I = 0{,}57\ A$; $U_w = U = 110\ V$.
3.42. $U_w = 35{,}6\ V$; I = 0.089 A.
3.43. $U_{\text{iň uly}} = 1000\ V$.
3.44. $r_ş = 250\ Om$.
3.45. Ölçeýji abzala $r_ş$ =0,5 *Om m* garşylygy parallel birikdirmeli.
3.46. Ululygy $r_ş$ = 0,5 *Om* bolan garşylygy abzala parallel birikdirmeli.
3.47. $I_0\ 2A$.
3.48. $I_2 = \dfrac{\varepsilon}{(R_1 + R_2)}$.

3.49. $I_1 = 6{,}4\ A$; I_2=5,8 A; I=0,6 A.
3.50. $I = 0{,}63\ A$.
3.51. I_1=3 A; I_2=4 A; I_3=1A.

3.52. $I_1 = 0{,}8A$; $I_2 = 0{,}3A$; $I_3 = 0{,}5A$

3.53. $\varepsilon_2 = 4V$.

3.54. $I \approx 0{,}89\ A$; $I_1 \approx 0{,}47\ A$; $I_2 \approx 0{,}42\ A$.

3. 6-njy gönükme

3.55. $q \approx 46\ Kl$.

3.56. a) $Q = 3{,}25\ J$;

3.57. $A_{\text{meh}} = \frac{1}{2}(t - 1)C_0U^2$.

3.58. $Q = \frac{4\pi\gamma}{\varepsilon}\sum q_k\varphi_k$.

3.59. a) $t_{\text{yzyg}}. = 30\ min$; b) $t_{\text{gapdal}}. = 7\ min$.

3.60. $t = 9{\cdot}10^3\ s$.

3.61. $P = 4{\cdot}10^8\ Wt/m^3$.

3.62. $P_1 = \frac{\rho_1 d_1 SU^2}{(\rho_1 d_1 + \rho_2 d_2)}$; $P_2 = \frac{\rho_2 d_2 SU^2}{(\rho_1 d_1 + \rho_2 d_2)^2}$.

3.63. $P_1 = \frac{U^2 R_1}{(R_1 + R_2)^2}$; $P_2 = \frac{U^2 R_2}{(R_1 + R_2)^2}$,

bu ýerde $R_1 = \frac{\rho_1 \ln(r_2 / r_1)}{2\pi l}$; $R_2 = \frac{\rho_2 \ln(r_3 / r_2)}{2\pi l}$.

3.64. $p = 0{,}25.\ mWt$.

3.65. $p_{\text{iň uly}} = 15Wt$.

3.66. $p = 1{,}68\ kWt$.

3.67. $n = 23$.

3.68. $S = 40\ mm^2$.

3.69. $p = \frac{100 + n}{10(1 + n)}$.

3.70. $p_1 = I\varepsilon - I^2 r$. Grafigi parabola; $I_{\text{in uly}} = \varepsilon/(2r)$ bolanda ($p = p_{\text{iň uly}}$).

3.71. $P_{\text{iň uly}} \approx 18\ Wt$.

3.72. $P_{\text{iň uly}} \approx 33\ Wt$; $\eta = 50\%$.

3.73. $R = r$; $P_{\text{iň uly}} = 1{,}25\ Wt$.

3.74. 1). $P_1 / P_2 \geq 4$; 2). $P_1 / P_2 = 4$.

3.75. $T - T_0 = \frac{U^2}{kR}(1 - e^{-\frac{KT}{C}})$.

3.7-nji gönükme

3.76. ε =15 V; r = 4,5 Om; I=0,6 A.

3.77. r_{AB}=3Om; ε =35V.

3.78. a) U = 0; b) Eger elementleriň sany täk bolsa U= ε_1; Eger elementleriň sany jübüt bolsa U =0.

3.79. n= 59.

3.80. I = 20 A-den ýokary tok alyp bolmaz.

3.81. U_1 = 9 V , U_2 = 1 V; 2) Şol bir kuwwat dürli garşylykdan bölünip bilýär; R_1= 9 Om; R_2= 1/9 Om.

3.82. $P_{\text{iň uly}}$ = 25 Wt; $R = r$.

3.83. $P_p = eI = (eU - e)^2/r;\ P = I^2 r = (U - e)^2/r.$

4.1-nji gönükme

4.1. $< \upsilon >= 5 \cdot 10^{-5}\, m/s.$

4.2. $< \upsilon >= 3,7 \cdot 10^{-6}\, m/s.$

4.3. $< \upsilon >= 10^{-4} m/s.$

4.4. $E = 5 \cdot 10^{-2}\, V/m.$

4.5. $N = 1.27 \cdot 10^{19} s^{-1}.$

4.6. E = 0.1 V/m.

4.7. $F = e\dfrac{I\rho}{S}.$

4.8. $I = 1,05 \cdot 10^{-3} A.$

4.9. $K = 0,4\, mkN \cdot s.$

4.2-nji gönükme

4.10. Hawa goparylar, $\upsilon = 0,833 \cdot 10^{6} m/s.$

4.11. d = 4,3mm.

