

A.B. Sa'dullayev, O.O. Zaripov,
A.P. Umirov, B.T. Shodiyev

ELEKTR TEXNIKA MATERIALLARI

o'quv qo'llanma



UO'K 621.3(075.8)

KBK 31.2ya73

E 45

Elektr texnika materiallari [Matn]: o'quv qo'llanma /
A.B. Sa'dullayev, O.O. Zaripov, A.P. Umirov, B.T. Shodiyev. -
Toshkent: "Shafoat Nur Fayz", 2022. - 168 b.

O'quv qo'llanmada elektr texnika materiallarining fizikaviy va mexanik xususiyatlari, dielektrik materiallar va ularning elektrofizik xususiyatlari, elektr o'tkazgich materiallari, turli xil metall o'tkazgichlar va ularning qotishmalarining, yarimo'tkazgichli materiallarning elektr o'tkazuvchanlik xususiyatlari, magnit materiallari va ularning fizikaviy xossalari hamda barcha turdagi elektr texnik materiallarining parametrlarini aniqlash to'g'risida batafsil ma'lumotlar keltirilgan.

В учебном пособии приведены и подробно рассмотрены физические и механические особенности электротехнических материалов, диэлектрических материалов и их электрофизических свойств, электропроводные материалы, свойства различных металлических проводников и сплавов, свойства электропроводимости полупроводниковых материалов, магнитные материалы, их виды и физические свойства, также определены параметры различных видов электротехнических материалов.

Mas'ul muharrir:

Fayziyev M.M. Qarshi muhandislik iqtisodiyot instituti "Elektr energetikasi" kafedrasida dotsenti, texnika fanlari nomzodi

Taqrizchilar:

Tashatov A.Q. Qarshi Davlat Universiteti professori, fizika-matematika fanlari doktori;
Namazov E.E. "O'zdavenergonadzor" inspeksiyasi
Qashqadaryo hududiy bo'limi boshlig'i.

ISBN 978-9943-7872-2-3

© A.B. Sa'dullayev va boshqalar – 2022 y

© "Shafoat Nur Fayz" nashriyoti – 2022 y

SO'Z BOSHI

Innovatsion texnologiyalar jadal sur'atda tez rivojlanayotgan bir davrda mamlakatimizda faoliyat yuritayotgan yirik ishlab chiqarish sanoat korxonalari va buyurtmachi Davlat tashkilotlari tomonidan ta'lim sifatiga hamda oliy ta'lim muassasalarida tayyorlanayotgan yosh mutaxassis kadrlarga qo'yilayotgan yangidan-yangi talablar o'z navbatida ta'lim sifatining samaradorligini uzluksiz ravishda takomillashtirib borishni talab etmoqda. Ushbu talablardan kelib chiqqan holda mamlakatimizni ijtimoiy-iqtisodiy rivojlantirish bo'yicha ustuvor vazifalarga muvofiq kadrlar tayyorlashning mazmunini tubdan qayta ko'rib chiqish, xalqaro standartlar talablariga mos darajada oliy ma'lumotli mutaxassislar tayyorlashga zarur shart-sharoitlar yaratish maqsadida O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017 yil 20 apreldagi "Oliy ta'lim tizimini yanada rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi PQ-2909 sonli, 2017 yil 27 iyuldagi "Oliy ma'lumotli mutaxassislar tayyorlash sifatini oshirishda iqtisodiyot sohalari va tarmoqlarining ishtirokini yanada kengaytirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi PQ-3151 sonli, 2018 yil 5 iyundagi "Oliy ta'lim muassasalarida ta'lim sifatini oshirish va ularning mamlakatda amalga oshirilayotgan keng qamrovli islohotlarda faol ishtirokini ta'minlash bo'yicha qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida"gi PQ-3775-sonli qarorlari qabul qilindi.

Mazkur qarorlarda belgilangan vazifalar oliy ta'lim muassasalarida xalqaro standartlar darajasiga mos oliy ma'lumotli mutaxassislarni tayyorlash uchun zaruriy sharoitlarni yaratish hamda ta'lim sifatini uzluksiz ravishda oshirib borish bilan uzviy bog'liqdir. Shu ma'noda hozirgi vaqtda mamlakatimiz oliy ta'lim muassasalarida ta'lim sifatini yanada oshirib borish maqsadida o'quv xonalari zamonaviy yangi o'quv-texnik vositalar bilan jihozlanib, professor-o'qituvchilar tomonidan o'quv jarayonida innovatsion pedagogik va axborot kommunikatsiya texnologiyalari hamda o'qitishning interfaol usullari amaliy qo'llanilmoqda. Shunga qaramasdan, ishlab chiqarish sanoat korxonalari bugungi kunda dunyo miqyosidagi eng zamonaviy texnologiyalarni qo'llanilishi mutaxassislardan yanada chuqurroq bilim talab ko'nikmalarni talab etmoqda. Shu sababli hamki oliy ta'lim muassasalarida bugungi kun talabiga javob bera oladigan yosh mutaxassis kadrlarni tayyorlash uchun professor-o'qituvchilar ta'lim sifatini oshirishga qaratilgan yangicha ilmiy-uslubiy yondashishlari

hamda ta'lim yo'nalishining umumkasbiy va ixtisoslik falaridan yangi avlod o'quv adabiyotlarini yaratish bo'yicha olib borilayotgan ishlarini yanada jadallashtirishi lozim bo'lmoqda.

Ko'p yillik tajribalarimizdan ma'lumki, fanlarning o'quv adabiyotlari bilan ta'minoti ta'lim sifatiga keskin ta'sir qilishi bilan bir vaqtda talabalarni mazkur fanlarni mukammal o'zlashtirishida ham ijobiy ta'sirini ko'rsatadi. Shu ma'noda "Elektr texnika materiallari" fanidan tayyorlangan ushbu o'quv qo'llanmada mazkur fan bo'yicha talabalarda olingan nazariy bilimlarini mustahkamlash hamda amalda qo'llay olish ko'nikmasini shakllantirish asosida "Elektr texnika materiallari" fanining asl mazmun va mohiyatini mukammal anglab yetishlariga imkoniyat yaratish asosiy maqsad qilib olindi.

Bir necha yillik tajribamizdan ma'lumki, elektr energetikasi ta'lim yo'nalishi o'quv rejasining ixtisoslik fanlari blokida belgilangan fanlardan amaliy mashg'ulotlarda turli xil murakkablikdagi masalalarni mustaqil yechish jarayonida masalaning shartida bayon etilgan hodisalarni to'liq ifodalovchi matematik tenglamalarni o'z xotirasida saqlab qolmagan hollarda, talabalarda mazkur masalaga oid natijaviy ishchi formulani keltirib chiqarish yoki tegishli nazariy ma'lumotlarni adabiyotlardan qidirib topish muammosi paydo bo'ladi. Ushbu va shunga o'xshash muammolarni oson hal etish maqsadida o'quv qo'llanmada har bir mavzuning xususiyatidan kelib chiqqan holda, navzuga tegishli masalalarni yechish uchun zarur bo'lgan asosiy nazariy ma'lumotlarning qisqacha tasnifi berildi. Shu jumladan, "Elektr texnika materiallari" sohasi juda keng qamrovli sohalardan biri ekanligini qat'iy e'tiborga olgan holda energetika tizimida qo'llaniladigan asosiy materiallar va ularning mexanik, termodinamik, elektrofizik hamda magnit xususiyatlarining asl mohiyatini o'zida aks ettirgan masalalar tanlab olindi. Ma'lumki, zamonaviy energetika tizimida elektron qurilmalarning juda keng qo'llanilayotganligi va ularni tashkil etuvchi elektron asboblarni tayyorlashda asosiy xom-ashyo materiali sifatida yarimo'tkazgich materiallari ishlatilayotganligini e'tiborga olgan holda ushbu materiallarning elektrofizik xususiyatlari hamda kristal tuzilishi bilan bog'liq parametrlarini aniqlashga bag'ishlangan masalalar ham batafsil tahlili bilan yechimlari ko'rsatildi.

O'quv qo'llanmada shuningdek, talabalar ongida turli xil murakkablikdagi masalalarni mustaqil yecha olish ko'nikmalarini tez va oson shakllantirish maqsadida hajmi va murakkablik darajasini e'tiborga

olgan holda, qiyinchilik darajasi ortib boradigan tartibda namunaviy masalalar batafsil tahlili bilan yechib ko'rsatildi.

Talabalarning o'quv mashg'ulotlaridan so'ng uyida mustaqil ishlashi hamda olingan bilimlarini yanada mustahkamlashiga imkoniyat yaratish maqsadida mavzuga oid o'rtacha qiyinchilikdagi masalalar mustaqil yechish uchun hamda har bir mavzuning mohiyatini o'zida to'liq aks ettirgan nazorat va test savollari rejalashtirildi. Namuna sifatida tanlangan mavzu bo'yicha yuqorida bayon etilgan tartibda ma'lumotlarni berilishi, uslubiy jihatdan talabalar ongida mazkur fandan amaliy mashg'ulot turining mazmun va mohiyati, tashkil etilishi shakli, amaliy mashg'ulotga qanday tartibda tayyorgarlik ko'rish darajasi to'g'risida oldindan aniq tasavvur shakllanishida asos bo'ladi. O'quv mashg'ulotini shunday asosda tashkil etilishi talabalarda "Elektr texnika materiallari" fani bilan aniq bir tizim asosida shug'ullanish imkoniyatini yaratadi hamda mazkur fanning asosiy mazmun va mohiyatini chuqur anglab yetishlariga va fikrlash qobiliyatini oshirishiga yordam beradi.

O'quv qo'llanma 5310200-Elektr energetikasi (tarmoqlar va yo'nalishlar bo'yicha) ta'lim yo'nalishi standarti hamda "Elektr texnika materiallari" fanining o'quv dasturi asosida tayyorlandi va uni tayyorlash jarayonida ishlab chiqarish sanoat korxonalarida ishlab, ko'p yillik tajribaga ega bo'lgan yetakchi soha mutaxassislarining taklif va ko'rsatmalari qat'iy e'tiborga olindi.

O'quv qo'llanma 5310200-Elektr energetikasi (tarmoqlar va yo'nalishlar bo'yicha) ta'lim yo'nalishida tahsil olayotgan bakalavrlar uchun mo'ljallangan bo'lib, professor-o'qituvchilar ham o'quv mashg'ulotlarida keng foydalanishlari mumkin.

***“Elektr texnika materiallari” fanidan
masalalarni yechishga doir ko‘rsatmalar***

Mazkur fanni mukammal o‘rganishda masalalarni mustaqil ravishda yechish muhim amaliy ahamiyat kasb etadi. Masalani mustaqil yechish, olingan nazariy bilimlarni mustahkamlash bilan bir qatorda talabalarda uni amalda qo‘llay olish malakasini yanada oshishiga sabab bo‘ladi. Tajribadan olingan natijalarga asoslanib ta’kidlash joizki, “Elektr texnika materiallari” fanning xususiyatidan kelib chiqqan holda masalalarni yechishni quyidagi ketma-ketlik asosida amalga oshirilishi maqsadga muvofiqdir:

- Masalaning shartini diqqat bilan o‘qish va bajarilishi talab etilgan vazifaning mohiyatini to‘liq anglab yetish;
- Masalaning shartida berilgan har bir kattalikning o‘lchov birligini xalqaro birliklar tizimida ifodalash;
- Zaruriy hollarda masalaning shartida bayon etilgan jarayonni va mazkur jarayonga tegishli kattaliklarning o‘zaro bog‘lanishini ifodalovchi grafiklarni chizish lozim;
- Masalaning shartida bayon etilgan jarayonni to‘liq ifodalovchi formulalarni ko‘rsatish;
- Aniqlanishi talab etilgan kattalikni masalaning shartida berilgan kattaliklar orqali ifodalovchi ishchi formulasini keltirib qarish;
- Ishchi formulada qatnashgan fizik kattaliklarning masalaning shartida berilgan son qiymatlarini qo‘yib, tegishli matematik amallarni bajarish va aniqlanishi talab etilgan kattalikning son qiymatini topish;
- Ishchi formuladagi kattaliklarning xalqaro birliklar tizimidagi o‘lchov birliklarini qo‘yish va aniqlangan kattalikning o‘lchov birligiga mosligini tekshirish natijasida masalani to‘g‘ri yechilganligiga ishonch hosil qilish;
- Xulosa chiqarish.

I-BOB. ELEKTR TEXNIK MATERIALLARINING UMUMIY ASOSLARI

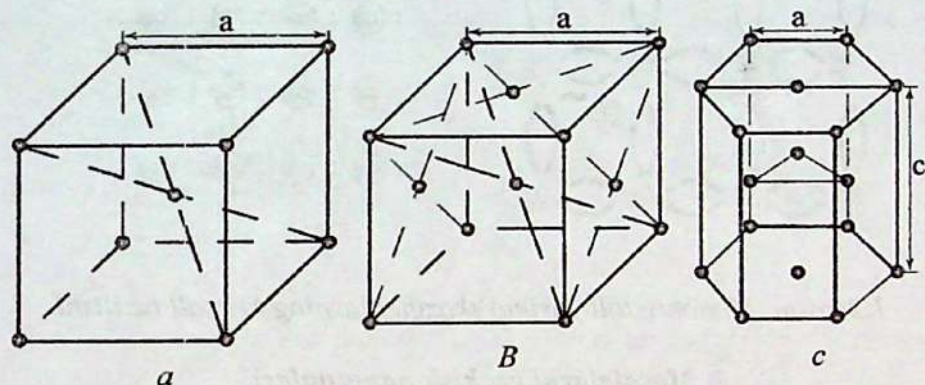
1.1. Qattiq jismlarning kristall tuzilishi va xossalari

Qattiq jismlar kristall panjaralarining asosiy turlari:

➤ Hajmiy markazlashgan kubik kristall panjara – atomlar kubning qirralari va dioganallarining kesishgan nuqtalarida joylashadi (masalan: V, W, Ti moddalarida, 1.1-rasm, a-shakl);

➤ Qirralari markazlashgan kubik kristall panjara – atomlar kubning qirralarida va 6 ta qirralarning markazida joylashadi (masalan: Cu, Al, Ag, Au moddalarida, 1.1-rasm, b-shakl);

➤ Geksogonal kristall panjara – asosi 6 burchakdan iborat bo'lib, atomlar qirralarning burchak markazida joylashadi (1.1-rasm, v-shakl).



1.1-rasm. Kristall panjaralarning asosiy turlari:

a – hajmiy markazlashgan kubik kristall panjara;

b – qirralar (yoqlari yoki tomonlari) markazlashgan kubik kristall panjara;

c – geksogonal zich joylashgan kristall panjara.

➤ Kristallning molyar hajmi: $V_M = \frac{\mu}{\rho}$ (1.1.), bu yerda μ – moddaning molyar massasi; ρ – kristallning zichligi.

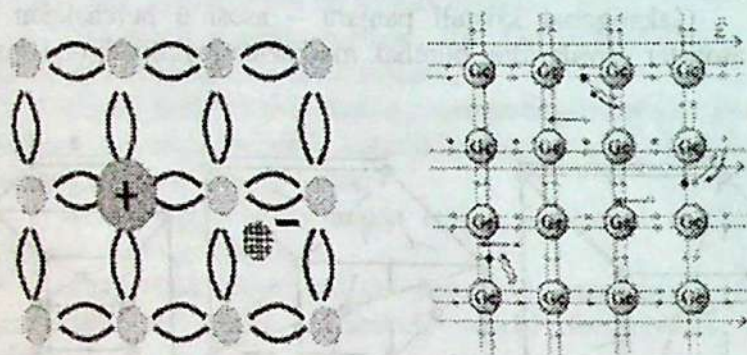
➤ Kristalldagi elementar yacheykaning hajmi: $V = d^3$ (1.2), bu yerda d – kristall panjara doimiysi.

➤ Kristallning birlik hajmdagi elementar panjaralar soni umumiy holda $Z = \rho \frac{k}{n} \cdot \frac{N_A}{\mu}$ (1.3) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda bir xil atomlardan tashkil topgan kristallar uchun $k=1$, N_A – Avagadro soni, n – elementar yacheykaga to'g'ri keluvchi atomlar soni.

➤ Kubsimon panjaraning a parametri: $a = \sqrt[3]{\frac{n \cdot \mu}{k \cdot \rho \cdot N_A}}$ (1.4) tenglama bilan ifodalanadi;

➤ Kubning qirralari markazlashtirilganda - $d = \frac{a}{\sqrt{2}}$;

➤ Kubning hajmi markazlashtirilganda - $d = \frac{\sqrt{3}}{2} a$.



1.2-rasm. Monokristall yarimo'tkazgichlarning kristall tuzilishi

Masalalarni yechish namunalari

Masala

Temir moddasi kristallini xona haroratida qirralari markazlashgan kubik kristall panjara deb hisoblab, panjara doimiysi $a=0,4$ nm bo'lsa, erkin elektronlar konsentratsiyasi topilsin?

Kristall panjara tugunida joylashgan har bir atomga 2 ta elektron mos kelishi hisobga olinsin.

Berilgan:

$$a=0,4 \text{ nm}=4 \cdot 10^{-10} \text{ m}; \quad n=2N.$$

Topish kerak: $n=?$

Yechish:

Qirralari markazlashgan kubik kristall panjaralari bitta elementar yacheykasida 4 ta atom mos kelishini e'tiborga olsak, u holda hajm birligida atomlar soni: $N = \frac{4}{a^3}$ (1) tenglama bilan ifodalanadi.

Yuqorida keltirilgan tenglamadan birlik hajmdagi atomlar sonini quyidagicha aniqlaymiz:

$$N = \frac{4}{a^3} = \frac{4}{(4 \cdot 10^{-10})^3} \approx 6,25 \cdot 10^{28} \text{ m}^{-3}.$$

U holda erkin elektronlar konsentratsiyasi masalaning $n=2N$ shartiga muvofiq: $n=2N=2 \cdot 6,25 \cdot 10^{28} \text{ m}^{-3} = 1,25 \cdot 10^{29} \text{ m}^{-3}$.

Javob: $n=1,25 \cdot 10^{29} \text{ m}^{-3}$.

Masala

Kalsiy kristallining zichligi $\rho = 1,55 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ bo'lsa, kristall panjaraning a parametri va eng yaqin qo'shni atomlar orasidagi d — masofa topilsin?

Berilgan:

$$\rho = 1,55 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; \mu = 40,8 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}; N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ kmol}^{-1}.$$

Topish kerak: $a=?$, $d=?$

Yechish:

Kubsimon kristall panjaraning a parametri uning hajmi bilan $V=a^3$ (1), hajmi esa molyar hajm bilan $V = \frac{V_\mu}{Z_m}$ (2) bog'lanishlardan quyidagini aniqlaymiz: $a^3 = \frac{V_\mu}{Z_m}$ (3), bu yerda kalsiyning molyar hajmi $V_m = \frac{\mu}{\rho}$ (4), moddaning bir molidagi yacheykalar soni $Z_m = \frac{N_A}{n}$ (5), ekanligini hisobga olsak, u holda bir atomni kubik kristall panjaralarda $n=4$ deb hisoblab, $a = \sqrt[3]{n \frac{\mu}{\rho \cdot N_A}}$ (6) ifodani hosil qilamiz. Tenglamadagi kattaliklarning masala shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, kristall panjaraning doimiysini topamiz:

$$a = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 40,8}{1,55 \cdot 10^3 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}} \approx 5,56 \cdot 10^{-9} \text{ m} \approx 5,56 \text{ nm}.$$

Kalsiy kristallining qirralari markazlashgan kubik kristall panjaraligini hisobga olgan holda $d = \frac{a}{\sqrt{2}}$ ifodadan qo'shni atomlar orasidagi masofani quyidagicha aniqlaymiz:

$$d = \frac{a}{\sqrt{2}} = \frac{5,56 \cdot 10^{-9}}{\sqrt{2}} \approx 3,93 \cdot 10^{-9} \text{ m} \approx 3,93 \text{ nm}.$$

Javob: $d \approx 3,93 \text{ nm}$.

Masala

Mis kristallining elementar yacheykasini qirralari markazlashgan kubik kristall panjara deb hisoblab, kristall panjara doimiysi aniqlansin?