4.12. $j_2/j_1 = 2,6.$

4.13. $\upsilon = 0,987 \cdot 10^{6}\, m/s.$

4.14. υ = 59,5·10 ^{6} m/s; W=10,0 keV.

4.15. N = 6,25·10^{16} elektron.

4.16. n = 10 11 m^{-3}.

4.17. $q_{\text{iň uly}}$ = 5,5·10^3 Kl.

4.18. $I = 80\ mkA$.
4.19. $t_1 = 1015^0 C$.
4.20. $\varepsilon = 25{,}0\ mV$.
4.21. $R_g = 2{,}0\ kOm$.
4.22. $U = 730\ mV$.
4.23. $U = 40\ mV$.
4.24. n =89,5 *böl*; T=8,7 K.

4.3-nji gönükme

4.25. $M = 65{,}4\ 10^{-3}\ kg/mol$.
4.26. $Z_{Fe} = 3$.
4.27. $m = 0{,}83\ g$.
4.28. $h = 54\ mkm$.
4.29. $m = 6{,}6\ mg$.
4.30. $N = 9.3\ 10^{12}$ *atom*.
4.31. $m_2 \approx 1{,}71\ m_1$.
4.32. $t_1 = 8{,}1$ *sag* ; $P = 2{,}8\ mWt$.
4.33. $T = 309{,}7\ K$.
4.34. $\eta = 53{,}0\%$.
4.35. Ýok. Ampermetr $I = 4{,}3\ A$ tok güýjüni görkezmeli.
4.36. t ≈ 9 *sag* 32 *min*.
4.37. W =134 MJ.
4.38. R=3.4 $\cdot 10^{14}$ Om.
4.39. $n = 2 \cdot 10^{9}\ sm^{-3}$.
4.40. $J_{\text{doýg}} = 8 \cdot 10^{-16}\ A$.
4.41. $n = 1{,}4 \cdot 10^{12}\ m^{-3}$.
4.42. a) $j = 2{,}4 \cdot 10^{-17} A/m^2$; b) $I_+ / I = 10^{-4}$.
4.43. $U = 1{,}46 \cdot 10^{-6}\ V$.
4.44. $I_{\text{doyg}} = 9.92 \cdot 10^{-8}\ A$.
4.45. $j = 4{,}8 \cdot 10^{-12} A/m^2$.
4.46. $n = 3.4 \cdot 10^{14}\ m^{-3}$.

4.4-nji gönükme

4.47. $\Delta E = 1{,}1 eV.$
4.48. $T_0 = 294\ K.$
4.49. $T_2 = 2073\ K.$
4.50. $j = 3{,}4\ 10^{-4}\ A/mm^2.$
4.51. $n = 21\ 10^{18}\ m^{-3}.$
4.52. $\gamma = 2{,}04\ A/(Vm)$; $E = 490\ V/m.$
4.53. $j_2 / j_1 = 2{,}4\ esse.$

5.1-nji gönükme

5.1. $B_0 = B_{DC} - B_{AC} = \left(\frac{\sqrt{3}}{4\pi} - \frac{1}{12}\right)\frac{\mu_0 I}{r} = 6{,}9 mkTl.$

5.2. $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{a_1^2} + \frac{1}{a_2^2} - \frac{2}{a_1 a_2}\cos\varphi}$;

$\cos\varphi = \frac{a^2 - (a_1^2 + a_2^2) + 2a_1 a_2}{4a_1 a_2}.$

5.3. a) $B = \mu_0 I / (2R) = 6{,}3 mkTl;$

b) $B = \mu_0 R^2 I / 2(R^2 + x^2)^{3/2} = 2{,}3 mkTl.$

5.4. $B = (2S\rho g)\mathrm{tg}\alpha / I = 9{,}3 \cdot 10^{-3} Tl.$

5.5. $\begin{cases} B_A = \frac{\mu_0}{2\pi}\left(\frac{I_1}{l_1} + \frac{I_2}{l_2}\right); \\ B_K = \frac{\mu_0}{2\pi}\left(\frac{I_1}{l_1} - \frac{I_2}{l_2}\right). \end{cases}$

5.6. $U = \frac{\mu_0 \mu \pi l^2 \rho}{BS}.$

5.7. $B_A = \frac{\mu_0}{2\pi}\left(\frac{I_1}{l_1 + d} + \frac{I_2}{d}\right).$

5.8. $B = B_1 = \frac{\mu_0}{2\pi l} I.$

5.9. $B = \frac{2\mu_0 I}{\pi ab}\sqrt{a^2 + b^2}$.