Misning zichligi $\rho_z = 8,9 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

Berilgan:

$$\rho_z = 8,9 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}; \mu = 63,54 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}.$$

Topish kerak: $a = ?$

Yechish:

Qattiq jism kristallining zichligi kubik panjara doimiysi bilan $\rho = k \frac{m}{a^3}$

(1) tenglama orqali ifodalanadi, bu yerda m — element atomi massasi, k — bitta elementar yacheykadagi atomlar soni, qirralari markazlashgan kubik kristall panjara uchun $k=4$, $m = \frac{\mu}{N_A}$ (2) ekanligini hisobga olib,

acheykaning hajmini quyidagicha aniqlaymiz: $\rho_z = k \frac{m}{a^3} = k \cdot \frac{\mu}{N_A \cdot a^3}$ (3), bu

yerdan $a = \sqrt[3]{\frac{\mu \cdot k}{N_A \cdot \rho_z}}$ (4). Endi tenglamadagi kattaliklarning masala shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, kristall panjara doimiysini quyidagicha aniqlaymiz:

$$a = \sqrt[3]{\frac{\mu \cdot k}{N_A \cdot \rho_z}} \approx \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 63,54 \cdot 10^{-3}}{8,9 \cdot 10^3 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}} \approx 0,36 \text{ nm}.$$

Javob: $a \approx 0,36 \text{ nm}$.

Masala

Temir moddasi atomlari orasidagi masofa, ya'ni atomning d – diametri topilsin?

Temirning zichligi $\rho_z = 7,8 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

Berilgan:

$$\rho_z = 7,8 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}; \mu = 56 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}.$$

Topish kerak: $d = ?$

Yechish:

Temir moddasining zichligini ifodalovchi $\rho_z = \frac{m}{V}$ (1) tenglamasidan m – massasini $m = \frac{N}{N_A}$ (2) va hajmini $V = a^3$ (3) ifodalarini o'zaro tenglashtirib, quyidagi tenglikni hosil qilamiz: $d = \frac{\sqrt[3]{m}}{\rho_z} = \frac{\sqrt[3]{\mu}}{N_A \cdot \rho_z}$ (4).

Tenglamadagi kattaliklarning masala shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarini bajarib, atomning diametrini quyidagicha aniqlaymiz:

$$d = \frac{\sqrt[3]{56 \cdot 10^{-3}}}{6,02 \cdot 10^{23} \cdot 7,8 \cdot 10^3} \approx 2,36 \cdot 10^{-10} \text{ m}.$$

Javob: $d \approx 2,36 \cdot 10^{-10} \text{ m}$.

Masala

Uglerod kristallining har bir atomining o'zaro bog'lanish energiyasi $W_B = 3,5 \text{ eV}$ bo'lsa, $m = 0,2$ gramm massali uglerod kristallining to'liq bug'lantirish uchun qancha W – energiya talab etiladi?

Berilgan:

$$W_B = 3,5 \text{ eV} = 3,5 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}; m = 0,2 \text{ g} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ kg}; \mu = 12 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}.$$

Topish kerak: $W = ?$

Yechish:

Moddani bug'lantirish uchun talab etiladigan energiya miqdori nazariy jihatdan atom yoki molekulalarning bog'lanish energiyasidan yuqori bo'lishi shart. U holda m – massali moddani to'liq bug'lantirish

uchun talab etilgan energiyani aniqlash uchun, avvalo moddaning tartibidagi atomlar sonini topish lozim.

Umumiy holda m – massali moddadagi N – atomlar soni $N = \frac{m}{\mu} N_A$ (1) tenglamaga asosan quyidagicha aniqlanadi:

$$N = \frac{m}{\mu} N_A = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{12 \cdot 10^{-3}} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \approx 10^{22}.$$

Uglerod elementi davriy jadvalning IV guruhiga joylashgan bo'lib, har bir atomining 4 tadan valent elektroni kovalent bog'lanishda ishtirok etadi, shu sababli o'zaro bog'lanishlar soni atomlar sonidan 2 marta ortiq bo'lishini e'tiborga olsak, talab etiladigan energiya miqdori $W = NW_B$ ekanligidan, uglerod kristallining to'liq bug'lantirish uchun talab etilgan energiyani quyidagicha aniqlaymiz:

$$W = 2 \cdot 10^{22} \cdot 3,5 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 11,2 \cdot 10^3 \text{ J}.$$

$$\text{Javob: } W = 11,2 \cdot 10^3 \text{ J}.$$

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Kristall panjara qirralari markazlashgan kubik neon kristallining zichligi topilsin? Kristall panjara doimiysi $a = 0,45 \text{ nm}$ deb hisoblansin.
2. Kristall panjara qirralari markazlashgan kubsimon kalsiy kristallining qo'shni atomlari orasidagi d – masofa $d = 0,4 \text{ nm}$ bo'lsa, kristallning zichligi topilsin?
3. Qo'shni atomlar orasidagi masofa $d = 0,3 \text{ nm}$, kristallning zichligi $\rho = 550 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ bo'lsa, hajmi markazlashgan kubsimon kristall tuzilishdagi moddaning molyar massasi topilsin?
4. Molibiden kristallining $t = 20^\circ\text{C}$ haroratda zichligi $\rho = 10,2 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, kubik kristall panjara doimiysi $a = 3,14 \text{ nm}$ bo'lsa, kristall panjara yacheykasining turini aniqlang?
5. Mis kristallining $t = 20^\circ\text{C}$ haroratda zichligi $\rho = 8,9 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, kristall panjara yacheykasi qirralari markazlashgan kubsimon bo'lsa, panjara doimiysi topilsin?
6. Qattiq jism kristallining atomlarini tashqi sirlari bir-biriga tegib turgan r – radiusli sharchalar shaklida deb hisoblab, tomonlari va hajmiy markazlashgan kubik kristal panjaralarda atomlar egallab turgan nisbiy hajm aniqlansin?

Hisoblash ishlarini bajarishda elementar yacheykaning qirradi a - ga tengdeb hisoblansin.

7. Qarama – qarshi ishorali elektron zaryadiga teng zaryadli $2N$ -ionlardan tashkil topgan qattiq jism kristallining muvozanat holatidagi o‘zaro ta’sir potensial energiyasi topilsin?

8. Tomonlari markazlashgan kubik kristal panjarali qattiq jismning kristal panjara doimiysi $a = 0,5 \text{ nm}$ bo‘lsa, kristal jismning zichligi topilsin?

9. Yakka atomlardan tuzilgan, tomonlari va hajmiy markazlashgan kubik kristal panjarali qattiq jismning bitta elementar yacheykasida joylashgan atomlar soni topilsin?

10. Kristall panjara yacheykasi qirralari markazlashgan kubsimon mis moddasi kristallining $t=30^\circ\text{C}$ haroratda panjara doimiysini $a = 0,58 \text{ nm}$ deb hisoblab, moddaning zichligi topilsin?

Mavzuga oid nazorat savollari

1. Qattiq jismlarning kristal tuzilishiga ko‘ra qanday turlarini bilasiz?

2. Qanday bog‘lanish turiga kovalent bog‘lanish deb ataladi?

3. Kristall panjara yacheykasi deganda nimani tushundingiz?

4. Brave panjarasini fizik mohiyatini tushuntiring?

5. Ion bog‘lanish deb qanday bog‘lanish turiga aytiladi?

6. Qirralari markazlashgan kubik kristal panjara boshqa turdagi kristal panjaralardan qanday xususiyatlari bilan farq qiladi?

7. Kristaldagi elementar yacheykaning fizik mohiyatini qanday tushundingiz?

8. Geksogonal kristall panjaraning asosi nechta burchakdan iborat bo‘ladi?

9. Kristal jismlarning amorf jismlardan farqlovchi asosiy xususiyatlarini tushuntiring?

10. Kovalent bog‘lanishning fizik mohiyatini tushuntiring?

1.2. Gazsimon moddalarning fizikaviy xossalari

➤ Modda miqdori: $\nu = \frac{m}{\mu} = \frac{N}{N_A}$ (1.1) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda N –moddadagi atom yoki molekulalar soni, N_A –Avagadro soni, μ –moddaning molyar massasi;

➤ Moddadagi molekular yoki atomlar soni: $N = \nu \cdot N_A = \frac{m}{\mu} \cdot N_A$ (1.2);

➤ Moddaning birlik hajmidagi atom yoki molekulari soni, ya'ni konsentratsiyasi: $n = \frac{N}{V} = \frac{\mu}{N_A}$ (1.3);

➤ Moddaning bitta molekula yoki atomining m_0 – massasi: $m_0 = \frac{m}{N} = \frac{\mu}{N_A}$ (1.4) tenglama bilan ifodalanadi;

➤ Ixtiyoriy massali gazning holati tenglamasi: $PV = \frac{m}{\mu} R \cdot T$ (1.5), bu yerda R – universal gaz doimiysi, $R = 8,31 \cdot \frac{J}{K \cdot mol}$, T – absolyut harorat;

➤ Birlik hajmdagi gazning massasi, ya'ni zichligi: $\rho_z = \frac{m}{V} = \frac{P \cdot \mu}{R \cdot T}$ (1.6).

Masalalarni yechish namunalari

Masala

Hajmi $V_2 = 20 \text{ l}$ bo'lgan metall idishdagi kislorodning $t = -15^\circ\text{C}$ haroratda bosimi $P = 10 \text{ MPa}$ bo'lsa, kislorodning m – massasi topilsin?

Kislorodning normal holatdagi zichligi $\rho_z \approx 1,43 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ deb hisoblansin.

Berilgan:

$$V_2 = 20 \text{ l} = 20 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3; \rho_z = 1,43 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; T_2 = t = -15^\circ\text{C} = 258 \text{ K};$$

$$P_2 = 10 \text{ MPa} = 10^7 \text{ Pa}; T_1 = 273 \text{ K}; P_1 = 10^5 \text{ Pa}.$$

Topish kerak: $m = ?$

Yechish:

Masalaning shartiga muvofiq idishdagi kislorod gazining massasini topish uchun, avvalo normal sharoitdagi gaz hajmini aniqlash lozim. Buning uchun gazning holat tenglamasiga asosan quyidagi tenglikni yozishimiz mumkin: $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$ (1). Bu holda normal sharoitdagi

kislorod gazining V_1 hajmini (1) tenglamadan topamiz: $V_1 = \frac{T_1}{T_2} \cdot \frac{P_2}{P_1} \cdot V_2$

(2). Umumiy holda gazning massasi quyidagi $m = \rho_z \cdot V$ (3) tenglama bilan ifodalanishini e'tiborga olsak, u holda (3) va (2) tenglamalarni o'zaro tenglashtirib, kislorod gazining m – massasini topamiz:

$$m = p_z \cdot \frac{T_1 P_2}{T_2 P_1} \cdot V_2 = 1,43 \cdot \frac{273 \cdot 10^7}{258 \cdot 10^5} \cdot 20 \cdot 10^{-3} \approx 3,03 \text{ kg}$$

Javob: $m \approx 3,03 \text{ kg}$.

Masala

Massasi $m = 16 \text{ gr}$ bo'lgan gaz $P = 1 \text{ MPa}$ bosim va $t = 112^\circ \text{C}$ haroratda $V = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ hajmini egallagan bo'lsa, gazning turi aniqlansin?

Berilgan:

$$m = 16 \text{ gr} = 16 \cdot 10^{-3} \text{ kg}; \quad P = 1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa}; \quad T = t + 273 = 385 \text{ K}; \\ V = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3; \quad R = 8,31 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kmol} \cdot \text{K}}.$$

Topish kerak: $\mu = ?$

Yechish:

Masalaning shartida bayon etilishiga ko'ra gaz holat tenglamasiga muvofiq: $PV = \frac{m}{\mu} RT$ (1) tenglama bilan ifodalanadi. Bu tenglamadan gazning turiga bog'liq bo'lgan moddaning μ -molyar massasini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$\mu = \frac{m \cdot R}{P \cdot V} \cdot T = \frac{16 \cdot 10^{-3} \cdot 8,31 \cdot 385}{10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-3}} \approx 32 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}.$$

Moddani molyar masasining aniqlangan son qiymatidan xulosa qilinganda idishda to'ldirilgan gaz kislorod bo'lgan.

Javob: kislorod.

Masala

Normal (me'yoriy) sharoitda vodorod va kislorod gazlarining zichliklari va ularning nisbatlari topilsin?

Berilgan:

$$T = 273 \text{ K}; \quad P = 10^5 \text{ Pa}; \quad \mu_H = 2 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}; \quad \mu_{O_2} = 32 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}.$$

Topish kerak: $\frac{\rho_{O_2}}{\rho_H} = ?$

Yechish:

Gazlarning $PV = \frac{m}{\mu} RT$ (1) holat tenglamasiga asosan normal sharoitda vodorod va kislorod gazlarining holat tenglamasini quyidagi

shaklda ifodalashimiz mumkin: $PV_H = \frac{m_H}{\mu_H} RT$ (2) va $PV_{O_2} = \frac{m_{O_2}}{\mu_{O_2}} RT$ (3).

Gaz massasini ifodalovchi $m = \rho \cdot V$ (4) tenglamasini (2) va (3) tenglamalarga qo'yib, quyidagi tenglikni hosil qilamiz: $PV_H = \frac{\rho_H V_H}{\mu_H} RT$ (5) va $PV_{O_2} = \frac{\rho_{O_2} V_{O_2}}{\mu_{O_2}} RT$ (6).

Hosil qilingan mazkur tenglamadan $\rho_H = \frac{P \cdot \mu_H}{RT}$ (7), $\rho_{O_2} = \frac{P \cdot \mu_{O_2}}{RT}$ (8) ekanligini keltirib chiqaramiz.

Tenglamalardagi kattaliklarni masalaning shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, gazlarning mos holda zichliklarini aniqlaymiz:

$$\rho_H = \frac{10^5 \cdot 2}{8,31 \cdot 273} \approx 88,15 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, \quad \rho_{O_2} = \frac{10^5 \cdot 32}{8,31 \cdot 273} \approx 1410 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}.$$

U holda gazlarning zichliklari nisbati:

$$\frac{\rho_{O_2}}{\rho_H} = \frac{1410,5}{88,15} \approx 16.$$

$$\text{Javob: } \frac{\rho_{O_2}}{\rho_H} \approx 16$$

Masala

Ishlab siqarish sanoatida DRL-rusumli yoy razryadli elektr yoritish chirog'ini tayyorlashda shisha kolbaning ichiga $t_1 = 127^\circ \text{C}$ haroratli inert gaz to'ldirildi.

Agarda elektr yoritish chirog'i yonganidan so'ng gazning harorati 100°C dan ortib, bosimi $P_2 = 0,2 \text{ MPa}$ bo'lsa, shisha kolbaning ichidagi inert gazining P_1 -dastlabki bosimi topilsin?

Berilgan:

$$T_1 = 273 + 127 = 400 \text{ K}; T_2 = T_1 + 100 = 500 \text{ K};$$

$$P_2 = 0,2 \text{ MPa} = 2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

Topish kerak: $P_2 = ?$

Yechish:

Gaz razryadli elektr yoritish chirog'ining ish rejimida gazning bosimi va harorati ortgan, ammo shisha kolbaning hajmi o'zgarmas bo'lganligi sababli, jarayon o'zgarmas hajmda sodir etilganligi inobatga olinsa, u holda shisha kolba ichidagi gazning holat tenglamasini

dastlabki va keyingi ish rejimidagi holatlar uchun quyidagicha ifodalashimiz mumkin: $P_1 V = \frac{m}{\mu} R T_1$ (1) va $P_2 V = \frac{m}{\mu} R T_2$ (2).

Yuqorida keltirib chiqarilgan (1) va (2) tenglamalarni o'ng va chap tomonlarini hadma-had bo'lib, quyidagi tenglikni hosil qilamiz: $\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$ (3). Ushbu tenglamadan gaz bosimining dastlabki son qiymatini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$P_1 = \frac{T_1}{T_2} P_2 = \frac{400}{500} \cdot 2 \cdot 10^5 = 1,6 \cdot 10^5 \text{ Pa.}$$

Javob: $P_1 = 1,6 \cdot 10^5 \text{ Pa.}$

Masala

Berk idishda havo to'ldirilib, harorati $\Delta T = 30K$ ga qizdirilganda uning bosimi dastlabki bosimining 10% ga ortgan bo'lsa, havoning dastlabki T_1 va keyingi T_2 haroratlari topilsin?

Berilgan:

$$\Delta T = 30K; \frac{\Delta P}{P_1} = 10\%.$$

Topish kerak: $T_1 = ?$; $T_2 = ?$.

Yechish:

Masalaning shartida bayon etilishiga ko'ra havo berk idishga to'ldirilganligi sababli, sodir etiladigan jarayonlar o'zgarmas hajm sharoitida amalga oshadi. Shu tufayli havoning holat tenglamalarini dastlabki va keyingi holatlar uchun quyidagi shakllarda ifodalashimiz mumkin:

$$P_1 V = \frac{m}{\mu} R T_1 \text{ (1), } P_2 V = \frac{m}{\mu} R T_2 \text{ (2).}$$

Ushbu tenglamalarni o'ng va chap tomonlarini hadma-had ayirib quyidagi tenglikni hosil qilamiz: $\Delta P V = \frac{m}{\mu} R \Delta T$ (3). Masalaning shartida berilgan ma'lum kattaliklarni hisobga olgan holda hosil qilingan (3) tenglamani (1) va (2) tenglamalarga hadma-had bo'lish natijasida hosil qilingan $\frac{\Delta T}{T_1} = \frac{\Delta P}{P_1}$ (4) tenglamadan masalaning shartida talab etilgan havoning dastlabki T_1 va keyingi T_2 haroratlarni quyidagicha aniqlaymiz:

$$T_1 = \frac{\Delta T}{\frac{\Delta P}{P_1}} = \frac{30}{0,1} = 300 \text{ K}.$$

U holda havoning qizdirilgandan keyingi harorati, masalaning shartiga ko'ra:

$$T_2 = \Delta T + T_1 = 30 + 300 = 330 \text{ K}.$$

Javob: $T_1 = 300 \text{ K}$, $T_2 = 330 \text{ K}$.

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Massasi $m=2 \text{ kg}$ bo'lgan azot moddasining ν —modda miqdori va molekulyar soni topilsin?

2. Vodorod gazining zichligi $\rho_z = 7,2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ va gaz to'ldirilgan idishning hajmi $V = 4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ bo'lsa, gazning ν —modda miqdori va molekullari soni aniqlansin?

3. Hajmi $V = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ bo'lgan idishda to'ldirilgan bir jinsli gazning modda miqdori $\nu = 0,2 \text{ mol}$, zichligi $\rho = 1,12 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ bo'lgan gazning turini aniqlansin?

4. Yuqori bosimli yoy razryadli elektr yoritish chirog'i ishga tushirilgandan so'ng gazning harorati $t_1 = 27^\circ \text{C}$ dan $t_2 = 350^\circ \text{C}$ gacha ko'tarilgan bo'lsa, gazning dastlabki va ish rejimidagi bosimlari nisbati topilsin?

5. Havoning me'yoriy sharoitdagi zichligini $\rho_z = 1,29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ deb hisoblab, uning $t = 127^\circ \text{C}$ harorat va $P = 500 \text{ kPa}$ bosim ostidagi zichligi topilsin?

6. Vodorod gazi $V = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ hajmdagi idishda $t_1 = 28^\circ \text{C}$ harorat va $p_1 = 0,42 \text{ MPa}$ bosim ostida saqlanmoqda. Agarda gazga $Q = 5 \text{ kJ}$ issiqlik miqdori berilsa, berk idishda saqlanayotgan vodorod gazining harorati va bosimining o'zgarishi hamda idish devoriga beradigan bosim kuchi topilsin?

7. Berk idishga to'ldirilgan kislorod gazining bosimi $p_1 = 5,4 \text{ MPa}$, zichligi $\rho_z = 130 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ bo'lsa, idishdagi kislorod gazining harorati va idish devoriga beradigan bosim kuchi topilsin?

8. Sig'imi $V=20 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$ bo'lgan berk idishda saqlanayotgan kislorod gazining massasi $m=0,2 \text{ kg}$ bo'lsa, kislorod gazining bulgan kislorod $t = 212^\circ \text{C}$ haroratdagi ichki energiyasi aniqlansin?

9. Sig'imi $V=1,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ bo'lgan berk idishga to'ldirilgan modda miqdori 1 mol bo'lgan neon gazining o'zgarmas bosimda harorati $t_1 = 58^\circ \text{C}$ dan $t_2 = 76^\circ \text{C}$ gacha o'zgargan deb hisoblab, neon gazining ichki energiyasi o'zgarishi topilsin?

10. Gazsimon holatidagi $m=0,8 \text{ kg}$ xlor moddasi sig'imi $V_1=2 \text{ L}$ bo'lgan berk idishda saqlanmoqda. Gazning hajmini o'zgarmas haroratda $V_2=3,2 \text{ L}$ ga o'zgartirish uchun qancha issiqlik miqdori berish talab etiladi?

Mavzuga oid nazorat savollari

1. Moddalar agregat holatlariga ko'ra qanday turlarga bo'linadi va ularni bir-biridan farqlovchi qanday asosiy xususiyatlarini bilasiz?

2. Gaz holatidagi moddaning xususiyatlarini ifodalovchi holat tenglamasining fizik mohiyatini tushuntiring?

3. Gaz holatidagi moddalar energetika tizimida nima maqsadlarda ishlatiladi va ularning qanday funksional vazifalarini bilasiz?

4. Yuqori kuchlanishli elektr tarmoqlarida ishlatiladigan gazli qo'shib ajratkichlarda gazlarning qaysi xususiyatidan foydalaniladi?

5. Ideal va real gazlar asosan qaysi xususiyatlariga ko'ra farqlanadi?

6. Real gazlarning holat tenglamasi ideal gazlarning holat tenglamasidan qaysi xususiyati bilan farqlanadi?

7. Real va ideal gazlarning holat tenglamalari bir-biridan qanday xususiyatlariga nisbatan farqlanadi?

8. Moddalarning molyar massasi tushunchasi tegishli moddaning qanday xususiyatlarini tavsiflaydi?

9. Avagadro sonining fizik mohiyatini qanday tushundingiz va uning amaliy ahamiyati nimadan iborat ekanligini qanday izohlaysiz?

10. Universal gaz doimiysining fizik ma'nosini tushuntiring?

1.3. Suyuq moddalarning fizikaviy xossalari

➤ Birlik sirt yuzasiga ta'sir etuvchi kuchga miqdor jihatidan teng bo'lgan kattalik, ya'ni bosim: $P = \frac{F}{S}$ (1.1) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda F – birlik yuzaga ta'sir etuvchi kuch, S – bosim kuchi ta'sir etayotgan sirt yuzasi;

➤ Suyuqlik ustunining bosimi: $P = \rho_z g h$ (1.2) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda ρ_z - suyuqlikning zichligi, h - suyuqlik sathining balandligi.

➤ Arximed kuchi: $F_A = \rho_z g V$ (1.3), bu yerda V – kattalik jismning suyuqlikka botib turgan qismining hajmi;

➤ Suyuqlik oqimining uzluksizlik qonuni: $S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2$ (1.4), bu yerda S_1 va S_2 suyuqlik oqib o'tayotgan quvur kesimlarining yuzalari, v_1 va v_2 mos ravishda suyuqlik oqimlarining tezliklari;

➤ Oqim nayida harakatlanayotgan suyuqlikning sarfi asosan hajmiy va massaviy sarflari bilan tavsiflanadi hamda quyidagi tenglamalar bilan ifodalanadi:

- Suyuqlikning hajmiy sarfi $Q_V = v \cdot S$ (1.5);

- Suyuqlikning massaviy sarfi $Q_m = \rho \cdot v \cdot S$ (1.6), bu yerda v – suyuqlikning tezligi, ρ – suyuqlik zichligi, S – suyuqlik oqib o'tayotgan quvurning kesimi yuzasi;

➤ Harakatlanayotgan suyuqlikning to'liq bosimi dinamik va statik bosimlarning yig'indisiga teng:

$$\frac{\rho_z \cdot v_1^2}{2} + \rho g h_1 + P_1 = \frac{\rho_z \cdot v_2^2}{2} + \rho g h_2 + P_2 \quad (1.7)$$

bu yerda $\frac{\rho v^2}{2}$ -suyuqlikning dinamik bosimi, $\rho g h + P$ – suyuqlikning statik bosimi, h_1 va h_2 – quvur uchlarining gorizontga nisbatan balandliklari, P_1 va P_2 – shu balandliklarga mos keluvchi bosimlar;

➤ Suyuqlik harakatlanayotgan quvurning kesim yuzalari bir xil balandlikda o'rnatilgan holat uchun, ya'ni $h_1 = h_2$ bo'lgan holatda (1.7) tenglama quyidagi shaklda ifodalanadi:

$$\frac{\rho_z \cdot v_1^2}{2} + P_1 = \frac{\rho_z \cdot v_2^2}{2} + P_2 \quad (1.8);$$

➤ Suyuqlik idishga to'ldirilgan holatida idishning kichik tirqishi orqali suyuqlik oqimining tezligi quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$\vartheta = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$ (1.9), bu yerda h - kattalik idishdagi suyuqlik sathiga nisbatan tirqish balandligi.

➤ Uzun quvur orqali bir birlik vaqtda oqib o'tilgan suyuqlik hajmi Puazeyl formulasi orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$V = \frac{\pi \cdot r^4 + \Delta P}{8 \cdot l \cdot \eta} \quad (1.10)$$

bu yerda l – kattalik suyuqlik oqib o'tayotgan quvurning uzunligi, ΔP – quvur uchlaridagi suyuqlik bosimlarining farqi, η – suyuqlikning dinamik qovushoqligi, r – suyuqlik oqib o'tayotgan quvurning kesimi yuzasining radiusi;

➤ Uzun quvur orqali oqib o'tayotgan suyuqliklar uchun Reynolds soni quyidagi tenglama orqali ifodalanadi:

$$Re = \rho < v > \frac{d}{\eta} \quad (1.11)$$

bu yerda d – kattalik suyuqlik oqib o'tayotgan quvurning diametri, $< v >$ - quvurning ko'ndalang kesimi bo'yicha oqib o'tayotgan suyuqlikning o'rtacha tezligi.

Masalalarni yechish namunalari

Masala

Sirt yuzalari bir xil bo'lgan silindr shaklidagi idishlar kerosin va suv bilan to'ldirilgan bo'lib, suyuqliklarning balandliklari nisbati $\frac{h_k}{h_s} = 5$ bo'lsa, idish tubiga beradigan gidrostatik bosimlari nisbati topilsin?

Berilgan:

$$\frac{h_k}{h_s} = 5, g = 9,8 \text{ m/s}^2; \rho_k = 0,8 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; \rho_s = 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}.$$

Topish kerak: $\frac{P_k}{P_s} = ?$

Yechish:

Silindrik idishga to'ldirilgan suyuqlikning idish tubiga beradigan gidrostatik bosimi umumiy holda $P = \rho gh$ (1) tenglama bilan ifodalanadi. (1) tenglamani masalaning shartida bayon etilgan suv va kerosin uchun quyidagi shaklda ifodalaymiz: $P_k = \rho_k gh_k$ (2) va $P_s = \rho_s gh_s$ (3). Ushbu (2) va (3) tenglamalarni o'ng va chap tomonlarining nisbatini quyidagi shaklda ifodalaymiz: $\frac{P_k}{P_s} = \frac{\rho_k}{\rho_s} \cdot \frac{h_k}{h_s}$ (4). Tenglamadagi kattaliklarning

masala shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, kerosin va suvning gidrostatik bosimlari nisbatini topamiz:

$$\frac{P_k}{P_s} = \frac{0,8 \cdot 10^3}{1 \cdot 10^3} \cdot 5 \approx 4.$$

Javob: $\frac{P_k}{P_s} = 4.$

Masala

Suvga botirilgan idishning yon sirtida suv sathidan $h=3$ m chuqurlikda $s=5$ sm² yuzali teshik hosil qilindi.

Teshikdan suv o'tmasligi uchun foydalanilgan qoplamani tutib turish uchun qanday kuch talab etiladi? Suvning zichligi $\rho_z=10^3 \frac{kg}{m^3}$.

Berilgan:

$$h=3 \text{ m}; s=5 \text{ sm}^2=5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2; \rho_z=10^3 \frac{kg}{m^3}; g=9,8 \text{ m/s}^2.$$

Topish kerak: $F=?$

Yechish:

Masalaning shartida bayon etilishiga ko'ra, suv ustunining gidrostatik bosimi $P=\rho gh$ (1) bo'lganligi sababli, suv sathidan h chuqurlikda ta'sir etuvchi bosim kuchi $F=P \cdot s=\rho gh \cdot s$ (2) tenglama bilan ifodalanadi.

Tenglamadagi kattaliklarning masala shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib tegishli matematik amallarni bajarib, F — ta'sir etuvchi kuchning qiymatini aniqlaymiz:

$$F=\rho gh \cdot s=10^3 \cdot 9,8 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 10^{-4} \approx 14,7 \text{ N}.$$

Javob: $F \approx 14,7 \text{ N}.$

Masala

Gidroelektr stansiyalarning quvvati suv sathlarining farqi $h=98$ m bo'lganda $N=4,2$ GW bo'lib, turbinalarning F.I.K $\eta_1=93\%$, generatorning F.I.K $\eta_2=98\%$ bo'lsa, $t=1$ s birlik vaqtda GESdan o'tgan suv hajmi topilsin?

Berilgan:

$$h=98 \text{ m}; N=4,2 \text{ GW}=4,2 \cdot 10^9 \text{ W}; \eta_1=93\%; \eta_2=98\%; \\ t=1 \text{ s}; \rho=10^3 \frac{kg}{m^3}.$$

Topish kerak: $V=?$

Yechish:

h – balandlikdan birlik vaqtda tushayotgan m – massali suvning quvvati: $N_1 = \frac{W_p}{t}$ (1) tenglama bilan ifodalanadi. Bu yerda W_p – kattalik m – massali suvning potentsial energiyasi.

U holda potentsial energiya $W_p = mgh$ (2) tenglamasiga asosan (1) tenglamani quyidagi shaklda ifodalaymiz:

$$W_p = \frac{mgh}{t} = \frac{\rho Vgh}{t}$$

(3) bu yerda V – kattalik birlik vaqtda turbinadan o'tgan suvning hajmi.

Gidroelektr stansiya'ning quvvati N_2 – quvvati N_1 – suv oqish quvvatini 93% ga teng bo'lib, $N_2 = N_1 \cdot \eta_1$ (4) tenglama bilan ifodalanadi.

Generatorning chiqishidagi N – quvvat esa 23 turbine quvvatini 98% ini tashkil etadi va $N = N_2 \cdot \eta_2$ (5) tenglama bilan ifodalanadi.

U holda (3) va (5) tenglamalardan vaqt birligida sarflanayotgan suvning hajmini quyidagiha aniqlashimiz mumkin:

$$\frac{PVgh}{t} = \frac{N}{\eta_1 \cdot \eta_2} \quad (6),$$

bu yerdan:

$$V = \frac{N \cdot t}{\eta_1 \eta_2 \rho gh} = \frac{4,2 \cdot 10^9 \cdot 1}{0,93 \cdot 0,98 \cdot 10^3 \cdot 9,8 \cdot 98} = 4,8 \cdot 10^3 \text{ m}^3.$$

Javob: $V = 4,8 \cdot 10^3 \text{ m}^3$.

Masala

Silindrik idish massalari o'zaro teng bo'lgan simob va suv bilan to'ldirilgan. Suyuqlik sathining umumiy balandligi $h = 32 \text{ sm}$ bo'lsa, suyuqlikning idish tubiga beradigan bosimi topilsin?

Berilgan:

$$h = 32 \text{ sm} = 0,32 \text{ m}; m_1 = m_2; \rho_1 = 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3};$$

$$\rho_2 = 13,6 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; g \approx 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

Topish kerak: $P=?$

Yechish:

Ma'lumki, ushbu holatda suyuqlikning idish tubiga beradigan bosimi, har ikki suyuqlik tomonidan beriladigan gidrostatik bosimlarning yig'indisidan iborat bo'lib, $P = P_1 + P_2$ (1) tenglama bilan ifodalanadi, mazkur holatda $P_1 = \rho_1 g h_1$ (2) va $P_2 = \rho_2 g h_2$ (3) mos ravishda suvning va simobning idish tubiga beradigan gidrostatik bosimlari. U holda (2) va (3) ifodalarni (1) tenglamaga qo'yib, suyuqlik bosimini ifodalovchi quyidagi tenglikni hosil qilamiz:

$$P = g(\rho_1 h_1 + \rho_2 h_2) \quad (4).$$

Masalaning shartida bayon etilishiga muvofiq holda, suyuqlik sathining balandligi $h = h_1 + h_2$ (5) va $m_1 = m_2$ (6) ekanligini hisobga olgan holda suyuqlik massasining zichlik va hajmi orqali ifodasini (6) tenglamaga qo'yib, ifodasini soddalashtirish orqali $\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2$ (7) ekanligini topamiz va (5) tenglamaga qo'yib, suyuqliklar sathlarining balandliklarini ifodalovchi $h_1 = \frac{h \cdot \rho_2}{\rho_1 + \rho_2}$ (8) va $h_2 = \frac{h \cdot \rho_1}{\rho_1 + \rho_2}$ (9) tengliklarni hosil qilamiz.

Ushbu (8) va (9) ifodalarni (4) tenglamaga qo'yib, suyuqliklar tomonidan idish tubiga beriladigan umumiy gidrostatik bosimni ifodalovchi quyidagi tenglamasini hosil qilamiz:

$$P = g \cdot \left(\frac{\rho_1 \rho_2 h}{\rho_1 + \rho_2} + \frac{\rho_1 \rho_2 h}{\rho_1 + \rho_2} \right) = \frac{2 \rho_1 \rho_2 h g}{\rho_1 + \rho_2} \quad (10).$$

Tenglamadagi kattaliklarni masalaning shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, suyuqliklar tomonidan idish tubiga beriladigan gidrostatik bosimni aniqlaymiz:

$$P = \frac{2 \rho_1 \rho_2 h g}{\rho_1 + \rho_2} = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot 13,6 \cdot 10^3 \cdot 0,32 \cdot 10}{13,6 \cdot 10^3 + 10^3} \approx 6 \cdot 10^3 \text{ Pa}.$$

Javob: $P \approx 6 \cdot 10^3 \text{ Pa}.$

Masala

Silindrik idishning radiusi $R = 5 \text{ sm}$ bo'lsa, idishga suv to'ldirilganda uning yon sirtiga suyuqlik tomonidan beriladigan bosimi idish tubiga beriladigan gidrostatik bosimga teng bo'lishi uchun suyuqlik sathining balandligi qanday bo'lishi kerak?

Berilgan:

$$R = 5 \text{ sm}; \rho = 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; g \approx 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

Topish kerak: $h=?$

Yechish:

Suyuqlik tomonidan idish tubiga beriladigan bosim kuchi $F = P \cdot S$ (1). suyuqlik tomonidan idish tubiga beriladigan gidrostatik bosim esa $P = \rho gh$ (2) tenglamalar bilan ifodalanadi, bu yerda $S = \pi R^2$ (3) silindr shaklidagi idish tubining yuzasi. (2) va (3) ifodalarni (1) tenglamaga qo'yib, suyuqlik tomonidan idish tubiga beriladigan bosim kuchining quyidagi ifodasini hosil qilamiz: $F = \rho gh \cdot \pi R^2$ (4). Suyuqlik tomonidan idishning yon sirtiga beriladigan bosim kuchi o'rtacha bosimning yon sirt yuzasiga ko'paytmasi bilan ifodalanadi

$F_{yon} = \langle P \rangle \cdot S_{yon}$ (5). Bu holda o'rtacha bosimning $\langle P \rangle = \frac{P}{2}$ (6) va idishning yon sirtini $S_{yon} = 2\pi Rh$ (7) ifodalarini (5) tenglamaga qo'yib, masalaning shartiga ko'ra $F_{yon} = F$ (8) shaklida tenglashtirib, quyidagi tenglikni hosil qilamiz: $\rho gh \pi R^2 = \rho g \pi R h^2$ (9).

Ushbu tenglamadagi bir xil kattaliklarni qisqartirib,

$h = R = 0,05 \text{ m}$ ekanligini aniqlaymiz.

Javob: $h = 0,05 \text{ m}$.

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Diametri $d=5 \text{ sm}$ bo'lgan silindr shaklidagi idishga $V=12 \text{ l}$ suv to'ldirilgan bo'lsa, idish tubidan $h=7 \text{ m}$ balandlikda idishning yon sirtiga beriladigan bosim topilsin?

2. Idishda suv sathining balandligi $h=52 \text{ m}$ bo'lsa, idish tubidan $h_1=9 \text{ m}$ balandlikda suvning gidrostatik bosimi topilsin?

3. Gorizontall joylashgan silindrik shakldagi quvurning keng qismidan suyuqlik $\vartheta_1 = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ tezlik bilan oqib o'tmoqda. Agarda quvurning keng va tor qismlaridagi bosimlar farqi $\Delta P = 6,5 \text{ kPa}$ bo'lsa, suyuqlikning quvurni tor qismidagi ϑ_2 tezligi topilsin?

4. Diametri $d = 5 \text{ sm}$ bo'lgan silindrik idishga $V = 12 \text{ l}$ suv qo'yilgan. Idish tubidan $h = 10 \text{ m}$ balandlikda uning sirtiga berilgan suyuqlik bosimi topilsin?

5. Diametri $d = 10 \text{ sm}$ bo'lgan silindrik idishga to'ldirilgan suyuqlikning idish tubiga beriladigan gidrostatik bosimi $P = 7,5 \text{ kPa}$ bo'lsa, idishdagi suvning massasi topilsin?

6. Diametri $d = 50 \text{ sm}$ bo'lgan quvurdan oqib o'tayotgan suyuqlikning tezligi $v = 12 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ bo'lib, suyuqlikning oqim yo'nalishiga perpendikulyar o'rnatilgan to'siqqa urilgandan keyin suyuqlikning zarralarining tezligini nolga teng deb hisoblab, suyuqlik oqimi tomonidan to'siqqa beriladigan bosim kuchi topilsin?

Hisoblash ishlarini bajarishda suyuqlikning zichligini

$\rho = 1,75 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ deb hisoblansin.

7. Oqim naychasi orqali oqib o'tayotgan transformator yog'ining naychadagi harakatini laminar oqimga o'tiladigan tezligi $v = 4,6 \frac{\text{sm}}{\text{s}}$ bo'lsa, ushbu oqim nayida qanday oqim tezligida glitserinning laminar oqimi turbulent oqimga o'tadi?

8. Gorizontaal silindr shaklidagi quvurning diametri $d_1 = 30 \text{ sm}$ bo'lgan suv nasosi orqali $d = 4 \text{ sm}$ diametrli teshikdan suvni haydash uchun suv nasosining porshenini $v = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ tezlik bilan harakatlanayotgan bo'lsa, suv teshikdan qanday tezlik bilan otilib chiqadi?

9. O'zgaruvchan kesimli quvur orqali suv oqib o'tmoqda. Agarda quvurning keng yuzali kesimida suv oqimining tezligi

$v_1 = 25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ bo'lib, quvurni keng va tor qismlarining diametrlari nisbati 1,8 ga teng bo'lsa, tor qismidagi suv oqimining tezligi aniqlansin?

10. Suyuqlik oqib o'tayotgan gorizontaal joylashtirilgan quvurning ko'ndalang kesimi yuzasi $S_1 = 30 \text{ sm}^2$ bo'lgan quvurda torayish joyi bo'lib, uning kesimi yuzasi $S_2 = 15 \text{ sm}^2$. Agarda quvurning keng va tor kesimlaridagi suyuqlik sathlarining farqi

$\Delta h = 7,5 \text{ sm}$ bo'lsa, suyuqlikning hajmiy sarfi topilsin?

Mavzuga oid nazorat savollari

1. Suyuq holatdagi moddalarning asosiy xossalari qanday parametrlariga bog'liqligining fizik mohiyatini tushuntiring?

2. Suyuqliklarning qovushoqligi haroratga bog'liqligini qanday izohlaysiz?

3. Suyuqliklarning gidrostatik bosimi hosil bo'lishining fizik mexanizmini tushuntiring?

4. Suyuq moddalardan energetika tizimida qanday maqsadlarda kengroq foydalaniladi?

5. Transformator yog'ining mexanik xususiyatlariga qanday talablar qo'yilgan?

6. Transformator yog'ining elektrofizik xususiyatlariga qo'yilgan talablarni tushuntiring?

7. Transformator yog'ining elektrofizik va mexanik xususiyatlariga qo'yilgan talablar asosan qaysi omillar bilan uzviy bog'liq?