5.10. $\frac{B_{\text{ind}}}{B_{\text{halk}}} = 8\frac{\sqrt{2}}{\pi^2} = 1,15$ *esse*.

5.11. $H = H_1 + H_2 = \frac{I_1}{2\pi r} + \frac{I_2}{2\pi r} = 60\frac{A}{m}$.

5.12. $B = \frac{2\mu_0 I}{3\pi a} = 13,3 mkTl$.

5.13. $H_1 = \frac{Hr^3}{(r^2 + h^2)^{3/2}} = 15,4\frac{A}{m}$.

5.14. $B = \frac{\mu_0 I}{2r^3}R^2 = 62,8 mkTl$.

5.15. $B_0 = \frac{(\pi - \varphi + \mathrm{tg}\varphi)}{2\pi r}\mu_0 I = 28 mkTl$.

5.16. a) $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi}\left(\frac{2\pi - \alpha}{a} + \frac{\alpha}{b}\right)$;

b) $B = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\left(\frac{3\pi}{4a} + \frac{\sqrt{2}}{b}\right)$.

5.17. $I = \frac{2BR}{\mu_0 \sin^3\beta} = 305A$.

5.18. $a = BI/(\rho S) = 2,5\, m/s^2$.

5.19. $U = BR/(\mu_0 \mu I n) = 720V$.

5.20. $\begin{cases} B_1 = \mu_0 I/(2\pi r_1) = 20 mkTl; \\ B_2 = \mu_0 (I - I) = 0. \end{cases}$

5.21. $H_{n\langle R} = {I_2 r_1}/{(2\pi R^2)}$; $H_{r_2\rangle R} = {I}/{(2\pi r_2)}$.

5.22*. $\begin{cases} \vec{B} = -\mu_0 j_s \frac{\vec{e}_y}{2}, x < 0 \textit{ bolanda;} \\ \vec{B} = \mu_0 j_s \frac{\vec{e}_y}{2}, x > 0 \textit{ bolanda}. \end{cases}$

5.2-nji gönükme

5.23. B_1 =1,07 *Tl*; B_2=1,37 *Tl*;
$\mu_1 = B/(\mu_0 H) = 1700;\ \mu_2 = 730;$
$J_1 = B/\mu_0 - H = 0,85\,mA/m; J_2 = 1,09\,mA/m.$

5.24. $I = \frac{H}{n} + \frac{B_0 l_0}{\mu_0 \pi dn} = 1,32A.$

5.25. $L = \sqrt{L_1 L_2}$.

5.26. $L = \mu_0 \frac{R^2 S^2}{4\pi l\rho}.$

5.27. $\frac{n_1}{n_2} = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}} = 4\ esse.$

5.28. $H = \frac{2KI}{\pi(d_1 + d_2)}; B = \mu_0 H = \mu_0 \frac{2KI}{\pi(d_1 + d_2)}.$

5.29. $B = \mu_0 \mu n I.$

5.30. $B = \mu_0 \mu n I = \mu_0 \mu IK/(2\pi a).$

5.31. $B = B_0 \sqrt{\cos^2 \alpha_0 + \mu^2 \sin^2 \alpha_0}.$

5.32. $I' = (\mu - 1)H = (\mu - 1)I/(2\pi r).$

5.33. $B = \mu_0 \mu I/[(1 + \mu)\pi r].$

5.34. W=10 *J*.

5.35. $W = KIN/2 = 50mJ.$

5.36. W=0,15 *J*.

5.37. $\mu = 2 \cdot 10^3.$

5.38. $1,6 \cdot 10^3 esse.$

5.39. $\omega = 1,1kJ/m^3.$

5.40*. $p_m = \frac{\pi\sigma\omega R^4}{4}, B = \mu_0 \frac{\sigma\omega R}{2}.$

5.41*. $\int_{-\infty}^{+\infty} B_x(x)dx = \mu_0 I.$

5.3-nji gönükme

5.42. $E = \dfrac{2d \cdot U}{l - L}$.

5.43. $\mathrm{tg}\alpha = \dfrac{eE}{m\upsilon^2} l = 0,19; \alpha = 11°$.

5.44. $\upsilon = \sqrt{\upsilon_0^2 + \left(\dfrac{eEl}{m\upsilon_0}\right)^2} = 1,3 \cdot 10^7 \dfrac{m}{s}$;

$y = h = \dfrac{eE}{2m\upsilon_0^2} l^2 = 2,2 \cdot 10^{-2}$; $\mathrm{tg}\alpha = \dfrac{eE}{m\upsilon^2} l = 0,9; \alpha = 42°$.