8. Suyuqlik oqimining dinamik bosimini suyuqlikning zichligiga bog'liqligining fizik mohiyatini tushuntiring?

9. Suyuqlikning dinamik va statik bosimlari farqini qanday izohlaysiz?

10. Suyuqlikning qovushoqligi zichlikka qanday bog'liqligini tushuntiring?

1.4. Elektr texnik materiallarning asosiy noelektrik parametrlarni aniqlash

Zamonaviy energetika tizimida qo'llanilayotgan elektr texnik materiallarining asosiy tarkibini o'ziga xos xususiyatlarga ega bo'lgan va turli agregat holatdagi o'tkazgich, dielektrik, yarimo'tkazgich hamda magnit materiallari tashkil etadi. Qattiq, suyuq va gaz holatdagi elektr texnika materiallarini tavsiflovchi asosiy noelektrik kattaliklar sifatida quyidagi fizik kattaliklarni keltirish mumkin:

➤ Moddaning massasi: $m = \rho_z \cdot V$ (1.1), bu yerda ρ_z — modda zichligi, V — hajmi;

➤ Moddaning issiqlik almashinuvi jarayonida olgan issiqlik miqdori: $Q = c \cdot m \cdot (t_2 - t_1) = c \cdot m \Delta t$ (1.2) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda c — moddaning solishtirma issiqlik sig'imi, Δt — haroratlari farqi;

➤ Qattiq moddaning Q_ε — erish issiqligi: $Q_\varepsilon = \lambda \cdot m$ (1.3) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda λ — qattiq moddaning solishtirma erish issiqligi;

➤ Suyuqliklarning idish tubiga beradigan gidrostatik bosimi: $P = \rho_z \cdot g \cdot h$ (1.4), tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda ρ_z — suyuqlik zichligi, h — balandligi;

➤ Suyuq moddaning Q_B — bug'lanish issiqligi: $Q_B = L \cdot m$ (1.5) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda L — suyuq moddaning solishtirma bug'lanish issiqligi.

➤ Gaz holatdagi moddaning zichligi: $\rho_z = \frac{m}{V} = \frac{P \cdot \mu}{R \cdot T}$ (1.6).

➤ Qattiq moddalarning uzunligini harorat ta'sirida chizig'iy o'zgarishi quyidagi $l_t = l_0(1 + \alpha \cdot t)$ (1.7) tenglama bilan ifodalanadi,

bu yerda l_t va l_0 kattaliklar mos ravishda qattiq moddaning jismning ixtiyoriy t va $t = 0$ °C haroratlardagi uzunliklari, α – kattalik qattiq moddaning chizig'iy uzayish koeffitsiyenti;

➤ Qattiq moddalarning hajmini harorat ta'sirida hajmiy kengayishi quyidagi $V_t = V_0(1 + \beta \cdot t)$ (1.8) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda V_t va V_0 kattaliklar mos ravishda qattiq moddaning jismning ixtiyoriy t va $t = 0$ °C haroratlardagi hajmlari, β – kattalik qattiq moddaning hajmiy kengayish koeffitsiyenti.

Masalalarni yechish namunalari

Masala

Elektr qarshiligi $R=20$ Om bo'lgan mis o'tkazgichning massasi $m=4$ kg bo'lsa, o'tkazgichning ko'ndalang kesim yuzi va uzunligi topilsin?

Berilgan:

$$R=20 \text{ Om}; m=4 \text{ kg}; \rho_s=1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Om} \cdot \text{m}; \rho_z=8,9 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}.$$

Topish kerak: $L=?$ $S=?$

Yechish:

O'tkazgichlarni elektr qarshiligini va moddaning massasini ifodalovchi $R=\rho_s \frac{l}{S}$ (1), $m=\rho_z \cdot V$ (2) tenglamalardan o'tkazgichning ko'ndalang kesim yuzasini va uzunligini topamiz, bu yerda ρ_s – o'tkazgichning solishtirma elektr qarshiligi, ρ_z – o'tkazgich moddasining zichligi.

(1) va (2) tenglamalarni o'zaro tenglashtirib, tegishli almashtirishlarni amalga oshirib, quyidagi tenglikni hosil qilamiz: $R=\rho_s \cdot \frac{m}{\rho_z \cdot S \cdot S} = \frac{m \cdot \rho_s}{\rho_z S^2}$ (3). Bu yerdan o'tkazgichning S ko'ndalang kesim yuzasini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$S = \sqrt{\frac{\rho_s \cdot m}{\rho_z \cdot R}} = \sqrt{\frac{1,7 \cdot 10^{-8} \cdot 4}{8,9 \cdot 10^3 \cdot 20}} = 0,62 \text{ mm}^2.$$

U holda (1) tenglamaga muvofiq mis o'tkazgichning uzunligi:

$$l = \frac{R \cdot S}{\rho_s} = \frac{20 \cdot 0,62 \cdot 10^{-6}}{1,7 \cdot 10^{-8}} = 729,4 \text{ m}.$$

Javob: $S=0,62 \text{ mm}^2$, $l=729,4 \text{ m}$.

Masala

Massasi $m=1,28\text{ kg}$ bo'lgan sof toza mis moddasining atomlar soni topilsin?

Berilgan:

$$m=1,28\text{ kg}; \mu=64\frac{\text{kg}}{\text{kmol}}; N_A=6,02\cdot 10^{23}\text{ kmol}^{-1}.$$

Topish kerak: $N=?$

Yechish:

Masalning shartida bayon etilishicha modda miqdori $\nu=\frac{m}{\mu}$ (1) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda μ – qattiq mis moddasining molyar massasi, ν – modda miqdori. Ushbu holatda moddaning berilgan massasida atomlar sonini ifodalovchi $N=\nu\cdot N_A=N_A\frac{m}{\mu}$ (2) tenglamadan atomlar sonini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$N=6,02\cdot 10^{23}\cdot \frac{1,28}{64}=1,2\cdot 10^{25}.$$

Javob: $N=1,2\cdot 10^{25}$.

Masala

Sirt yuzasi $S=20\text{ sm}^2$ bo'lgan metall sirtiga $d=2\text{ }\mu\text{km}$ qalinlikda qoplangan kumush moddasining atomlar soni aniqlansin?

Berilgan:

$$S=20\text{ sm}^2=20\cdot 10^{-4}\text{ m}^2; \mu=108\frac{\text{kg}}{\text{kmol}}; N_A=6,02\cdot 10^{23}\text{ kmol}^{-1};$$
$$d=2\text{ mkm}=2\cdot 10^{-6}\text{ m}; \rho=10,5\cdot 10^3\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}.$$

Topish kerak: $N=?$

Yechish:

Modda miqdori ν - bo'lgan moddalar sonini ifodalovchi $N=\nu\cdot N_A=N_A\frac{m}{\mu}$ (1) tenglamadagi kumush moddasining o'rniga masalani shartida berilgan kattaliklar orqali ifodalovchi $m=\rho\cdot V=\rho\cdot S\cdot d$ (2) tenglikni qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, atomlar sonini ifodalovchi quyidagi tenglikni hosil qilamiz va atomlar sonini aniqlaymiz:

$$N = N_A \frac{m}{\mu} = N_A \frac{\rho \cdot d \cdot S}{\mu} = \frac{10,5 \cdot 10^3 \cdot 20 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 10^{-6}}{108} \cdot 6,02 \cdot 10^{26} = 2,34 \cdot 10^{20}$$

Javob: $N = 2,34 \cdot 10^{20}$.

Masala

Kislorod normal sharoitda sig'imi $V = 11,2$ l bo'lgan idishni to'ldirib turgan bo'lsa, gazning ν — miqdori va massasi aniqlansin?

Berilgan:

$$V = 11,2 \text{ l} = 11,2 \cdot 10^{-3} \text{ l}; \mu = 32 \frac{\text{kg}}{\text{kmol} \cdot \text{K}}; T = 300 \text{ K}; P = 10^5 \text{ Pa}.$$

Topish kerak: $\nu = ?$ $m = ?$

Yechish:

Masalaning shartiga asosan kislorod gazi uchun umumiy holatda gaz holat tenglamasi $PV = \frac{m}{\mu} RT$ (1) shaklda ifodalanadi, bu yerda modda miqdorini ifodalovchi $\nu = \frac{m}{\mu}$ (2) kattalikni e'tiborga olgan holda (1) tenglamani quyidagi shaklda ifodalashimiz mumkin: $PV = \nu RT$ (3). Ushbu tenglamadan kislorod gazining ν — modda miqdorini quyidagicha aniqlaymiz: $\nu = \frac{PV}{RT}$ (4), bu yerdan

$$\nu = \frac{10^5 \cdot 11,2 \cdot 10^{-3}}{8,31 \cdot 300} \approx 0,45 \text{ mol}.$$

Modda miqdorini ifodalovchi (2) tenglamadan kislorod gazining massasini aniqlaymiz: $m = \nu \cdot \mu = 0,45 \text{ mol} \cdot 32 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \approx 14,4 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$.

Javob: $m = 14,4 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$. $\nu = 0,45 \text{ mol}$.

Masala

Muhit haroratining o'zgarish qiymatida havoning bosimi

$p_1 = 1,2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ dan $p_2 = 1,8 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ gacha ko'tarilsa, havoni hajmining nisbiy $\frac{\Delta V}{V_1}$ — o'zgarishi topilsin?

Berilgan:

$$p_1 = 1,2 \cdot 10^5 \text{ Pa}; p_2 = 1,8 \cdot 10^5 \text{ Pa}.$$

Topish kerak: $\frac{\Delta V}{V_1} = ?$

Yechish:

Masalaning shartiga ko'ra havoni tavsiflovchi $PV = \nu RT$ (1) parametrlarini ikki holat uchun quyidagi shakllarda ifodalaymiz: $P_1 \cdot V_1 = \nu RT$ (2) va $P_2 \cdot V_2 = \nu RT$ (3). Havoning hajmini o'zgarishining ifodasini (3) va (2) tenglamalarni hadma-had ayirib hosil qilamiz:

$$\Delta V = V_2 - V_1 = \left(\frac{1}{P_2} - \frac{1}{P_1}\right) \cdot \nu RT \quad (4).$$

Masalaning shartida talab etilgan hajmining nisbiy o'zgarishini (4) va (2) tenglamalarning nisbati orqali tegishli matematik amallarni bajarib va soddalashtirib topamiz: $\frac{\Delta V}{V_1} = \frac{P_2 - P_1}{P_2} \quad (5).$

Tenglamadagi kattaliklarning masala shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, havo hajmining nisbiy o'zgarishini aniqlaymiz:

$$\frac{\Delta V}{V_1} = \frac{P_2 - P_1}{P_2} = \frac{1,8 \cdot 10^5 - 1,2 \cdot 10^5}{1,8 \cdot 10^5} = 0,33$$

Javob: $\frac{\Delta V}{V_1} = 0,33.$

Masala

Mis o'tkazgichning boshlang'ich $t = 0$ °C haroratdagi uzunligi $l_0 = 3$ m bo'lib, o'tkazgich orqali elektr toki oqib o'tganidan so'ng uzunligi boshlang'ich qiymatiga nisbatan $\Delta l = 30$ mm ga ortgan bo'lsa, o'tkazgichning qizish harorati aniqlansin?

Berilgan:

$$l_0 = 3 \text{ m}; t_0 = 0 \text{ } ^\circ\text{C}; \Delta l = 30 \text{ mm} = 0,03 \text{ m}; \\ \alpha = 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ grad}^{-1}.$$

Topish kerak: $t = ?$

Yechish:

Masalaning shartiga ko'ra mis o'tkazgichdan elektr toki oqib o'tishi natijasida Joule-Lens qonuniga asosan issiqlik ajralib chiqadi va o'tkazgichning harorati boshlang'ich qiymatiga nisbatan ortishi amalda kuzatiladi. Ma'lumki, qattiq jismlarda harorat ortganida jismlarning issiqlikdan nisbiy uzayishi jarayoni sodir etiladi. Ushbu jarayon natijasida qattiq jismning issiqlikdan uzayishi kattaligi jihatidan $l_t = l_0(1 + \alpha \cdot t)$ (1) tenglama bilan ifodalanadi. Ushbu tenglamadan mis o'tkazgichning qizishi natijasida nisbiy uzayishini ifodalovchi

$\Delta l = l - l_0$ (2) tenglamasidan oxirgi va boshlang'ich uzunliklar nisbatini quyidagicha aniqlaymiz:

$$\frac{l}{l_0} = \frac{l_0 + \Delta l}{l_0} = \frac{3 + 0,03}{3} = 1,02.$$

Yuqorida keltirilgan (1) tenglamaga asosan mis o'tkazgichning qizish harorati quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$t = \frac{\frac{l}{l_0} - 1}{\alpha} \quad (3).$$

Ushbu tenglamadagi kattaliklarning masala shartida berilgan va hisoblab topilgan son qiymatlarini qo'yib va tegishli matematik amallarni bajarib, mis o'tkazgichning qizish haroratini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$t = \frac{\frac{l}{l_0} - 1}{\alpha} = \frac{1,02 - 1}{1,6 \cdot 10^{-5} \text{ grad}^{-1}} = 12,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Javob: $t = 12,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Me'yoriy sharoitda massasi $m=40 \text{ kg}$, uzunligi $l=636 \text{ m}$, kesimining diametri $d=3 \text{ mm}$ bo'lgan o'tkazgichning turini aniqlang?

2. Sig'imi $V = 30 \text{ l}$ bo'lgan idish xona haroratida $P = 800 \text{ kPa}$ bosimda vodorod va geliy gazlarining aralashmasi to'ldirildi. Agarda gazlar aralashmasining umumiy massasi $m = 24 \text{ kg}$ bo'lsa geliy va vodorod gazlarining m_1 va m_2 massalari topilsin?

3. Dastlabki harorati me'yoriy sharoitdagi xona haroratiga teng bo'lgan qattiq moddani $t = 252 \text{ } ^\circ\text{C}$ haroratgacha qizdirish uchun $Q = 325 \text{ kJ}$ issiqlik miqdori sarflangan bo'lsa, moddaning solishtirma issiqlik sig'imi topilsin?

4. Me'yoriy sharoitda $m_1 = 1,2 \text{ kg}$ massali geliy va $m_2 = 2,4 \text{ kg}$ massali neon gazlari qancha hajmni egallaydi.

5. Idishda to'ldirilgan kislorod gazining bosimi $P=5 \text{ mPa}$, zichligi $\rho_z=90 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, bo'lsa, harorati aniqlansin?

6. O'zgaruvchan hajmli silindr shaklidagi berk idishga to'ldirilgan $m = 0,5 \text{ kg}$ massali azot gazining o'zgarmas $t = 260 \text{ } ^\circ\text{C}$ haroratda egallagan hajmi $V_1 = 1,4 \text{ m}^3$ bo'lib, tashqaridan issiqlik berilishi natijasida gaz kengayib $V_2 = 2,6 \text{ m}^3$ hajmni egallagan bo'lsa, berk

idishdagi azot gazining ichki energiyasining o'zgarishi va tizimga berilgan issiqlik miqdori aniqlansin?

7. Me'yoriy sharoitda modda miqdori $\nu = 2 \text{ mol}$ bo'lgan suvning egallashi mumkin bo'lgan maksimal hajmning qiymati aniqlansin?

8. Massasi $m = 1,6 \text{ kg}$ bo'lgan karbonat angidrid gazining boshlang'ich hajmini $V_1 = 1,2 \text{ m}^3$ dan $V_2 = 1,8 \text{ m}^3$ gacha orttirish uchun tashqi kuchlarning bajargan ishi aniqlansin?

9. Po'lat o'tkazgich simning $t = 0^\circ\text{C}$ haroratdagi uzunligi $l_0 = 2 \text{ m}$ bo'lib, o'tkazgich orqali elektr toki oqib o'tishi natijasida uzunligi boshlang'ich qiymatiga nisbatan $\Delta l = 15 \text{ mm}$ ga uzaygan bo'lsa, simning qizish haroratini aniqlang?. Hisoblash ishlarini bajarishda po'lat simning issiqlikdan chizig'iy kengayish koeffitsiyenti $\alpha = 9 \cdot 10^{-6} \text{ grad}^{-1}$ deb hisoblansin.

10. Temir beton ustunning $t = 0^\circ\text{C}$ haroratdagi boshlang'ich hajmi $V_0 = 2,4 \text{ m}^3$ bo'lib, haroratni 30°C gacha ko'tarilishi natijasida temir beton ustunning hajmiy o'zgarishi topilsin?. Hisoblash ishlarini bajarishda temir beton ustunning issiqlikdan hajmiy kengayish koeffitsiyenti $\beta = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ grad}^{-1}$ deb hisoblansin.

Mavzuga oid nazorat savollari

1. Qattiq moddalarning issiqlik o'tkazuvchanligi xususiyatining fizik mohiyatini tushuntiring?

2. Qattiq moddalarning erishi jarayoni sodir etilishining fizik mexanizmini tushuntiring?

3. Issiqlik miqdori deb nimaga aytiladi?

4. Moddalarning solishtirma issiqlik sig'implarining fizik mohiyatini tushuntiring?

5. Gazsimon moddalarning mexanik va issiqlik xususiyatlari orasidagi bog'lanishning fizik mohiyatini izohlang?

6. Qattiq moddalarning erish darajasi asosan qaysi kattaliklarga bog'liq?

7. Moddalarning erish issiqligining fizik mohiyatini tushuntiring?

8. Suyuqlik tomonidan idish tubiga beriladigan gidrostatik bosimni hosil bo'lishining fizik mexanizmini tushuntiring?

9. Gidrostatik bosim suyuqlikning zichligiga qanday bog'liqligini izohlang?

10. Moddalarning issiqlik o'tkazuvchanligi va bug'lanish jaryoni orasidagi bog'liqlikni tushuntiring?

1.5. Qattiq moddalarning mexanik xususiyatlarini tavsiflovchi kattaliklarini aniqlash

➤ Qattiq holatdagi modda tashqi kuch ta'sirida deformatsiyalanadi, bunday holatda moddani tavsiflovchi asosiy fizik kattalik k — elastiklik koeffitsiyenti bo'lib, $k = -\frac{F}{\Delta x}$ (1.1) tenglama bilan aniqlanadi, bu yerda Δx — mutloq deformatsiya, F — deformatsiyalovchi kuchning kattaligi;

➤ Moddaning cho'zilishi yoki siqilishida nisbiy deformatsiya: $\varepsilon_d = \frac{\Delta l}{l}$ (1.2.);

➤ Qattiq moddaning deformatsiyasida mexanik kuchlanish: $\sigma_d = \frac{F}{S}$ (1.3), bu yerda F — elastiklik kuchi, S — moddaning ko'ndalang kesimi yuzasi;

➤ Qattiq moddaning deformatsiyasida mexanik kuchlanish: $\sigma_d = \varepsilon_d \cdot E_d$ (1.4), bu yerda E_d — kattalik qattiq moddaning elastiklik moduli.

➤ Deformatsiyalangan qattiq moddaning potensial energiyasi: $W_p = \frac{k \cdot \Delta l^2}{2}$ (1.5), bu yerda k — moddaning qattqlik koeffitsiyenti, Δl — mutloq uzayishi.

Masalalarni yechish namunalari

Masala

Uzunligi va diametri mos ravishda $l = 5 \text{ m}$ va $d = 3 \text{ sm}$ bo'lgan po'lat sterjenga $m = 2 \cdot 10^3 \text{ kg}$ massali yuk osilgan bo'lsa, po'lat sterjenning σ_d — mexanik kuchlanishi, ε_d — nisbiy va Δl — mutloq uzayishlari topilsin?

Po'lat moddasi uchun elastiklik moduli $E_d = 2 \cdot 10^{11} \frac{\text{Pa} \cdot \text{N}}{\text{m}^2}$ deb hisoblansin.

Berilgan:

$$l = 5 \text{ m}; d = 3 \text{ sm} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ m}; m = 2 \cdot 10^3 \text{ kg};$$

$$E_d = 2 \cdot 10^{11} \frac{\text{Pa} \cdot \text{N}}{\text{m}^2}.$$

Topish kerak: $\sigma_d = ?$, $\varepsilon_d = ?$, $\Delta l = ?$

Yechish:

Masalaning shartida bayon etilishiga muvofiq holda bir uchi mahkamlangan po'lat sterjenga osilgan yukning og'irlik kuchi ta'sirida hosil bo'lgan mexanik kuchlanish $\sigma_d = \frac{F}{S} = \frac{mg}{S}$ (1) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda po'lat sterjenning kesimi yuzasi $S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$ (2) bo'lib, (2) ifodani (1) tenglamaga qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, sterjenda hosil bo'lgan mexanik kuchlanishni quyidagicha aniqlaymiz:

$$\sigma_d = \frac{mg}{S} = \frac{4 \cdot mg}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 10}{3,14 \cdot 9 \cdot 10^{-4}} \approx 2,83 \cdot 10^7 \frac{N}{m^2}.$$

Guk qonuniga asosan σ_d - mexanik kuchlanish ε_d - nisbiy uzayishga to'g'ri proporsional bo'lib, $\sigma_d = \varepsilon_d \cdot E_d$ (3) tenglama bilan ifodalanadi. (3) tenglamadan po'lat sterjenning nisbiy uzayishini quyidagicha topishimiz mumkin:

$$\varepsilon_d = \frac{\sigma_d}{E_d} = \frac{2,83 \cdot 10^7}{2 \cdot 10^{11}} \approx 1,4 \cdot 10^{-4} m.$$

Ushbu holatda ε_d - nisbiy uzayishning Δl - mutloq uzayish orqali $\varepsilon_d = \frac{\Delta l}{l}$ (4) ifodasidan po'lat sterjenning absolyut uzayishini quyidagicha aniqlaymiz:

$$\Delta l = \varepsilon_d \cdot l = 1,4 \cdot 10^{-4} \cdot 5 = 7 \cdot 10^{-4} m.$$

$$\text{Javob: } \sigma_d \approx 2,83 \cdot 10^7 \frac{N}{m^2}, \quad \varepsilon_d \approx 1,4 \cdot 10^{-4} m, \quad \Delta l = 7 \cdot 10^{-4} m.$$

Masala

Bir uchi osmaga mahkamlangan uzunligi $l = 5 m$ va ko'ndalang kesimi yuzasi $S = 2 mm^2$ bo'lgan vertikal osilgan simning ikkinchi uchiga $F = 60 N$ deformatsiyalovchi kuch ta'sir qilishi natijasida $\Delta l = 0,7 mm$ mutloq uzayish sodir etilgan bo'lsa, simning E_d - elastiklik moduli topilsin?

Berilgan:

$$l = 5 m; S = 2 mm^2 = 2 \cdot 10^{-6} m^2; F = 60 N;$$

$$\Delta l = 0,7 mm = 7 \cdot 10^{-4} m.$$

Topish kerak: $E_d = ?$

Yechish:

Masalaning shartida bayon etilgan holatda Guk qonuniga asosan σ_d - mexanik kuchlanish ε_d - nisbiy uzayishga to'g'ri proporsional bo'lib, $\sigma_d = \varepsilon_d \cdot E_d$ (1) tenglama bilan ifodalanadi.

Umumiy holda esa mexanik kuchlanishning $\sigma_d = \frac{F}{S}$ (2) va nisbiy uzayishning $\varepsilon_d = \frac{\Delta l}{l}$ (3) ifodalarini (1) tenglamaga qo'yib, quyidagi tenglikni hosil qilishimiz mumkin: $\frac{F}{S} = E_d \cdot \frac{\Delta l}{l}$ (4). Ushbu (4) tenglamadan masalaning shartiga ko'ra talab etilgan simning elastiklik modulini quyidagicha aniqlaymiz:

$$E_d = \frac{F \cdot l}{S \cdot \Delta l} = \frac{60 \cdot 5}{2 \cdot 10^{-6} \cdot 7 \cdot 10^{-4}} \approx 2,14 \cdot 10^{11} \frac{\text{Pa} \cdot \text{N}}{\text{m}^2}.$$

$$\text{Javob: } E_d \approx 2,14 \cdot 10^{11} \frac{\text{Pa} \cdot \text{N}}{\text{m}^2}.$$

Masala

Og'ir yukni ko'tarish uchun foydalanilgan temir simning uzilib ketishini ta'minlash uchun yetarli bo'lgan qayishqoqlik chegarasi $\sigma_d = 320 \text{ MPa}$ bo'lsa, vertikal holatda osilgan temir sim yukni ko'tarishda uzilib ketmasligi uchun uning uzunligi kamida qanday bo'lishi kerak?

Temir moddasining zichligi $\rho_z = 7800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

Berilgan:

$$\sigma_d = 320 \text{ MPa} = 3,2 \cdot 10^8 \text{ Pa}; \rho_z = 7800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; g \approx 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

Topish kerak: $l=?$

Yechish:

Qattiq moddalarning deformatsiyasida hosil bo'ladigan mexanik kuchlanish umumiy holatda birlik yuzaga ta'sir etuvchi deformatsiya-lovchi kuchga miqdor jihatidan teng bo'lib, $\sigma_d = \frac{F}{S}$ (1) tenglama bilan ifodalanadi. Masalaning shartida bayon etilgan holatda deformatsiya-lovchi kuch - bu yukning og'irlik kuchi bo'lib, $P = mg$ (2) tenglama bilan ifodalanadi. Ushbu holatda jism massasining

$m = \rho_z \cdot V = \rho_z \cdot S \cdot l$ (3) ifodasini va (2) ifodani (1) tenglamaga qo'yib, temir simning uzunligini ifodalovchi tenglamani hosil qilamiz va

tenglamadagi kattaliklarning masala shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli amallarni bajarib, temir simning uzunligini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$l = \frac{\sigma_d}{\rho_z \cdot g} = \frac{3,2 \cdot 10^8}{7800 \cdot 10} \approx 4102 \text{ m.}$$

Javob: $l \approx 4102 \text{ m.}$

Masala

Ko'ndalang kesimi diametri $d = 12 \text{ mm}$ bo'lgan po'lat sim qayishqoqlik chegarasining $\sigma_d = 294 \text{ MPa}$ qiymatidan chiqmasdan qancha massadagi yukni vertikal holatda ko'tarishi mumkin?

Berilgan:

$$\sigma_d = 294 \text{ MPa} = 2,94 \cdot 10^8 \text{ Pa}; \quad d = 12 \text{ mm} = 0,012 \text{ m.}$$

Topish kerak: $m = ?$

Yechish:

Vertikal holatda turgan qattiq moddaning deformatsiyasida deformatsiyalovchi og'irlik kuchi va qattiq moddaning qayishqoqligining chegaraviy qiymatini umumiy holda ifodalovchi $\sigma_d = \frac{P}{S}$ (1) tenglamaga og'irlik kuchining $P = mg$ (2) va po'lat simning silindrik shaklida ekanligini hisobga olgan holda ko'ndalang kesimi yuzasining $S = \pi \cdot \frac{d^2}{4}$ (3) shakldagi ifodalarini (1) tenglamaga qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, yukning massasini quyidagicha aniqlaymiz:

$$m = \frac{\sigma_d \cdot \pi \cdot d^2}{4 \cdot g} = \frac{2,94 \cdot 10^8 \cdot 3,14 \cdot 0,012^2}{4 \cdot 10} \approx 3323 \text{ kg.}$$

Javob: $m \approx 3323 \text{ kg.}$

Masala

Ko'ndalang kesimi diametrlari bir xil bo'lgan qo'rg'oshin va po'latdan tayyorlangan silindrik shakldagi simlar osmaga vertikal mahkamlangan. Simlar bir xil massadagi yuklarni ko'tara olishi uchun uzunliklarining nisbati qanday bo'lishi kerak?

Qo'rg'oshin va po'lat simlarning qayishqoqlik chegaralari mos ravishda

$$\sigma_{d1} = 12,3 \text{ MPa} \quad \text{va} \quad \sigma_{d2} = 294 \text{ MPa};$$

$$\rho_{z1} = 10,5 \frac{\text{gr}}{\text{sm}^{-3}}; \rho_{z2} = 7,8 \frac{\text{gr}}{\text{sm}^{-3}}.$$

Berilgan:

$$\sigma_{d1} = 12,3 \text{ MPa}; \sigma_{d2} = 294 \text{ MPa}.$$

Topish kerak: $\frac{l_1}{l_2} = ?$

Yechish:

Vertikal tik holatda osmaga mahkamlangan simning uzunligi va qayishqoqlik chegarasi orasidagi bog'lanishni ifodalovchi $l = \frac{\sigma_d}{\rho_z \cdot g}$ (1) tenglamani keltirib chiqargan edik (1.5.3-masalaning yechimiga qarang). Bu yerda σ_d va ρ_z – kattaliklar mos ravishda moddaning qayishqoqlik chegarasi va zichligi.

Masalaning shartiga ko'ra (1) tenglamani qo'rg'oshin va po'lat simlar uchun quyidagi shaklda ifodalashimiz mumkin:

$$l_1 = \frac{\sigma_{d1}}{\rho_{z1} \cdot g} \quad (2) \text{ va } l_2 = \frac{\sigma_{d2}}{\rho_{z2} \cdot g} \quad (3).$$

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{\frac{\sigma_{d1}}{\rho_{z1} \cdot g}}{\frac{\sigma_{d2}}{\rho_{z2} \cdot g}} = \frac{\sigma_{d1} \cdot \rho_{z2}}{\sigma_{d2} \cdot \rho_{z1}} = \frac{12,3 \cdot 7,8}{294 \cdot 10,5} \approx 0,03.$$

Javob: $\frac{l_1}{l_2} \approx 0,03.$

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Uzunligi $l=5 \text{ m}$, ko'ndalang kesim yuzasi $s=1 \text{ mm}^2$ bo'lgan va bir uchi osmaga mahkamlangan po'lat simning ikkinchi uchiga $F=150 \text{ N}$ deformatsiyalovchi kuch qo'yilgan. Po'lat simni mutloq va nisbiy uzayishi topilsin?

2. 50 t massali yukni ko'tarish uchun mo'ljallangan $d=3 \text{ mm}$ diametrli o'ram po'lat sim nechta simdan iborat bo'lishi kerak?

3. Uzunligi $l=3 \text{ m}$, kesim yuzasi $s=1,5 \text{ mm}^2$ bo'lgan mis simni $\Delta l=0,1 \text{ mm}$ cho'zish uchun ta'sir etuvchi kuchning qiymati qanday bo'lishi kerak?

4. Osmaga mahkamlangan diametri $d=2,5 \text{ mm}$ bo'lgan singa $m=30 \text{ kg}$ yuk osilgan bo'lsa, simda hosil bo'ladigan mexanik kuchlanish topilsin?

5. Uzunligi $l=12\text{ m}$, ko'ndalang kesimining yuzasi $s=2,5\text{ mm}^2$ bo'lgan simga $m=45\text{ kg}$ yuk osildi. Natijada sim $\Delta l=0,8\text{ mm}$ ga uzaygan bo'lsa, simning elastiklik moduli topilsin?

6. Bir uchi osmaga mahkamlangan qo'rg'oshin sim deformatsiya natijasida uzunligi qanchaga o'zgarguncha uzilib ketmaydi? Qo'rg'oshin moddasi uchun $P_{\max}=0,2\text{ GPa}$.

7. Ko'ndalang kesim diametri $d=2\text{ mm}$ bo'lgan po'lat simning bir uchi osmaga mahkamlangan bo'lib, ikkinchi uchiga $m_1=35\text{ kg}$ yuk osilganda uning uzunligi $l=5\text{ m}$ bo'lgan. Agarda simning ikkinchi uchiga qo'shimcha $m_2=25\text{ kg}$ yuk osilsa, po'lat simning uzunligi qanchaga o'zgaradi?

8. Bir uchi osmaga mahkamlangan uzunligi $l=6\text{ m}$, ko'ndalang kesimining diametri $d=3\text{ mm}$ bo'lgan po'lat simning ikkinchi uchiga deformatsiyalovchi $F=1200\text{ N}$ kuch qo'yilgan bo'lsa, po'lat simning hajmi qanchaga o'zgaradi?

9. Osmaga mahkamlangan kesimning yuzasi $s=3,8\text{ mm}^2$, uzunligi $l=1,2\text{ m}$ bo'lgan po'lat simga qanday deformatsiyalovchi kuch ta'sir etganda po'lat simning uzunligi boshlang'ich qiymatiga nisbatan $\Delta l=0,3\text{ mm}$ uzayadi?

10. Silindrik shakldagi po'lat simning uzunligi $l=3,2\text{ m}$, ko'ndalang kesimining diametri $d=2,5\text{ mm}$ bo'lib, unga deformatsiyalovchi $F=1500\text{ N}$ kuch ta'sir ettirilganda simning kesimi yuzasi qanday o'zgaradi?

Mavzuga oid nazorat savollari

1. Qattiq moddalarni mexanik mustahkamligining fizik mohiyatini tushuntiring va amaliy ahamiyatini izohlang?

2. Qattiq moddalarning mexanik mustahkamligi moddalarni tavsiflovchi qanday asosiy parametrlariga bog'liq?

3. Qattiq moddalar deformatsiyasining qanday turlarini bilasiz va ularning amaliy ahamiyatini qaysi darajada tushundingiz?

4. Qattiq moddalarning mexanik xususiyatlaridan energetika tizimida qanday maqsadlarda foydalaniladi?

5. Elektr energiyasini olis masofalarga uzatishda asosan qanday materiallar qo'llaniladi va nima sababdan?

6. Qattiq moddalarning mexanik mustahkamligi asosan qaysi kattaliklarga bog'liq?

$$\rho_{z1} = 10,5 \frac{gr}{sm^{-3}}; \rho_{z2} = 7,8 \frac{gr}{sm^{-3}}.$$

Berilgan:

$$\sigma_{d1} = 12,3 \text{ MPa}; \sigma_{d2} = 294 \text{ MPa}.$$

Topish kerak: $\frac{l_1}{l_2} = ?$

Yechish:

Vertikal tik holatda osmaga mahkamlangan simning uzunligi va qayishqoqlik chegarasi orasidagi bog'lanishni ifodalovchi $l = \frac{\sigma_d}{\rho_z \cdot g}$ (1) tenglamani keltirib chiqargan edik (1.5.3-masalaning yechimiga qarang). Bu yerda σ_d va ρ_z – kattaliklar mos ravishda moddaning qayishqoqlik chegarasi va zichligi.

Masalaning shartiga ko'ra (1) tenglamani qo'rg'oshin va po'lat simlar uchun quyidagi shaklda ifodalashimiz mumkin:

$$l_1 = \frac{\sigma_{d1}}{\rho_{z1} \cdot g} \quad (2) \text{ va } l_2 = \frac{\sigma_{d2}}{\rho_{z2} \cdot g} \quad (3).$$

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{\frac{\sigma_{d1}}{\rho_{z1} \cdot g}}{\frac{\sigma_{d2}}{\rho_{z2} \cdot g}} = \frac{\sigma_{d1} \cdot \rho_{z2}}{\sigma_{d2} \cdot \rho_{z1}} = \frac{12,3 \cdot 7,8}{294 \cdot 10,5} \approx 0,03.$$

Javob: $\frac{l_1}{l_2} \approx 0,03$.

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Uzunligi $l=5 \text{ m}$, ko'ndalang kesim yuzasi $s=1 \text{ mm}^2$ bo'lgan va bir uchi osmaga mahkamlangan po'lat simning ikkinchi uchiga $F=150 \text{ N}$ deformatsiyalovchi kuch qo'yilgan. Po'lat simni mutloq va nisbiy uzayishi topilsin?

2. 50 t massali yukni ko'tarish uchun mo'ljallangan $d=3 \text{ mm}$ diametrli o'ram po'lat sim nechta simdan iborat bo'lishi kerak?

3. Uzunligi $l=3 \text{ m}$, kesim yuzasi $s=1,5 \text{ mm}^2$ bo'lgan mis simni $\Delta l=0,1 \text{ mm}$ cho'zish uchun ta'sir etuvchi kuchning qiymati qanday bo'lishi kerak?

4. Osmaga mahkamlangan diametri $d=2,5 \text{ mm}$ bo'lgan simga $m=30 \text{ kg}$ yuk osilgan bo'lsa, simda hosil bo'ladigan mexanik kuchlanish topilsin?

5. Uzunligi $l=12\text{ m}$, ko'ndalang kesimining yuzasi $s=2,5\text{ mm}^2$ bo'lgan simga $m=45\text{ kg}$ yuk osildi. Natijada sim $\Delta l=0,8\text{ mm}$ ga uzaygan bo'lsa, simning elastiklik moduli topilsin?

6. Bir uchi osmaga mahkamlangan qo'rg'oshin sim deformatsiya natijasida uzunligi qanchaga o'zgarguncha uzilib ketmaydi? Qo'rg'oshin moddasi uchun $P_{max}=0,2\text{ GPa}$.

7. Ko'ndalang kesim diametri $d=2\text{ mm}$ bo'lgan po'lat simning bir uchi osmaga mahkamlangan bo'lib, ikkinchi uchiga $m_1=35\text{ kg}$ yuk osilganda uning uzunligi $l=5\text{ m}$ bo'lgan. Agarda simning ikkinchi uchiga qo'shimcha $m_2=25\text{ kg}$ yuk osilsa, po'lat simning uzunligi qanchaga o'zgaradi?

8. Bir uchi osmaga mahkamlangan uzunligi $l=6\text{ m}$, ko'ndalang kesimining diametri $d=3\text{ mm}$ bo'lgan po'lat simning ikkinchi uchiga deformatsiyalovchi $F=1200\text{ N}$ kuch qo'yilgan bo'lsa, po'lat simning hajmi qanchaga o'zgaradi?

9. Osmaga mahkamlangan kesimning yuzasi $s=3,8\text{ mm}^2$, uzunligi $l=1,2\text{ m}$ bo'lgan po'lat simga qanday deformatsiyalovchi kuch ta'sir etganda po'lat simning uzunligi boshlang'ich qiymatiga nisbatan $\Delta l=0,3\text{ mm}$ uzayadi?

10. Silindrik shakldagi po'lat simning uzunligi $l=3,2\text{ m}$, ko'ndalang kesimining diametri $d=2,5\text{ mm}$ bo'lib, unga deformatsiyalovchi $F=1500\text{ N}$ kuch ta'sir ettirilganda simning kesimi yuzasi qanday o'zgaradi?

Mavzuga oid nazorat savollari

1. Qattiq moddalarni mexanik mustahkamligining fizik mohiyatini tushuntiring va amaliy ahamiyatini izohlang?

2. Qattiq moddalarning mexanik mustahkamligi moddalarni tavsiflovchi qanday asosiy parametrlariga bog'liq?

3. Qattiq moddalar deformatsiyasining qanday turlarini bilasiz va ularning amaliy ahamiyatini qaysi darajada tushundingiz?

4. Qattiq moddalarning mexanik xususiyatlaridan energetika tizimida qanday maqsadlarda foydalaniladi?

5. Elektr energiyasini olis masofalarga uzatishda asosan qanday materiallar qo'llaniladi va nima sababdan?

6. Qattiq moddalarning mexanik mustahkamligi asosan qaysi kattaliklarga bog'liq?

7. Deformatsiyalangan qattiq moddalarni potensial energiyasining fizik mazmunini tushuntiring?

8. Nisbiy deformatsiya deganda nimani tushundingiz va fizik mohiyatini qanday izohlaysiz?

9. Elastiklik koeffitsiyentining fizik mohiyatini tushuntiring?

10. Qattiq moddalarning deformatsiya darajasi uning geometrik o'lchamlariga qanday bog'liq?

1.6. Elektr texnik materiallarning elektrofizik parametrlarini aniqlash

➤ Nuqtaviy zaryadning elektr maydoni kuchlanganligi:

$E = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2}$ (1.1) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda ϵ — muhitning dielektrik singdiruvchanligi, ϵ_0 — elektr doimiysi $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m}$, q — zaryad miqdori, r — masofa.