5.45. $h = \dfrac{m}{2V}\left[\left(g \pm \dfrac{qU}{md}\right)\left(\dfrac{l^2}{2} + Ll\right) + \dfrac{gL^2}{2}\right]$;

$h_{el.} = \pm \dfrac{1}{2V}\left[\dfrac{eU}{d}\left(\dfrac{l^2}{2} + Ll\right)\right]$.

5.46. $\upsilon = \sqrt{\dfrac{Uel}{md} \dfrac{\mathrm{tg}\beta}{\cos\alpha}}$; $W = \dfrac{m\upsilon^2}{2} = \dfrac{\mathrm{Ue}}{d} \dfrac{\mathrm{tg}\beta \cos\alpha}{\cos^2\beta}$.

5.47. $U = \dfrac{m\upsilon^2 d \cdot \mathrm{tg}\alpha}{el} \approx 79,96\ V$.

5.48. $\upsilon = \sqrt{\dfrac{2eU}{m}} = 5,95 \cdot 10^6 \dfrac{m}{s}$.

5.49. $r = \dfrac{m\upsilon}{\mu_0 eH}$.

5.50. $\dfrac{e}{m} = \dfrac{2\Delta U}{B^2 r^2}$.

5.51. $r = \dfrac{1}{B}\sqrt{\dfrac{2m_e U}{e}}$.

5.52. $F = \dfrac{2W_k}{r}$.

5.53. $F = \dfrac{B^2 e^2 r}{m}$.

5.54. $\nu = \dfrac{eB}{2\pi m}$.

5.55. $I = \frac{e^2 B}{2\pi m}$.

5.56. $\frac{q}{m} = \frac{E^2}{2UB^2} = 10^8 \frac{Kl}{kg}$.

5.57. $r = \frac{l^2 eE}{2m\upsilon_0^2} = 3,3 \cdot 10^{-3} m$; $h = \upsilon_0 T = \frac{2\pi m\upsilon_0}{eB} = 2,4 \cdot 10^{-2} m$.

5.58. $r = \frac{\upsilon \sin\alpha}{eB/m} = 7 \cdot 10^{-2} m$; $h = \frac{2\pi\upsilon \sin\alpha}{eB/m} = 79 \cdot 10^{-2} m$.

5.4-nji gönükme

5.59. $\Delta I / \Delta t = |\varepsilon| / L = 800 A/s$.

5.60. $B = \frac{k \cdot m \cdot g}{I \cdot l} = 6,6 \cdot 10^{-2} Tl$.

5.61. $\varepsilon = B\pi r^2 / \Delta t = 78,5 \cdot 10^{-3} V$.

5.62. $\varepsilon_0 = 2\pi\nu BS$.

5.63. $\varepsilon = -\pi d^2 K(B_2 - B_1)/(4\Delta t)$.

5.64. $\varepsilon = -Bl\upsilon$.

5.65. $\varepsilon_0 = 2\pi BKS\nu$.

5.66. $a = -\frac{\Delta\varepsilon/\Delta t}{Bl\sin\alpha} = -100 m/s^2$.

5.67. $\varepsilon = -Bl dx/dt = -Bl\upsilon = -2,5 \cdot 10^{-2} V$.

5.68. $\varepsilon = \pi r^2 \nu B$; $q = \pi r^2 BK/R$; $Q = \pi^2 r^4 \nu B^2 K/R$.

5.69. $U = \pi l^2 Bn = 101 mV$.

5.70. $I = \frac{B\upsilon l}{R + R_1 R_2/(R_1 + R_2)}$.

5.71. $\varepsilon = -yB\sqrt{\frac{2a}{k}}$.

5.72. $q = \frac{\mu_0 aI}{2\pi R} \ln\frac{b + a}{b - a}$.

5.73. $\upsilon = \upsilon_0 e^{-at}$; $a = \frac{B^2 l^2}{mR}$.

5.74. $I_1 = \frac{\varepsilon}{R}\frac{L_2}{L_1 + L_2}$; $I_2 = \frac{\varepsilon}{\mathrm{R}}\frac{L_1}{L_1 + L_2}$.

5.75. $q = \frac{Bm}{4\pi\rho\rho_1} = 0,053Kl.$

5.76. $\begin{cases} I_1 = \frac{\varepsilon \pm Bl\upsilon}{R+r}; \\ \\ I_2 = \frac{\varepsilon}{R+r}; \end{cases} \begin{pmatrix} I'_1 = 4A; I'_2 = 12A \\ \\ I_1/I_2 = 2 \ esse \end{pmatrix}.$

5.77*. $d = \frac{1}{2}\sqrt[4]{\frac{\pi^2 B_0^2 \alpha^2 \upsilon}{mgR}}.$

6.1-nji gönükme

6.1. $\begin{cases} I_{rez} = \frac{\varepsilon}{R} = 1,5A; \qquad U_R = I_{rez}R = 30V; \\ \\ U_L = \frac{\varepsilon\omega L}{R} = 150 \ V; \quad U_C = I_{rez}\frac{1}{\omega C} = 150 \ V. \end{cases}$

6.2. $\begin{cases} I_C = \varepsilon\omega C = 0,33A; \\ \\ I_{RL} = \frac{\varepsilon}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \approx \frac{\varepsilon}{L\omega} = 0,3A; \\ \\ I = I_C - I_{RL} = 0,03A. \end{cases}$

6.3. $I_{\text{t.ed.}}$=0,515 A.

6.4. Q=26 kal.

6.5. $\begin{cases} I = \frac{U}{R_C} = 9 \cdot 10^{-3}A; \ \ R_c = \frac{C_1 + C_2}{\omega C_1 C_2} \\ U_1 = \frac{UC_2}{C_1 + C_2} = 73,3V; \ U_2 = \frac{UC_1}{C_1 + C_2} = 146,7V. \end{cases}$

6.6. $\begin{cases} \frac{R_0}{R} = \frac{l\rho}{\sqrt{\rho^2 l^2 + (\pi\nu\mu_0 NrS_1)^2}}; \\ \\ \frac{R_L}{R} = \frac{\pi\mu_0 \nu rNS_1}{\sqrt{\rho^2 l^2 + (\pi\nu\mu_0 Nr)^2}}. \end{cases}$

6.7. $U_{AD} = \sqrt{U_{BS}^2 + (U_{AB} - U_{SD})^2} = 25V$.

6.8. $I = \sqrt{\dfrac{2\omega lS}{L}} = 1,55A$.

6.9. $L = \dfrac{U_0}{2I\pi\nu_0} = 0,1Gn$.

$$6.10.\ \begin{cases} \cos\varphi \approx 0,54;\ \mathrm{tg}\varphi = \dfrac{\omega L - \dfrac{1}{\omega C}}{R}, \Rightarrow \varphi = 57°; \\ \\ P = IU\cos\varphi = \dfrac{I_0}{\sqrt{2}} = \dfrac{U_0}{\sqrt{2}}\cos\varphi = 134Wt. \end{cases}$$

6.11. $\nu = \dfrac{\sqrt{2U_{tas.ed.}^2 - I_0^2R^2}}{2\pi LI_0} = 61Gs$.

6.12. $I(t) = \dfrac{U_o}{\sqrt{R^2 + \omega^2L^2}}\left[\cos(\omega t - \varphi) - e^{\frac{-R}{L}t}\cos\varphi\right]$;

haçanda $t \to \infty, I(t) \sim \cos(\omega t - \varphi)$.

6.13. $\mathrm{tg}\varphi = -\sqrt{\left(\dfrac{U_0}{I_0R}\right)^2 - 1}$.

6.14. $\omega_{rez} = \sqrt{\omega_1\omega_2}$.

6.15. $I_0 = \dfrac{U_0}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \dfrac{1}{\omega C}\right)^2}}$.

6.16. $U_0 = 2U = 20\ V;\ \omega = 628s^{-1};\ \nu = 100\ Gs$.

6.17. X_{L1}=157 *Om*; X_{C1}=3,18 *Om*; Z_1=3,33 *Om*;
X_{L2} = 31,4 *Om*; X_{C2}=15,9 *Om*; Z_2=31,4 *Om*.

6.18. $P_L = \dfrac{(U_2^2 - U_1^2)}{2R} = 30Wt$.

6.19. *Ramkanyň tekizligi meýdanyň ugruna perpendikulýar bolanda.*

6.20. *Ramkanyň tekizligi meýdanyň ugry bilen burç emele getirende.*

$$\varphi = \operatorname{arctg}\left(\frac{\omega L - \dfrac{1}{\omega C}}{R}\right).$$

6.2-nji gönükme

6.21. $\dfrac{W_m}{W_e} = 5 \cdot 10^{-15}$.

6.22. $dW = d\left(\dfrac{ED}{2}V\right)$.

6.23. $I_{\text{süýş}} = I$.

6.24. $m = 96$ *mg*.

6.25. $N=IU$.

6.26. $W = \dfrac{1}{2}\sqrt{\dfrac{\varepsilon_0}{\mu}} \cdot E_0^2 St = 8 \cdot 10^{-11} J$.

6.27. *Kondensatoryň içinde süýşme tokdan başga-da geçiriji toguň bardygyny göz öňünde tutmaly.*

6.28. $H=H_m\cos(\omega t+\alpha)$, *bu ýerde* $H_m = \dfrac{rU_m}{2d}\sqrt{\sigma^2 + (\varepsilon_0 \varepsilon \omega)^2}$;

$\alpha = \operatorname{arctg}(\varepsilon_0 \varepsilon \omega / \gamma)$.