➤ Nuqtaviy zaryad elektr maydonining potentsiali $\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r}$ (1.2);

➤ Izolyatsiyalangan o'tkazgichning elektr sig'imi: $C = \frac{q}{\varphi}$ (1.3);

➤ Ikki o'tkazgich orasida elektr sig'imi: $C = \frac{q}{\Delta\varphi}$ (1.4), bu yerda $\Delta\varphi = (\varphi_1 - \varphi_2)$ potentsiallar farqi;

➤ Tok kuchi: $I = \frac{q}{t}$ (1.5);

➤ Tok zichligi: $j = \frac{I}{S}$ (1.6);

➤ Silindr shaklidagi o'tkazgichning R — elektr qarshiligi: $R = \rho \frac{l}{S}$ (1.7), bu yerda ρ — solishtirma elektr qarshilik, l — uzunligi, S — kesim yuzasi;

➤ O'tkazgich elektr qarshiligining haroratga bog'liqligi: $R_t = R_0(1 + \alpha t)$ (1.6.8), bu yerda α — o'tkazgich moddasining harorat koeffitsiyenti;

➤ O'tkazgichdan elektr toki oqib o'tishi natijasida ajralib chiqqan issiqlik miqdori: $Q = I^2 R t$ (1.9);

➤ Konturda hosil bo'lgan ϵ_i — o'zinduksiya elektr yurituvchi kuchi: $\epsilon_i = -L \cdot \frac{di}{dt}$ (1.10), bu yerda L — induktivlik.

Masalalarni yechish namunalari

Masala

Bir-biriga nisbatan $r=10$ sm masofada turgan 2 ta bir xil zaryad vakuumda $F=4$ mN kuch bilan o'zaro ta'sirlashsa, har qaysi zaryad miqdori topilsin?

Berilgan:

$$R=10 \text{ sm}=0,1 \text{ m}; q_1=q_2=q; F=4 \text{ mN}=4 \cdot 10^{-3} \text{ N};$$

$$\varepsilon = 1; \varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}.$$

Topish kerak: $q_1=q_2=?$

Yechish:

Zaryadli zarrachalarning o'zaro ta'sir kuchini kattalik jihatidan ifodalovchi Sh.Kulon qonuniga asosan zaryadli zarrachalarning o'zaro ta'sir kuchi $F = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$ (1) tenglama bilan ifodalanadi.

Ushbu holatda har ikki zaryadning o'zaro teng, ya'ni $q_1=q_2$ ekanligini e'tiborga olsak, (1) tenglamani quyidagicha ifodalashimiz mumkin: $q = \sqrt{F \cdot 4 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot r^2} = r \cdot \sqrt{F \cdot 4 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0}$ (2).

Tenglamadagi kattaliklarning masala shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik ammallarni bajarib, zaryad miqdorini topamiz:

$$q = r \cdot \sqrt{F \cdot 4 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0} = \sqrt{4 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} = 6,68 \cdot 10^{-8} \text{ C}.$$

$$\text{Javob: } q_1=q_2=6,68 \cdot 10^{-8} \text{ C}.$$

Masala

Uzunliklari va elektr qarshiliklari o'zaro teng bo'lgan mis va alyuminiy o'tkazgichlarning ko'ndalang kesim diametrlari va massalari nisbati aniqlansin?

Berilgan:

$$\rho_{\text{Cu}}=1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Om} \cdot \text{m}; \rho_{\text{Al}}=2,6 \cdot 10^{-8} \text{ Om} \cdot \text{m}; D_{\text{Cu}}=8,93 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3};$$

$$D_{\text{Al}}=2,7 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; l_1=l_2; R_{\text{Al}}=R_{\text{Cu}}.$$

$$\text{Topish kerak: } \frac{d_{\text{Al}}}{d_{\text{Cu}}}=? \quad \frac{m_{\text{Al}}}{m_{\text{Cu}}}=?$$

Yechish

O'tkazgichlarning elektr qarshiligi umumiy holatda $R = \rho \frac{l}{s} = \rho \frac{l}{\pi \frac{d^2}{4}} = \rho \frac{4l}{\pi d^2}$ (1) tenglama bilan ifodalanadi.

Tenglamani mis va alyuminiy o'tkazgichlar uchun quyidagicha ifodalaymiz: $R_{Cu} = \rho_{Cu} \cdot \frac{4l_1}{\pi d_{Cu}^2}$ (2) va $R_{Al} = \rho_{Al} \cdot \frac{4l_2}{\pi d_{Al}^2}$ (3), bu yerda ρ_{Cu} va ρ_{Al} – mis va alyuminiy o'tkazgichlarning solishtirma elektr qarshiliklari.

Masalaning shartiga ko'ra o'tkazgichlarning elektr qarshiliklari o'zaro tengligini e'tiborga olib, (2) va (3) tenglamalardan quyidagi tenglikni hosil qilamiz: $\rho_{Cu} \cdot \frac{4l_1}{\pi d_{Cu}^2} = \rho_{Al} \cdot \frac{4l_2}{\pi d_{Al}^2}$ (4), bu yerdan $\frac{d_{Al}}{d_{Cu}}$ – nisbatni quyidagicha aniqlaymiz:

$$\frac{d_{Al}}{d_{Cu}} = \sqrt{\frac{\rho_{Al}}{\rho_{Cu}}} = \sqrt{\frac{2,6 \cdot 10^{-8}}{1,7 \cdot 10^{-8}}} \approx 1,24.$$

O'tkazgich massasini zichlik orqali ifodasini umumiy holda $m = D \cdot V$ (5) shaklda yozib, masalaning shartiga muvofiq mis va alyuminiy o'tkazgichlar uchun quyidagicha ifodalaymiz: $m_{Cu} = D_{Cu} \cdot V = D_{Cu} \cdot s_1 \cdot l_1 = D_{Cu} \cdot \frac{\pi d_1^2}{4} \cdot l_1$ (6) va $m_{Al} = D_{Al} \cdot \frac{\pi d_2^2}{4} \cdot l_2$ (7). Tenglamalarni o'ng va chap tomonlarini hadma-had bo'lib $\frac{m_{Al}}{m_{Cu}}$ – massalari nisbatini aniqlaymiz:

$$\frac{m_{Al}}{m_{Cu}} = \frac{D_{Al} \cdot \frac{\pi d_2^2}{4} \cdot l_2}{D_{Cu} \cdot \frac{\pi d_1^2}{4} \cdot l_1} \cdot \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 = \frac{2,7 \cdot 10^3}{8,93 \cdot 10^3} \cdot (1,24)^2 \approx 0,46.$$

Javob: $\frac{m_{Al}}{m_{Cu}} = 0,46.$

Masala

Mis o'tkazgichda xona haroratida elektronlarning erkin yugurish yo'li topilsin?

Berilgan:

$$\rho_{Cu} = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ om} \cdot \text{m}; T = 300 \text{ K}; N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}; \\ h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}; \mu_{Cu} = 63,5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}; e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl};$$

$$D_{Cu} = 8,92 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

Topish kerak: $\bar{l} = ?$

Yechish

Kvant nazariyasiga muvofiq moddaning solishtirma elektr qarshiligi $\bar{l}$ – elektronlarning erkin yugurish yo‘li orqali quyidagicha ifodalanadi:

$\rho = \left(\frac{3}{8\pi}\right)^{1/3} \cdot \frac{h}{e^2 \cdot h^{2/3} \cdot \bar{l}}$ (1), bu yerda n – moddada erkin elektronlar konsentratsiyasi, h – Plank doimiysi. Mis o‘tkazgichdagi n – erkin elektronlar konsentratsiyasini $n = \frac{N_0}{\mu} \cdot D_{Cu}$ (2) tenglamadan aniqlaymiz:

$$n = \frac{6,02 \cdot 10^{23}}{63,5 \cdot 10^{-3}} \cdot 8,92 \cdot 10^3 \approx 8,45 \cdot 10^{28} \text{ m}^{-3}.$$

Bu holda elektronlarning erkin yugurish yo‘lini (1) tenglamadan quyidagicha aniqlaymiz:

$$\bar{l} = \left(\frac{3}{8\pi}\right)^{1/3} \cdot \frac{h}{e^2 \cdot h^{2/3} \cdot \rho} = \left(\frac{3}{8 \cdot 3,14}\right)^{1/3} \cdot \frac{6,62 \cdot 10^{-34}}{(1,6 \cdot 10^{-19})^2 \cdot (8,45 \cdot 10^{28})^{2/3} \cdot 1,7 \cdot 10^{-8}} \approx 3,9 \cdot 10^{-8} \text{ m}.$$

Javob: $\bar{l} = 3,9 \cdot 10^{-8} \text{ m}.$

Masala

Alyuminiy o‘tkazgichning uchlariga $U = 2 \text{ V}$ elektr kuchlanish berilgan. O‘tkazgichning uzunligi $l = 5 \text{ m}$, kesim yuzasi diametri $d = 0,4 \text{ mm}$ bo‘lsa, $t = 10 \text{ s}$ vaqtda o‘tkazgichdan o‘tgan erkin elektronlar topilsin?

Berilgan:

$$U = 2 \text{ V}; l = 5 \text{ m}; d = 0,4 \text{ mm} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ m}; t = 10 \text{ s}; \rho_{Al} = 2,6 \cdot 10^{-8} \text{ om} \cdot \text{m}.$$

Topish kerak: $N = ?$

Yechish:

Zanjirning bir qismi uchun G.Om qonuniga asosan o‘tkazgichdan o‘tgan tok kuchi: $I = \frac{U}{R}$ (1) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda

$$R \text{ – alyuminiy o‘tkazgichning elektr qarshiligi } R_{Al} = \rho_{Al} \cdot \frac{4l}{\pi \cdot d^2} \text{ (2).}$$

Tok kuchining umumiy holdagi $I = \frac{q}{t} = \frac{N \cdot e}{t}$ (3) tenglamasini (1)

ifodaga qo'yib, quyidagi tenglamani hosil qilamiz: $\frac{N \cdot e}{t} = \frac{U}{\rho_{Al} \pi \cdot d^2}$ (4), bu

yerdan elektronlar sonini quyidagicha aniqlaymiz:

$$N = \frac{U \cdot t \cdot \pi \cdot d^2}{e \cdot \rho_{Al} \cdot 4l} = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot 14 \cdot (4 \cdot 10^{-4})^2}{2,6 \cdot 10^{-8} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 4,5} \approx 1,21 \cdot 10^{19}$$

Javob: $N = 1,21 \cdot 10^{19}$ ta.

Masala

Uzunligi $l = 10$ m bo'lgan $U = 5$ V kuchlanish ostida turgan temir o'zakdagi tok zichligi topilsin?

Berilgan:

$$U = 5 \text{ V}; l = 10 \text{ m}; \rho_{Fe} = 9,8 \cdot 10^{-8} \text{ Om} \cdot \text{m}.$$

Topish kerak: $j = ?$

Yechish:

Elektr zanjirning bir qismi uchun G.Om qonuniga asosan temir o'zakdagi tok kuchi: $I = \frac{U}{R}$ (1) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda temir

o'tkazgichning qarshiligini $R_{Fe} = \rho_{Fe} \cdot \frac{l}{S}$ (2) ifodani (1) tenglamaga

qo'yib quyidagi tenglikni hosil qilamiz $I = \frac{U}{\rho_{Fe} \cdot \frac{l}{S}} = \frac{U \cdot S}{\rho_{Fe} \cdot l}$ (3) va tok

zichligini $j = \frac{I}{S} = \frac{U}{\rho_{Fe} \cdot l}$ (4) tenglamadan aniqlaymiz:

$$j = \frac{5}{9,8 \cdot 10^{-8} \cdot 10} \approx 5,1 \cdot 10^6 \frac{\text{A}}{\text{m}^2}.$$

Javob: $j = 5,1 \cdot 10^6 \frac{\text{A}}{\text{m}^2}$.

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Harorati $T = 350$ K bo'lgan mis o'tkazgichda elektronlarni erkin yurish yo'li topilsin?

Hisoblash ishlarini bajarishda mis o'tkazgichning solishtirma elektr qarshiligi $\rho_{Cu} = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Om} \cdot \text{m}$ deb hisoblansin.

2. Kumush o'tkazgichning $T=300\text{ K}$ xona haroratida solishtirma elektr qarshiligi $\rho_{Ag}=1,5 \cdot 10^{-8}\text{ om}\cdot\text{m}$, material solishtirma elektr qarshiligining harorat koeffitsiyenti $\alpha=4,1 \cdot 10^{-3}\text{ K}^{-1}$ bo'lsa, o'tkazgichni $T=1000\text{ K}$ haroratgacha qizdirganda elektronlarning erkin yugurish yo'li necha marta o'zgaradi?

3. Mis o'tkazgich simning uchlariga $U=12\text{ V}$ kuchlanish berilganda kesim yuzasidan o'tgan elektronlar soni topilsin?

Hisoblash ishlarini bajarishda mis o'tkazgichning uzunligi $l=5\text{ m}$, ko'ndalang kesimining diametrlari $d=0,58\text{ mm}$ deb hisoblansin.

4. Metall o'tkazgichdagi erkin elektronlarning konsentratsiyasi $n=5 \cdot 10^{28}\text{ m}^{-3}$, o'tkazgich ko'ndalang kesimi yuzasining diametri $d=3,5\text{ mm}$ va o'tkazgichdan o'tayotgan tok kuchi $I=5\text{ A}$ bo'lsa, elektronlarni dreyf tezligining o'rtacha qiymati aniqlansin?

5. Elektr o'tkazgich materialining $t_1=20^\circ\text{C}$ haroratdagi elektr qarshiligi $R_1=20\text{ Om}$, $t_2=600^\circ\text{C}$ haroratdagi qarshiligi $R_2=60\text{ Om}$ bo'lsa, qarshilikning harorat koeffitsiyenti topilsin?

6. Mis o'tkazgichning har bir atomiga elektr o'tkazuvchanlikda ishtirok etuvchi bitta erkin elektron mos keladi deb hisoblansa, $l=20\text{ km}$ uzunlikdagi va ko'ndalang kesimining yuzasi $s=1,2\text{ mm}^2$ bo'lgan mis o'tkazgichning uchlariga $U=24\text{ V}$ o'zgarmas kuchlanish qo'yilganda erkin elektronlarni o'tkazgichning bir uchidan ikkinchi uchiga ko'chib o'tishi uchun qancha vaqt talab etiladi?

7. Metall o'tkazgichda erkin elektronlarning konsentratsiyasi $n=7 \cdot 10^{28}\text{ m}^{-3}$, ularning harakatchanligi $\mu_n=2 \frac{\text{m}^2}{\text{V}\cdot\text{s}}$ bo'lsa, o'tkazgichning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi topilsin?

8. Cho'g'lanma elektr yoritish chirog'i volfram tolasining diametri $d=0,02\text{ mm}$, o'tkazgich orqali o'tayotgan tok kuchi $I=0,25\text{ A}$ bo'lsa, volfram tola orqali oqib o'tayotgan tok zichligi aniqlansin?

9. Alyuminiy o'tkazgichning $t_1=20^\circ\text{C}$ haroratdagi elektr qarshiligi $R=28\text{ Om}$ bo'lsa, $t_2=70^\circ\text{C}$ haroratdagi elektr qarshiligi topilsin?

10. Elektr qarshiligi $R=0,35\text{ Om}$ bo'lgan reostatni yasash uchun kesimining diametri $d=0,02\text{ mm}$ bo'lgan nikel materialidan qancha uzunlik va massa talab etiladi?

II-BOB. DIELEKTRIK MATERIALLAR

2.1. Dielektrik moddalarining fizikaviy xususiyatlari

➤ Dielektrik muhitda joylashgan ikkita q_1 va q_2 nuqtaviy zaryadlarning o'zaro ta'sir kuchi: $F = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$ (2.1) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda ϵ - kattalik muhitning dielektrik singdiruvchanligi.

➤ Dielektrik muhitda nuqtaviy zaryad hosil qilgan elektr maydoni kuchlanganligi: $E = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2}$ (2.2).

➤ Dielektrik muhitda nuqtaviy zaryadning potentsiali:

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r} \quad (2.3).$$

➤ Muhitning dielektrik singdiruvchanligi: $\epsilon = \frac{F_0}{F} = \frac{E_0}{E}$ (2.4), $\epsilon = \frac{C}{C_0}$ (2.5) tenglamalar bilan ifodalanadi;

Masalalarni yechish namunalari

Masala

Dielektrik ichida joylashtirilgan $m=2 \cdot 10^{-8} \text{ kg}$ massali, $q=1,8 \cdot 10^{-9} \text{ Kl}$ zaryadli zarraga tashqi $E_0=180 \frac{\text{V}}{\text{m}}$ tik yo'nalgan elektr maydon ta'sirida muallaq holatda turga bo'lsa, ϵ —dielektrik singdiruvchanlik topilsin?

Berilgan:

$$m=2 \cdot 10^{-8} \text{ kg}; q=1,8 \cdot 10^{-9} \text{ Kl}; E_0=180 \frac{\text{V}}{\text{m}}; g=9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

Topish kerak: $\epsilon=?$

Yechish:

Masalaning shartig ko'ra muallaq holatda turgan q —zaryadli zarrachaga ta'sir etuvchi $P=mgh$ (1) og'irlik kuchi va unga qarama-qarshi yo'nalishda $F=q \cdot E$ (2) ta'sir etuvchi kuchlar modul jihatdan teng ekanligi hamda dielektrik moddaning ichida E —elektr maydon kuchlanganligi $E = \frac{E_0}{\epsilon}$ (3) ekanligini hisobga olgan holda (1), (2) va (3) tenglamalardan ϵ —dielektrik singdiruvchanlikni quyidagicha aniqlaymiz: $F=qE=q \cdot \frac{E_0}{\epsilon}=mg$ (4), bu yerdan, $\epsilon = \frac{q \cdot E_0}{mg}$ (5) tenglamani hosil qilamiz. Tenglamadagi kattaliklarning masala shartida berilgan son

qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amllarni bajarib, dielektrik singdiruvchanlikni topamiz:

$$\varepsilon = \frac{q \cdot E_0}{mg} = \frac{1,8 \cdot 10^{-9} \cdot 180}{2 \cdot 9,8 \cdot 10^{-8}} \approx 1,65.$$

Javob: $\varepsilon=1,65$.

Masala

Bir-biriga nisbatan $r_1=5$ sm masofada havoda turgan zaryadlar $F_1=120$ mkN, biror bir ε_2 dielektrik suyuqlikda $r_2=10$ sm masofada $F_2=15$ mkN kuch bilan ta'shirlashsa, suyuqlikning dielektrik singdiruvchanligi topilsin?

Berilgan:

$$r_1=5 \text{ sm}=0,05 \text{ m}; F_1=120 \text{ mkN}; F_2=15 \text{ mkN}; \\ \varepsilon_1=1; r_2=10 \text{ sm}=0,1 \text{ m}; \varepsilon_0=8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}.$$

Topish kerak: $\varepsilon_2=?$

Yechish:

Zaryadli zarralarning havoda va dielektrik muhitda o'zaro ta'sir kuchlari mos ravishda Sh. Kulon qonuniga asosan quyidagicha ifodalanadi:

$$F_1 = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r_1^2} \quad (1) \quad F_2 = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r_2^2} \quad (2).$$

(1) va (2) tenglamalarni o'ng va chap tomonlarini bo'lib, quyidagi tenglikni hosil qilamiz:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{\frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r_1^2}}{\frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r_2^2}} = \frac{\varepsilon_2 \cdot r_2^2}{\varepsilon_1 \cdot r_1^2} = \varepsilon_2 \cdot \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2 \quad (3).$$

Tenglamadan suyuq dielektrik moddaning ε_2 dielektrik singdiruvchanligini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_1 \cdot \frac{F_1 \cdot r_1^2}{F_2 \cdot r_2^2} = 1 \cdot \frac{120}{15} \cdot \left(\frac{5}{10}\right)^2 = 2.$$

Javob: $\varepsilon_2=2$.

Masala

Bir-biriga nisbatan $r_1=10$ sm masofada havoda turgan 2 ta zaryad $F_1=20$ mN biror bir ϵ_2 dielektrik singdiruvchanligi muhitda $r_2=20$ sm masofada $F_2=2$ mN kuch bilan ta'sirlashsa m, ϵ_2 muhitning dielektrik singdiruvchanligi topilsin?