6.29. $\Delta E = (\omega B)$.

GOŞMAÇA MAGLUMATLAR

1. Esasy fiziki hemişelikler

1	2
Ýagtylygyň wakuumdaky tizligi	$c = 2{,}998 \cdot 10^{8}\ m/s$
Grawitasia hemişeligi	$\gamma = 6{,}67 . 10^{-11}\ m^{3}/kg$
Awogadronyň hemişeligi	$N_A = 6{,}02 . 10^{23}\ mol^{-1}$
Uniwersal gaz hemişeligi	$R = 8{,}31 J/(mol \cdot K)$
Bolsmanyň hemişeligi	$k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}\ J/K$
Faradeýiň hemişeligi	$F = 9{,}65 . 10^{4}\ Kl/mol$
Elektronyň zarýady	$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ Kl$
Elektronyň udel zarýady	$e/m = 1{,}76 \cdot 10^{11}\ Kl/kg$
Elektrik hemişeligi	$\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}\ F/m$
Magnit hemişeligi	$\mu_0 = 1{,}26 \cdot 10^{-6}\ Gn/m$
Plankyň hemişeligi	$h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}\ J \cdot s =$ $= 4{,}14 \cdot 10^{-15}\ eV \cdot s$

2. Onluk goşulmalar

Atlary	Belgilenilişi	Esasy birlige gatnaşygy	Atlary	Belgilenilişi	Esasy birlige gatnaşygy
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. Maddalaryň dielektrik syzyjylygy

Maddalaryň atlary	Dielektrik syzyjylygy	Maddalaryň atlary	Dielektrik syzyjylygy
Suw	81,0	Polietilen	2,3
Howa	1,00058	Şepbik	7,5
Parafin	2,1	Spirt	26
Ýag	2,5	Farfor	6,0
Kerosin	2,0	Ebonit	2,7
Aýna	6,0 -7,0		

4. Käbir metallaryň we erginleriň $t = 20°C$ temperaturadaky udel garşylyklary we garşylygyň termiki koeffisiýentleri

Maddalar	ρ_0, 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) (*mg/Kl*)

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 (C_r)……......0,018

6. Gazlardaky ionlaryň çakganlygy (süýşüjiligi) $(m^2/(V \cdot s))$

Gazlar	Položitel ionlar	Otrisatel ionlar
Azot	$1,27 \cdot 10^{-4}$	$1,81 \cdot 10^{-4}$
Wodorod	$5,4 \cdot 10^{-4}$	$7,4 \cdot 10^{-4}$
Howa	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$

7. Dia we paramagnitleriň magnit kabul edijiligi

Paramagnetikler	$\mu, 10^{-6}$	Diamagnitler	$\mu, 10^{-6}$
Azot	0,013	Wodorod	0,063
Howa	0,38	Benzol	7,5
Kislorod	1,9	Suw	9,0
Ebonit	14	Mis	10,3
Alýuminiý	23	Aýna	12,6
Wolfram	176	Kwars	15,1
Platina	360	Wismut	176

8. Elektrik we magnit ululyklaryň birlikleri

№	Ululygyň ady	Kesgitlenýän deňlemesi	Atlandyrylyşy	Belgilenilişi
1	**2**	**3**	**4**	**5**
1	Elektrik zarýadyň mukdary	$Q = It$	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 naprýaženiýe	$U = \varphi_1 - \varphi_2$	Wolt	*V*
5	Elektrik meýdanynyň potensialy	$\varphi = \frac{A}{Q}$	Wolt	*V*

6	Elektrik meýdanynyň güýjenmesi	$E = \frac{F}{q}$	Metrden wolt	*V/m*
7	Elektrik sygym	$C = \frac{Q}{U}$	Farada	*F*
8	Elektrik garşylyk	$R = \frac{U}{I}$	Om	*Om*
9	Udel elektrik garşylyk	$\rho = \frac{R}{l}S$	Om metr	*Om m*
10	Elektrik geçiri-jilik	$G = \frac{1}{R}$	Simens	*Sm*
11	Udel elektrik 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 kilogram	*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	Induktiwlilik	$L = \left\| \frac{\varepsilon}{I\Delta t} \right\|$	Genri	*G*
18	Işjeň kuwwat	$P = \frac{A}{t}$	Wat	*Wt*
19	Işjeň däl kuwwat	$P = IU\cos\varphi$	Wat	*Wt*
20	Doly kuwwat	$P=IU$	Wolt-amper	$V \cdot A$
21	Maddalaryň mag-nit syzyjylygy	$\mu = \frac{B}{B_0}$		

9. 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

10. Käbir elementar bölejikleriň esasy häsiýetnamalary

Bölejikler	**Bellenilişi**	**Zarýady, 10^{-19} *Kl***	**Massasy, 10^{-27} *kg***
α -Bölejik	${}_{2}^{4}\alpha$	3,2	6,6446
Neýtron	${}_{0}^{1}n$	0	1,6749
Pozitron	${}_{1}^{0}e$	1,6	0,000911
Proton	${}_{1}^{1}p$	1,6	1,6726
Elektron	${}_{1}^{0}e$	-1,6	0,000911

11. Käbir matematiki aňlatmalar

$\sin^2\alpha + \cos^2\alpha = 1$	$\sin\alpha = \dfrac{1}{(1+\mathrm{ctg}^2\alpha)^{1/2}}$
$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin\alpha\cos\beta \pm \cos\alpha\sin\beta$	$\cos\alpha = \dfrac{1}{(1+\mathrm{tg}^2\alpha)^{1/2}}$
$\cos(\alpha \pm \beta) = \cos\alpha\cos\beta \mp \sin\alpha\sin\beta$	$\sin\left(\dfrac{\alpha}{2}\right) = \left(\dfrac{1-\cos\alpha}{2}\right)^{1/2}$
$\mathrm{tg}(\alpha \pm \beta)\ \dfrac{\mathrm{tg}\alpha \pm \mathrm{tg}\beta}{1-\mathrm{tg}\alpha + \mathrm{tg}\beta}$	$\exp(i\alpha) = \cos\alpha + i\sin\alpha$
$\sin\alpha + \sin\beta = 2\sin\dfrac{\alpha+\beta}{2}\cos\dfrac{\alpha-\beta}{2}$	$\sin\alpha = (e^{i\alpha} - e^{-i\alpha})/2i$
$\sin\alpha - \sin\beta = 2\cos\dfrac{\alpha+\beta}{2}\sin\dfrac{\alpha-\beta}{2}$	$\cos\alpha = (e^{i\alpha} + e^{-i\alpha})/2$
$\cos\alpha + \cos\beta = 2\cos\dfrac{\alpha+\beta}{2}\cos\dfrac{\alpha+\beta}{2}$	
$\cos\alpha - \cos\beta = 2\sin\dfrac{\alpha-\beta}{2}\sin\dfrac{\alpha-\beta}{2}$	

$\int\limits_0^\infty x^n e^{-x} dx = \begin{cases} 1, \ n = 0 \\ \sqrt{\dfrac{\pi}{2}}, n = 1/2 \\ 1, \ n = 1 \\ 2, \ n = 2 \end{cases}$	$\int\limits_0^\infty x^n e^{-x^2} dx = \begin{cases} \sqrt{\pi}, \quad n = 0 \\ 1/2, \quad n = 1 \\ \sqrt{\pi}/4, n = 2 \\ 1/2, \quad n = 3 \end{cases}$
$\int\limits_0^\infty \dfrac{x^n dx}{e^x - 1} = \begin{cases} 2,31; \ n = 1/2 \\ \dfrac{\pi^2}{6}, \ n = 1 \\ 2,405, n = 2 \\ \dfrac{\pi^4}{15}, \ n = 3 \\ 24,9; \ n = 4 \end{cases}$	$\int\limits_0^\infty \dfrac{x^3 dx}{e^x - 1} = \begin{cases} 0,225, \ \alpha = 1 \\ 1,18, \ \alpha = 2 \\ 2,56, \ \alpha = 3 \\ 4,91, \ \alpha = 5 \\ 6,43, \ \alpha = 10 \end{cases}$

12.Ýakynlaşan hasaplamalar üçin aňlatmalar

$$\frac{1}{1 \pm x} \approx 1 \pm x, \quad x < 0,031.$$

$$(1 \pm x)^{1/2} \approx 1 \pm \frac{1}{2}x, \ x < 0,085.$$

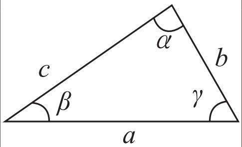
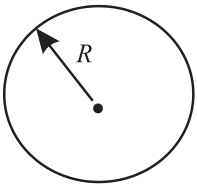
$$\exp(\pm x) \approx 1 \pm x + \frac{1}{2}x^2, \ x < 0,045.$$

$$\ln(1 \pm x) \approx 1 \pm x, \ x < 0,045.$$

$$\sin x \approx x - \frac{1}{6}x^3, \ x < 0,077 rad(4,4^\circ).$$

$$\cos x \approx 1 - \frac{1}{2}x^2, \ x < 0,387 rad(22,2^\circ).$$

13. Üçburçluklardaky we tegeleklerdäki käbir gatnaşyklar

	Kosinuslar teoremasy		***Sinuslar teoremasy***	
	$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \times \cos\alpha$ $b^2 = c^2 + a^2 - 2ca \times \cos\beta$ $c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \times \cos\gamma$		$\frac{\sin\alpha}{a} = \frac{\sin\beta}{b} = \frac{\sin\gamma}{c}$	
	*Duganyň uzynlygy* (l) $l = \alpha R$	*Töweregiň uzynlygy* (l) $l = 2\pi R$ $\alpha = 2\pi$	*Sektoryň meýdany (S)* $S = \frac{\alpha R^2}{2}$	*Tegelegiň meýdany (S)* $S = \pi R^2$