Berilgan:

$$r_1=10 \text{ sm}=0,1 \text{ m}; F_1=20 \text{ mN}=20 \cdot 10^{-3} \text{ N}; F_2=2 \text{ mN}=2 \cdot 10^{-3} \text{ N};$$

$$\epsilon_1=1; r_2=20 \text{ sm}=0,2 \text{ m}; \epsilon_0=8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}$$

Topish kerak: $\epsilon_2=?$

Yechish:

Zaryadli zarralarning o'zaro ta'sir kuchi Sh.Kulon qonuniga asosan:

$$F = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \quad (1) \text{ tenglama bilan ifodalanadi. (1) tenglamani har ikki}$$

$$\text{holat uchun tadbiq etsak } F_1 = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_1 \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r_1^2} \quad (2) \text{ va } F_2 = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_2 \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r_2^2} \quad (3).$$

Tenglamalarni o'ng va chap tomonlarini bo'lib, quyidagi tenglikni hosil qilamiz:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{\frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_1 \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r_1^2}}{\frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_2 \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r_2^2}} \quad (3) \quad \text{yoki} \quad \frac{F_1}{F_2} = \frac{\epsilon_2 \cdot r_2^2}{\epsilon_1 \cdot r_1^2} \quad (4).$$

Tenglamadan ϵ_2 — muhitning dielektrik singdiruvchanligini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$\epsilon_2 = \epsilon_1 \cdot \frac{F_2 \cdot r_2^2}{F_1 \cdot r_1^2} = 1 \cdot \frac{20 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-3}} \cdot \left(\frac{0,1}{0,2}\right)^2 = 2,5.$$

Javob: $\epsilon_2=2,5$.

Masala

Havoda turgan zaryadli zarraning $r_1=10$ sm masofadagi nuqtada elektr maydon kuchlanganligi $E=18 \frac{\text{V}}{\text{m}}$ bo'lsa, ushbu zaryadning dielektrik singdiruvchanligi $\epsilon_2=6$ bo'lgan dielektrik muhitda $r_2=20$ sm masofadagi nuqtada potentsiali topilsin?

Berilgan:

$$r_1=10 \text{ sm}=0,1 \text{ m}; E=18 \frac{\text{V}}{\text{m}}; \epsilon_1=1; r_2=20 \text{ sm}=0,2 \text{ m};$$

$$\epsilon_z=1; \epsilon_0=8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}.$$

Topish kerak: $\varphi=?$

Yechish:

Zaryadli nuqtaviy zarradan r – masofada joylashgan nuqtadagi elektr maydoni kuchlanganligi umumiy holatda $E = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2}$ (1) tenglama bilan ifodalanadi.

Masalaning shartiga ko'ra zaryad havoda joylashgan 1 – holatda havoning dielektrik singdiruvchanligi $\epsilon_1=1$ ekanligini e'tiborga olib, zaryad miqdorini ifodalovchi quyidagi tenglikni hosil qilamiz:

$$q = E \cdot 4 \cdot \pi \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot r^2 \quad (2), \text{ bu yerdan zaryad miqdorini topsak:}$$

$$q = E \cdot 4 \cdot \pi \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot r_1^2 = 18 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 0,1^2 \\ = 2 \cdot 10^{-11} \text{ Kl.}$$

Elektr maydoni potensialining umumiy holatdagi $\varphi = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{q}{r}$ (3) tenglamasidan kattaliklarning masala shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, maydon potensialini quyidagicha aniqlaymiz:

$$\varphi = \frac{1}{4 \cdot 3,14 \cdot 6 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \cdot \frac{2 \cdot 10^{-11}}{0,2^2} \approx 75 \text{ V.}$$

Javob: $\varphi \approx 75 \text{ V.}$

Masala

Biri-biriga nisbatan havoda $\epsilon_1=1$ va dielektrik singdiruvchanligi $\epsilon_2 = 8$ bo'lgan dielektrik muhitda bir xil r masofada turgan q_1 va q_2 zaryadlarning o'zaro ta'sir potensial energiyalarining nisbati topilsin?

Berilgan:

$$\epsilon_1=1; r_1=r_2=r; \epsilon_2=8.$$

Topish kerak: $\frac{W_{p1}}{W_{p2}}=?$

Yechish:

Masalaning shartiga ko'ra bir-biriga nisbatan biror masofada joylashgan ikkita q_1 va q_2 zaryadlarning o'zaro ta'sir potensial energiyasi umumiy holatda $W_p = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{q}{r}$ (1) tenglama bilan ifodalanadi. Masalaning shartiga ko'ra zaryadlarni havoda va dielektrik

muhitda joylashgan holatlari uchun (1) tenglamani quyidagicha ifodalaymiz: $W_{p1} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_1 \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{q_1}{r}$ (2) va $W_{p2} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_2 \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{q_2}{r}$ (3).

Zaryadlarning o'zaro ta'sir potensial energiyalarining nisbatini (2) va (3) tenglamalarni hadma-had bo'lib, quyidagicha aniqlaymiz:

$$\frac{W_{p1}}{W_{p2}} = \frac{\frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_1 \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{q_1}{r}}{\frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_2 \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{q_2}{r}} = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} = 8$$

Javob: $\frac{W_{p1}}{W_{p2}} = 8.$

Masala

Qoplamalarining yuzasi $S = 150 \text{ sm}^2$ bo'lgan yassi kondensator qoplamalari orasiga $d_1 = 5 \text{ mm}$ qalinlikdagi shisha va $d_2 = 2 \text{ mm}$ qalinlikdagi ebonit joylashtirilib, kondensator $U = 500 \text{ V}$ kuchlanish-gacha zaryadlangan bo'lsa, kondensatorning sig'imi, har bir qatlamdagi elektr maydonining induksiyasi va kuchlanganligi topilsin?

Berilgan:

$$U = 500 \text{ V}; S = 150 \text{ sm}^2 = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2;$$

$$d_1 = 5 \text{ mm} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}; d_2 = 2 \text{ mm} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m};$$

$$\epsilon_1 = 7; \epsilon_2 = 3.$$

Topish kerak: $C = ?$, $D = ?$, $E = ?$

Yechish

Masalaning shartiga ko'ra aniqlanishi talab etilayotgan D – elektr maydoni induksiyasi va E – elektr maydonining kuchlanganligi yassi kondensator misolida bo'lganligi sababli ushbu masalaning yechimini kondensatorlarni tavsiflovchi asosiy fizik kattaliklaridan biri bo'lgan elektr sig'im orqali aniqlashimiz mumkin. Ma'lumki, elektr sig'imining ta'rifiga muvofiq kondensatorning elektr sig'imi umumiy holda $C = \frac{q}{U}$ (1) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda q -kondensator qoplamalarida to'plangan zaryad miqdori, U -kondensator qoplamalari orasidagi potentsiallar farqi yoki kuchlanish. Masalaning shartida bayon etilishiga ko'ra yassi kondensator qoplamalari orasiga joylashtirilgan dielektrik moddalar ikkita qatlamdan iborat bo'lganligi sababli qoplamalar orasidagi elektr kuchlanishi har bir qatlamdagi potensial tushuvlarning yig'indisidan iborat bo'lib, quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$U = U_1 + U_2$ (2). Ushbu holatda (1) va (2) tengliklarni o'zaro tenglashtirib kondensatorning sig'imini ifodalovchi quyidagi tenglikni hosil qilamiz: $C = \frac{q}{U_1 + U_2}$ (3).

Kondensator qoplamalari orasidagi dielektrik qatlamlarda potensial tushuvlarining D elektr maydon induksiya vektori orqali quyidagi ifodalarini keltirib chiqarib:

$$U_1 = E_1 \cdot d_1 = \frac{D \cdot d_1}{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_1} \quad (4) \text{ va } U_2 = E_2 \cdot d_2 = \frac{D \cdot d_2}{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_2} \quad (5).$$

Ushbu (4) va (5) ifodalarni (3) tenglamaga qo'yib, kondensatorning sig'imini ifodalovchi quyidagi tenglamani hosil qilamiz:

$$C = \frac{\sigma \cdot S}{\frac{D \cdot d_1}{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_1} + \frac{D \cdot d_2}{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_2}} \quad (6).$$

Ma'lumki, D elektr maydon induksiya vektori dielektrik muhitga bog'liq bo'lmaganligi sababli, ushbu holatda $D = \sigma$ (7) tenglik o'rinli ekanligini e'tiborga olgan holda, (6) tenglamada matematik soddalashtirish amallarini bajarib, yassi kondensator sig'imini ifodalovchi quyidagi tenglamani keltirib chiqaramiz:

$$C = \frac{\varepsilon_0 \cdot S}{\frac{d_1}{\varepsilon_1} + \frac{d_2}{\varepsilon_2}} \quad (8).$$

Tenglamadagi kattaliklarning masala shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, masalaning shartida aniqlanishi talab etilgan yassi kondensatorning elektr sig'imining son qiymatini quyidagicha aniqlaymiz:

$$C = \frac{\varepsilon_0 \cdot S}{\frac{d_1}{\varepsilon_1} + \frac{d_2}{\varepsilon_2}} = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 1,5 \cdot 10^{-2}}{\frac{5 \cdot 10^{-3}}{7} + \frac{2 \cdot 10^{-3}}{3}} \approx 9,6 \cdot 10^{-11} \text{ F}.$$

Yuqorida bajarilgan amallarni hisobga olgan holda yassi kondensator qoplamalari orasiga joylashtirilgan dielektrik muhitlardagi elektr maydoni induksiya vektori har bir dielektrik qatlamdagi potensial tushuvlari orqali quyidagicha aniqlashimiz mumkin. Buning uchun avvalo D – elektr maydoni induksiya vektori hamda E – elektr maydoni kuchlanganligi va potensial tushuvining o'zaro bog'liqliqligini umumiy holatda ifodalovchi $D = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot E = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot \frac{U}{d}$ (9) tenglamadagi kattaliklarni masalaning shartiga ko'ra xususiy holatda ifodalovchi

quyidagi (10), (11), (12) ifodalarini (9) tenglamaga qo'yib, tegishli matematik soddalashtirishlarni amalga oshirib, D – elektr maydoni induksiya vektorini ifodalovchi quyidagi tenglikni keltirib chiqaramiz:

$$U = U_1 + U_2 \quad (10), \quad U_1 = \frac{D \cdot d_1}{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_1} \quad (11)$$

$$U_2 = \frac{D \cdot d_2}{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_2} \quad (12),$$

$$D = \frac{\varepsilon_0 \cdot U}{\frac{d_1}{\varepsilon_1} + \frac{d_2}{\varepsilon_2}} \quad (13).$$

Yassi kondensator qoplamalari orasiga joylashtirilgan dielektrik qatlamlardagi D – elektr maydoni induksiya vektorini (13) tenglamadagi kattaliklarni masalaning shartida berilgan va hisoblab topilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib quyidagicha aniqlaymiz:

$$D = \frac{\varepsilon_0 \cdot U}{\frac{d_1}{\varepsilon_1} + \frac{d_2}{\varepsilon_2}} = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 500}{\frac{5 \cdot 10^{-3}}{7} + \frac{2 \cdot 10^{-3}}{3}} \approx 3,2 \cdot 10^{-7} \frac{\text{Kl}}{\text{m}^2}.$$

Ma'lumki, E -elektr maydon kuchlanganligi D – elektr maydoni induksiya vektoridan farqli ravishda dielektrik muhitga bog'lik kattalik bo'lib, elektr maydoni siljish vektori orqali quyidagi tenglama bilan ifodalanadi: $D = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot E$ (14).

Yuqorida keltirilgan (14) tenglamadan yassi kondensator qoplamalari orasida joylashtirilgan har bir dielektrik qatlamdagi elektr maydoni kuchlanganligini quyidagicha aniqlaymiz:

$$E_1 = \frac{D}{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_1} = \frac{3,2 \cdot 10^{-7}}{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 7} \approx 5,16 \cdot 10^3 \frac{\text{V}}{\text{m}}.$$

$$E_2 = \frac{D}{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_2} = \frac{3,2 \cdot 10^{-7}}{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 3} \approx 12 \cdot 10^3 \frac{\text{V}}{\text{m}}.$$

$$\text{Javob: } D \approx 3,2 \cdot 10^{-7} \frac{\text{Kl}}{\text{m}^2}, \quad E_1 \approx 5,16 \cdot 10^3 \frac{\text{V}}{\text{m}}, \quad E_2 \approx 12 \cdot 10^3 \frac{\text{V}}{\text{m}}.$$

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Havoga $q=1,2 \text{ nKl}$ zaryaddan qanday masofaga elektr maydon kuchlanganligi $E=25 \frac{\text{V}}{\text{m}}$ ga teng bo'ladi?

2. Gazsimon argonning normal sharoitda dielektrik qabul qiluvchanligi $\chi=5,34 \cdot 10^{-4}$ ekanligini hisobga olgan holda suyuq

$\rho_1 = 1,4 \frac{\text{gr}}{\text{sm}^{-3}}$ va qattiq $\rho_2 = 1,65 \frac{\text{gr}}{\text{sm}^{-3}}$ holatdagi argonning dielektrik singdiruvchanliklari topilsin?

3. Massasi $m = 0,2 \text{ gr}$ bo'lgan sharsimon musbat nuqtaviy zaryadni materialining zichligi $\rho_1 = 1600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ bo'lib, zichligi

$\rho_2 = 800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ bo'lgan dielektrik moyga muallaq holatda turibdi. Agarda dielektrik moyning hajmidagi bir jinsli elektr maydon kuchlanganligi yuqoriga vertikal yo'nalgan va miqdor jihatidan $E = 45 \frac{\text{kV}}{\text{m}}$ bo'lsa, sharsimon zarrachaning zaryadi topilsin?

4. Dielektrik moddaning ichida potentsiallari farqi $\Delta\varphi = 300 \text{ V}$ bo'lgan nuqtalari orasida qanday maksimal tezlikka erishishi mumkin?

5. Dielektrik singdiruvchanligi $\varepsilon = 7$ bo'lgan suyuq dielektrik moddaning ichida joylashgan $q_1 = 20 \text{ nKl}$ va $q_2 = 15 \text{ nKl}$ zaryadlardan mos ravishda $r_1 = 10 \text{ sm}$ va $r_2 = 20 \text{ sm}$ masofadagi nuqtada umumiy potentsiali topilsin?

6. Qoplamalarining yuzasi $S = 250 \text{ sm}^2$ bo'lgan yassi kondensator qoplamalari orasiga joylashtirilgan $d_1 = 2 \text{ mm}$ qalinlikdagi polietelen, $d_2 = 3 \text{ mm}$ qalinlikdagi shisha va $d_3 = 1,5 \text{ mm}$ qalinlikdagi ebonit materiallarida elektr maydonining induksiyasi $D = 2,8 \mu\text{Kl/m}^2$ bo'lsa, kondensator qoplamalari orasidagi potentsiallari farqi topilsin?

7. Qoplamalari orasiga zich yopishib turgan holatida ebonit joylashtirilgan yassi kondensator $U = 600 \text{ V}$ potentsiallar farqigacha zaryadlangan. Agarda qoplamalar orasidagi dielektrik modda olib tashlansa, qoplamalar orasidagi potentsiallar farqi qanday o'zgaradi?

8. Qoplamalari orasiga zich yopishib turgan holatida $d_1 = 5 \text{ mm}$ qalinlikdagi polietelen va $d_2 = 2 \text{ mm}$ qalinlikdagi shisha joylashtirilgan yassi kondensator potentsiallar farqining $U = 300 \text{ V}$ qiymatigacha zaryadlandi. Agarda qoplamalar orasidagi dielektrik moddalar olib tashlansa, qoplamalar orasida elektr maydonini induksiya vektorining qanday o'zgarishi aniqlansin?

9. Transformator yog'ida joylashtirilgan $q = 5 \text{ nKl}$ zaryaddan $r = 12 \text{ sm}$ masofadagi nuqtada elektr maydonining kuchlanganligi, potentsiali va elektr maydoni induksiyasi vektori aniqlansin?

10. Qoplamalarining yuzasi va oraliq masofalari bir xil bo'lgan havoli, ebonit joylashtirilgan yassi kondensatorlarni sig'implari va qoplamalari orasidagi elektr maydoni induksiyasi vektorlarining nisbatlari aniqlansin?

Mavzuga oid nazorat savollari

1. Dielektrik singdiruvchanlikning fizik mohiyatini va uning amaliy ahamiyatini tushuntiring?
2. Elektr maydoni ta'sirida bo'lgan dielektrik moddalar qanday kattaliklar bilan tavsiflanadi?
3. Dielektrik muhitda joylashtirilgan zaryadning maydon kuchlanganligi va potentsiali orasidagi bog'lanishning fizik mohiyatini tushuntiring?
4. Elektr maydoni potentsialining fizik ma'nosi va uning amaliy ahamiyati nimadan iborat?
5. Energetika tizimida ishlatiladigan dielektrik materiallarni tanlashda dielektrik singdiruvchanlikning ahamiyatini tushuntiring?
6. Dielektrik qabul qiluvchanlikning fizik mohiyatini tushuntiring va uning amaliy ahamiyati nimadan iborat ekanligini izohlang?
7. Dielektrik moddalar energetika tizimida asosan nima maqsadlarda ishlatilishini tushuntiring?
8. Dielektrik moddalarning qanday turlarini bilasiz va ushbu dielektrik moddalar amaliyotda qanday maqsadlarda ishlatiladi?
9. Qutbli va qutbsiz dielektrik moddalarning farqini va qutblanish darajasini asosan qanday omillarga bog'liqligini tushuntiring?
10. Elektr sig'im va dielektrik singdiruvchanlik orasidagi uzviy bog'lanishning mohiyatini tushuntiring?

2.2. Elektr maydonida dielektriklar

- Muhitning dielektrik singdiruvchanligi: $\varepsilon = \frac{F_0}{F} = \frac{E_0}{E}$ (2.1), $\varepsilon = \frac{C}{C_0}$ (2.2) tenglamalar bilan ifodalanadi.
- Dipolning elektr momenti $P = q \cdot l$ (2.3), bu yerda l -zaryadlar orasidagi masofa.
- Qutblanganlikning dielektrikdagi elektr maydon kuchlanganligi orasidagi bog'lanishni ifodalovchi tenglama
- $P = \chi \cdot \varepsilon_0 E$ (2.4), bu yerda χ -kattalik dielektrik qabul qiluvchanlik deb ataladi.
- Dielektrik singdiruvchanlik va dielektrik qabul qiluvchanlik orasidagi bog'lanishni ifodalovchi tenglama $\mu = 1 + \chi$ (2.5).

Masalalarni yechish namunalari

Masala

Dielektrik singdiruvchanligi $\epsilon=2$ bo'lgan izotrop dielektrik modda bir jinsli o'zgarmas $E_0=100 \frac{V}{m}$ maydon kuchlanganlikli elektr maydoniga kiritildi. Dielektrik moddaning ichki hajmda E —elektr maydon kuchlanganligi, dielektrik moddaning P —qutblanganligi va D —elektr siljish vektori topilsin?

Berilgan:

$$E_0=100 \frac{V}{m}; \epsilon_0=8,85 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m}; \epsilon=2$$

Topish kerak: $E=?$ $P=?$ $D=?$

Yechish:

Dielektrik moddaning ichida elektr maydon kuchlanganligi tashqi muhitga nisbatan ϵ marta kam bo'ladi va $E=\frac{E_0}{\epsilon}$ (1) tenglamaga asosan $E=\frac{100}{2}=50 \frac{V}{m}$ ekanligini aniqlashimiz mumkin. Dielektrik moddalarning qutblanuvchanligi asosan moddaning ichki tuzilishi va tashqi elektr maydon kuchlanganligiga bog'liq bo'lib, $P=\epsilon_0(\epsilon-1) \cdot E$ (2) tenglama bilan ifodalanadi.

Tenglamadan dielektrik moddaning P —qutblanuvchanligini quyidagicha aniqlaymiz: $P=8,85 \cdot 10^{-12} \cdot (2-1) \cdot 50 \approx 4,42 \cdot 10^{-10} \frac{Kl}{m^2}$.