14. Trigonometrik funksiýalaryň käbir bahalary

Trigonometrik funksiýa	**Trigonometrik funksiýalaryň trigonometrik tegelekdäki alamatlary**	**Argumentiň bahasy**							
		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°	30°	45°	60°	90°	180°	90°±β	180°±β
		Trigonometrik funksiýalaryň bahalary						Getirilen funksiýa	
$\sin\alpha$	II +, I +, III –, IV –	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1	0	$\mp\cos\beta$	
$\cos\alpha$	II –, I +, III –, IV +	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{1}{2}$	0	– 1	$\mp\sin\beta$	
$tg\alpha$	II –, I +, III +, IV –	0	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	1	$\sqrt{3}$	–	0	$\mp ctg\beta$	
$ctg\alpha$	II –, I +, III +, IV –	–	$\sqrt{3}$	1	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	0	–	$\mp tg\beta$	

PEÝDALANYLAN EDEBIÝATLAR

1. Türkmenistanyň Prezidentiniň ýurdumyzy 2019–2025-nji ýyllarda durmuş-ykdysady taýdan ösdürmegiň Maksatnamasy. – A.: Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2019.
2. «Bilim hakynda» Türkmenistanyň Kanuny. Türkmenistanyň Mejlisiniň maglumatlary, 2013, № 2.
3. Türkmenistanyň ýaşlar baradaky döwlet syýasatynyň 2015–2020-nji ýyllar üçin Döwlet Maksatnamasy. – A.: Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2015.
4. Gurbanmuhammedow A. Elektrik we magnit hadysalary. – A.: Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2006.
5. Toýlyýew G.,Ýusupow T.M., Orazow G. Fizikadan meseleler. Elektrik we magnit hadysalary. – A.: Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2010.
6. Калашников С.Г. Электричество. – М.: Наука, 2002.
7. Волькенштейн В.С. Задачи по общему курсу физики. – Санкт-Петербург.: Книжный мир, 2007.
8. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.2. – М.: АСТ, 2003.
9. Сивухин Д.В. Курс общей физики. Т.3 .М.: Физматлит, 2002.
10. Иродов И.Е. Электромагнетизм. Основные законы. – М.: Лаб. Баз. Знаний, 2012.
11. Иродов И.Е. Задачи по общей физике.- М.: Лаб. Баз. Знаний, 2018.
12. Иванов А.Е., Иванов С.А. Электродинамика. – :М. КНОРУС, 2012.
13. Покровский В.В. Електромагнетизм. Методы решения задач. – М.: Лаб. Баз. знаний, 2007.
14. Трофимова Т.И. Сборник задач по курсу физики. – М.:ОНИКС 21 век, 2003.
15. Тараканов А.Н., Хачатрян Ю.М. Физика. Практикум. – Минск: Беларуская энциклопедия, 2008.

MAZMUNY

V. MAGNIT MEÝDANY WE ELEKTROMAGNIT INDUKSIÝASY

VI. ÜÝTGEÝÄN TOK WE ELEKTROMAGNIT MEÝDANY

Amanmuhammet Gurbanmuhammedow, Akmämmet Ataýew,
Gylyçmämmet Orazow

ELEKTRIK WE MAGNIT HADYSALARY BOÝUNÇA MESELELER ÝYGYNDYSY

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw gollanmasy

Redaktor	*M. Berdiýewa*
Surat redaktory	*O. Çerkezowa*
Teh. redaktor	*O. Nurýagdyýewa*
Kompýuter bezegi	*M. Atajanowa*
Neşir üçin jogapkär	*A. Çaryýew*

Çap etmäge rugsat edildi 07.09.2020. Ölçegi 60x90 1/16.
Şertli çap listi 16,0. Hasap-neşir listi 16,02.
Çap listi 16,0. Şertli-reňkli ott. 52,5.
Sargyt № 236. Sany 440.

Türkmen döwlet neşirýat gullugy.
744000. Aşgabat. Garaşsyzlyk şaýoly, 100.

Türkmen döwlet neşirýat gullugynyň Metbugat merkezi.
744015. Aşgabat. 2127-nji (G. Gulyýew) köçe, 51/1.