Izotrop dielektrik moddalarda D —elektr siljish vektori E —elektr maydon kuchlanganligi yo'nalishlari o'zaro mos bo'lib, $D=\epsilon_0 \cdot E+P$ (3) tenglama bilan ifodalanadi. Tenglamadan elektr siljish vektorini quyidagicha aniqlaymiz: $D=8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 50 + 4,42 \cdot 10^{-10} \approx 8,85 \cdot 10^{-10} \frac{Kl}{m^2}$.

$$Javob: D=8,85 \cdot 10^{-10} \frac{Kl}{m^2}; P=4,42 \cdot 10^{-10} \frac{Kl}{m^2}; E=50 \frac{V}{m}.$$

Masala

Kub shaklidagi kristall tuzilishli osh tuzining qo'shni ionlari orasidagi α —masofa $\alpha=0,28$ nm, moddaning dielektrik singdiruvchanligi $\epsilon=5,65$ bo'lsa, moddaning P —qutblanishi va kristallning k —elastiklik moduli topilsin?

Berilgan:

$$\alpha=0,28 \text{ nm}=2,8 \cdot 10^{-10} \text{ m}; q=1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}; \epsilon=5,65.$$

Topish kerak: $P=?$ $k=?$

Yechish:

Dielektrik moddaning qutblanishi dP —elektr momenti dV —hajmga nisbati bilan aniqlanib, $P=\frac{dP}{dV}$ (1) tenglama orqali ifodalanadi, bu yerda dV —dielektrik moddaning hajmini $dV=\alpha^3$ (2) va $dP=q\cdot\Delta x$ (3) ifodalardan P -qutblanishni quyidagicha aniqlaymiz:

$$P = \frac{q \cdot \Delta x}{\alpha^3} = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 2,8 \cdot 10^{-10}}{(2,8 \cdot 10^{-10})^3} \approx 2 \frac{\text{Kl}}{\text{m}^2}.$$

Dielektrik qutblanganlikning elektr maydon kuchlanganligi orqali $P=\epsilon_0(\epsilon-1)\cdot E$ (4) tenglamasidan E —elektr maydon kuchlanganligini topsak:

$$E = \frac{P}{\epsilon_0(\epsilon-1)} = \frac{2}{8,85 \cdot 10^{-12}(5,65-1)} \approx 4,86 \cdot 10^{10} \frac{\text{V}}{\text{m}}.$$

U holda elektr maydon tomonidan tashqi ta'sir etuvchi kuch va ichki elastiklik kuchi muvozanat holati $k\cdot\Delta x=q\cdot E$ tenglamasidan k -elastiklik modulini aniqlaymiz:

$$k = \frac{q \cdot E}{\Delta x} = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 4,86 \cdot 10^{10}}{2,8 \cdot 10^{-10}} \approx 27,8 \frac{\text{J}}{\text{m}^2}.$$

$$\text{Javob: } P=2 \frac{\text{Kl}}{\text{m}^2}; E=4,86 \cdot 10^{10} \frac{\text{V}}{\text{m}}; k=27,8 \frac{\text{J}}{\text{m}^2}.$$

Masala

Massasi $m=2$ gr moddaning zichligi $\rho=1,8 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ bo'lgan zaryadli zarrachaga, zichligi $\rho_s=800 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ bo'lgan dielektrik suyuqlikda muallaq holatda turibdi. Dielektrik suyuqlikning bir jinsli elektr maydon kuchlanganligi $E=40 \text{ kV/m}$ yuqoriga tik yo'nalgan bo'lsa, zaryad miqdori topilsin?

Berilgan:

$$m=2 \text{ gr}=2 \cdot 10^{-3} \text{ kg}; \rho=1,8 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; \rho_s=800 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; \\ E=40 \text{ kV/m}=4 \cdot 10^4 \text{ V/m}; g=9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

Topish kerak: $q=?$

Yechish:

Suyuq dielektrik muhitda zarraga muallaq holatda turishi uchun quyidagi shart bajarilishi lozim, ya'ni zaryadli zarrag ta'sir etuvchi kuchlarning teng ta'sir etuvchisi nolga teng bo'lishi shart.

Masalaning shartida bayon etilishiga ko'ra zaryadli zarrachaning muvozanat holatda turish sharti $P=F_A+F_E(1)$ tenglama bilan ifodalanadi. Bu yerda $P=mg$ (2) og'irlik kuchi, $F_A=\rho_s \cdot V_j \cdot g$ (3) suyuqlik tomonidan ta'sir etuvchi Arximed kuchi, $F_E=q \cdot E$ (4) elektrostatik kuch.

(2), (3) va (4) tenglamalarni (1) tenglamaga qo'yib, tenglik amallarini bajarib, quyidagi tenglikni hosil qilamiz: $mg=\rho_s \cdot V_j \cdot g+q \cdot E$ (5) yoki $q \cdot E=mg \left(\frac{\rho-\rho_s}{\rho} \right)$ (6). Ushbu tenglamadan q zaryad miqdorini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$q=\frac{mg}{E} \left(\frac{\rho-\rho_s}{\rho} \right) = \frac{2 \cdot 10^{-3} \cdot 9,8}{4 \cdot 10^4} \left(\frac{1,8-0,8}{1,8} \right) \frac{10^3}{10^3} = 2,72 \cdot 10^{-7} \text{ C.}$$

Javob: $q=2,72 \cdot 10^{-7} \text{ C}$

Masala

Yassi kondensator qoplamalari orasi dielektrik singdiruvchanliklari $\epsilon_1=5$ va $\epsilon_2=3$, qalinliklari $d_1=2 \text{ mm}$ va $d_2=1,5 \text{ mm}$ bo'lgan chinni va ebonit bilan to'ldirildi. Agarda qoplamalar yuzasi $S=100 \text{ sm}^2$ bo'lsa, kondensator sig'imi topilsin?

Berilgan:

$$\epsilon_1=5; \epsilon_2=3; d_1=2 \text{ mm}=2 \cdot 10^{-3} \text{ m}; d_2=1,5 \text{ mm}=1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}; \\ S=100 \text{ sm}^2=10^{-2} \text{ m}^2.$$

Topish kerak: $C=?$

Yechish:

Umumiy holda kondensator sig'imi $C=\frac{q}{U}$ (1), yassi kondensator sig'imi $C=\epsilon \epsilon_0 \frac{S}{d}$ (2) tenglama bilan ifodalanadi.

Masalaning shartiga ko'ra yassi kondensator qoplamalari orasiga 2 ta d_1 va d_2 - qalinlikda dielektrik qatlamlar mavjud bo'lib, unda kuchlanish tushuvi $U=U_1+U_2$ (3) tenglama bilan ifodalanadi. U holda yassi kondensatorning sig'im formulasini quyidagi shaklda ifodalash mumkin: $C=\frac{q}{U_1+U_2}$ (4), bu yerda $U_1=\frac{q}{C_1}$ va $U_2=\frac{q}{C_2}$ (5).

Yassi kondensatorning sig'imini ifodalovchi (2), (4) va (5) tenglamalarni o'zaro tenglashtirib hamda soddalashtirib kondensatorning sig'imini ifodalovchi quyidagi tenglamani hosil qilamiz:

$$C = \frac{q}{U_1 + U_2} = \frac{q}{\frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2}} = \frac{q}{q \cdot \left[\frac{1}{\epsilon_0 \epsilon_1 \frac{S}{d_1}} + \frac{1}{\epsilon_0 \epsilon_2 \frac{S}{d_2}} \right]} = \frac{\epsilon_0 S}{\frac{d_1}{\epsilon_1} + \frac{d_2}{\epsilon_2}} \quad (6).$$

Tenglamadagi kattaliklarning masala shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, kondensatorning masalani shartida talab etilgan sig'imini aniqlaymiz:

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{\frac{d_1}{\epsilon_1} + \frac{d_2}{\epsilon_2}} = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{-2}}{\frac{2 \cdot 10^{-3}}{5} + \frac{1,5 \cdot 10^{-3}}{3}} \approx \frac{8,85 \cdot 10^{-14}}{10^{-3} \cdot [0,4 + 0,5]} \approx 9,8 \cdot 10^{-11} \text{ F}.$$

Javob: $C = 9,8 \cdot 10^{-11} \text{ F}$

Masala

Yassi kondensator qoplamalari orasida slyuda ($\epsilon=7$) bilan to'ldirildi. Agarda qoplamalar orasidagi masofa $d=1 \text{ mm}$, yuzasi $S=200 \text{ sm}^2$, potentsiallar farqi $U=20 \text{ kV}$ bo'lsa, kondensatorning razryadlanishida ajralib chiqqan issiqlik miqdori topilsin?

Berilgan:

$$d=1 \text{ mm}=10^{-3} \text{ m}; S=200 \text{ sm}^2=2 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2; U=20 \text{ kV}=2 \cdot 10^4 \text{ V};$$

$$\epsilon=7; \epsilon_0=8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}.$$

Topish kerak: $Q=?$

Yechish:

Yassi kondensatorning sig'imi $C=\epsilon\epsilon_0 \frac{S}{d}$ (1) tenglama bilan ifodalanadi. Kondensatorning razryadlanish jarayonida elektr maydon energiyasi to'liq issiqlik ajralib chiqishiga sarflangan deb hisoblasak, u holda energiyaning saqlanish qonuniga asosan ajralib chiqqan issiqlik miqdorini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$Q=W=C \frac{U^2}{2} = \epsilon\epsilon_0 \frac{S}{d} \cdot \frac{U^2}{2} = 7 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{2 \cdot 10^{-2} (2 \cdot 10^4)^2}{10^{-3} \cdot 2} \approx 0,25 \text{ J}$$

Javob: $Q=0,25 \text{ J}$

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Doimiy o'zgarmas elektr maydoniga joylashtirilgan dielektrik moddaning $E_0 = 120 \frac{\text{V}}{\text{m}}$ tashqi maydon kuchlanganligi ta'sirida qutblanishi $P = 8,2 \cdot 10^{-10} \frac{\text{Kl}}{\text{m}^2}$ bo'lsa, ϵ — dielektrik singdiruvchanlik topilsin?

2. Yassi kondensator qoplamalari orasidagi masofa $d = 3 \text{ mm}$, yuzasi $S = 300 \text{ sm}^2$ bo'lsa, quyidagi hollarda kondensator sig'iminin o'zgarish nisbati topilsin?

a. Qoplamalar orasidagi havo to'ldirilgan ($\epsilon = 1$);

b. Qoplamalar orasiga slyuda to'ldirilgan ($\epsilon = 7$);

c. Qoplamalar orasi $d_1 = 1,0 \text{ mm}$ slyuda, $d_2 = 2 \text{ mm}$ chinni ($\epsilon = 5$) bilan to'ldirilgan;

d. Qoplamalar orasi $d_1 = 0,5 \text{ mm}$ slyuda, $d_2 = 1,5 \text{ mm}$ chinni, $d_3 = 1 \text{ mm}$ qalinlikdagi ebonit ($\epsilon = 3$) bilan to'ldirilgan.

3. Dielektrik singdiruvchanligi $\epsilon = 6$ bo'lgan dielektrik moddaning qanday P — qutblanganligida elektr maydon kuchlanganligi $E = 20 \frac{\text{mV}}{\text{m}}$ bo'ladi?

4. $E_0 = 10 \frac{\text{mV}}{\text{m}}$ maydon kuchlanganlikli tashqi elektr maydoniga joylashtirilgan shishaning qutblanishi topilsin?

5. Gazsimon argonning normal sharoitda dielektrik qabul qiluvchanligi $\chi = 5,34 \cdot 10^{-4}$ ekanligini hisobga olgan holda suyuq $\rho_1 = 1,4 \frac{\text{gr}}{\text{sm}^3}$ va qattiq $\rho_2 = 1,65 \frac{\text{gr}}{\text{sm}^3}$ holatdagi argonning dielektrik singdiruvchanliklari topilsin?

6. Yassi kondensator qoplamalari orasiga jips yopishgan holatda dielektrik qabul qiluvchanligi $\chi = 2,8 \cdot 10^{-4}$ bo'lgan dielektrik modda joylashtirilgan bo'lib, qoplamalar orasidagi potensiallar farqi $U = 1,4 \text{ kV}$ bo'lsa, dielektrik moddaning sirtidagi qutblangan zaryadlarning sirt zichligi topilsin?

7. Qattiq geliyning qutblanuvchanligi $\delta = 2,5 \cdot 10^{-30} \text{ m}^3$ zichligi $\rho = 210 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ bo'lsa, uning dielektrik qabul qiluvchanligi aniqlansin?

8. Elektr maydoni kuchlanganligi $E_0 = 25 \text{ kV/m}$ bo'lgan tashqi elektr maydoniga joylashtirilgan dielektrik moddaning ichidagi makroskopik maydon kuchlanganligi $E_1 = 5 \text{ kV/m}$ bo'lsa, dielektrik moddaning qutblanganligi topilsin?

9. Elektr maydoni kuchlanganligi $E = 30 \text{ kV/m}$ bo'lgan tashqi elektr maydoniga joylashtirilgan moddaning dielektrik singdiruvchanligi $\epsilon = 6$ bo'lsa, dielektrik moddaning qutblanganligi aniqlansin?

10. Moddaning dielektrik qutblanuvchanligi $P = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ Kl/m}^2$, dielektrik singdiruvchanligi $\epsilon = 3$ bo'lsa, dielektrik ichida elektr maydoni kuchlanganligi aniqlansin?

Mavzuga oid nazorat savollari

1. Dielektrik qutblanishning fizik mohiyatini va amaliy ahamiyatini tushuntiring?

2. Elektr maydoni ta'sirida bo'lgan dielektrik modda qanday kattaliklar bilan tavsiflanadi?

3. Dielektrik qutblanish deb nimaga aytiladi?

4. Dielektrik moddalarning boshqa turdagi moddalardan farqlovchi qanday asosiy xususiyatini bilasiz?

5. Dielektrik qutblanishning qanday turlarini bilasiz va ularning amaliy ahamiyatini tushuntiring?

6. Qutbli va qutbsiz dielektriklarning xususiyatlariga nisbatan farqini tushuntiring?

7. Dielektrik moddaning qutblanishi jarayonining fizik mexanizmini qanday tasavvur qilasiz?

8. Dielektrik moddalarni o'tkazgich va yarimo'tkazgich moddalaridan farqlovchi qanday asosiy xususiyatlarini bilasiz?

9. Moddalarning dielektrik singdiruvchanligi harorat ortishi bilan qanday o'zgaradi?

10. Dielektrik moddalarning harorati ortishi bilan dielektrik xususiyatlari o'zgarishining fizik mexanizmlarini tushuntiring?

2.3. Qattiq dielektriklarning hajmiy va sirtiy elektr o'tkazuvchanligi

➤ Jismning ko'ndalang kesimi yuzasidan vaqt birligida o'tgan elektr miqdori, ya'ni tok zichligi $j = nq\vartheta$ (2.1) yoki $j = \frac{E}{\rho}$ (2.2), bu yerda n -zaryad tashuvchi zarrachalarning konsentratsiyasi, q -zaryad miqdori, ϑ -zaryad tashuvchi zarrachalarning harakat tezligi, ρ -moddaning solishtirma elektr qarshiligi, E -elektr maydonining kuchlanganligi.

$$\text{➤ Dielektrik moddaning } R - \text{ elektr qarshiligi } R = \frac{U}{I_{ich}} \quad (2.3)$$

tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda U - berilgan kuchlanish, I_{ich} - ichki tok kuchi.

➤ Dielektrik moddadan o'tayotgan I_u - umumiy tok kuchi I_s - sirtiy va I_v - hajmiy tok kuchlarining yig'indisidan iborat bo'ladi, ya'ni $I_u = I_s + I_v$ (2.4).

➤ Dielektrik moddadan o'tayotgan hajmiy va sirtiy tok kuchlari $I_v = \frac{U}{R_v}$ (2.5), $I_s = \frac{U}{R_s}$ (2.6) tenglamalar bilan ifodalanadi, bu yerda R_v va R_s mos ravishda hajmiy va sirtiy qarshiliklar.

➤ Dielektriklarning umumiy qarshiligi bir-biriga parallel ulangan R_v - hajmiy va R_s - sirtiy qarshiliklarning yig'indisidan iborat bo'lib, quyidagicha ifodalanadi:

$$R = \frac{R_v \cdot R_s}{R_v + R_s} \quad (2.7).$$

➤ Ko'ndalng kesimi yuzasi S va uzunligi l bo'lgan dielektrik moddaning hajmiy qarshiligi $R_v = \rho_v \cdot \frac{l}{S}$ (2.8) tenglama bilan ifodalanadi.

➤ Dielektrik moddaning solishtirma sirtiy qarshiligi elektrodning geometrik o'lchamlari o'zaro teng va sirt yuzasiga parallel ravishda o'rnatilgan holda quyidagi $R_s = \rho_s \cdot \frac{l}{d}$ (2.9) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda l - elektrodning uzunligi, d - elektrodlar orasidagi masofa.

➤ Kondensatorning doimiy zaryadsizlanish vaqti

$\tau = R_{iz} \cdot C = \rho \varepsilon_0 \varepsilon$ (2.10) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda R_{iz} -izolyatsiya qarshiligi, C -kondensator sig'imi, ε -dielektrik singdiruvchanlik.

Masalalarni yechish namunalari

Masala

Uzunligi $l_1=4$ m bo'lgan ikki simli kabelning izolyatsiyasi qarshiligi $R_1=300$ MOm bo'lsa, xuddi shu materialdan tayyorlangan uzunligi $l_2=12$ m bo'lgan ikki simli kabelning izolyatsiyasining qarshiligi topilsin?

Berilgan:

$$l_1=4 \text{ m}; R_1=300 \text{ MOm}; l_2=12 \text{ m}.$$

Topish kerak: $R_2 = ?$

Yechish:

Ikki simli kabel izolyatsiyasining sirtiy qarshilik elektrodslari o'zaro teng va sirt yuzasiga parallel ravishda o'rnatilgan deb hisoblab,

$R_S = \rho_S \cdot \frac{l}{a}$ (1) tenglama bilan ifodalanishini e'tiborga olsak, u holda 1 va 2 – holatlarda ikki simli kabelning izolyatsiyasi qarshiligini mos ravishda quyidagicha ifodalashimiz mumkin: $R_1 = \rho_S \cdot \frac{l_1}{a}$ (2),

$R_2 = \rho_S \cdot \frac{l_2}{a}$ (3), bu yerda l_1 va l_2 – mos ravishda 1 va 2 – holatlarda ikki simli kabellarning uzunligi, d – elektrodslar orasidagi masofa. (2) va (3) tenglamalarni o'ng va chap tomonlarini hadma-had bo'lib, quyidagi tenglikni hosil qilamiz: $\frac{R_2}{R_1} = \frac{l_2}{l_1}$ (4), bu yerdan $R_2 = \frac{l_2}{l_1} R_1$ (5).

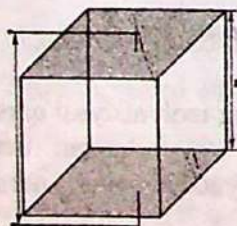
Tenglamadagi kattaliklarning masala shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, ikki simli kabel izolyatsiyasining qarshiligini quyidagicha aniqlaymiz:

$$R_2 = \frac{12 \text{ m}}{4 \text{ m}} 300 \text{ MOm} = 900 \text{ MOm}.$$

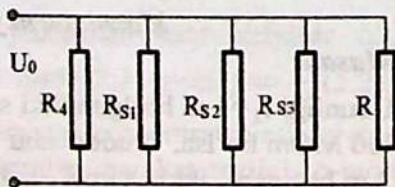
Javob: $R_2 = 900 \text{ MOm}$.

Masala

Dielektrik moddadan tayyorlangan qirralarining uzunligi $a=10 \text{ mm}$ bo'lgan kubning solishtirma hajmiy va solishtirma sirtiy elektr qarshiliklari mos ravishda $\rho_V = 10^{10} \text{ Omm}$, $\rho_S = 10^{11} \text{ Omm}$. Kubning sirti metall elektrodslar bilan qoplangan (2.1-rasm) bo'lib, qarama-qarshi qirralariga $U_0 = 2 \text{ kV}$ o'zgarmas kuchlanish berilgan bo'lsa, o'tayotgan tok kuchi topilsin?



2.1-rasm. Metall qoplamali kub



2.2-rasm. Ekvivalent sxemasi.

Berilgan:

$a=10\text{ mm}=10^{-2}\text{ m}$, $\rho_V = 10^{10}\text{ Omm}$, $\rho_S = 10^{11}\text{ Omm}$, $U_0 = 2\text{ kV}$.

Topish kerak: $I=?$

Yechish:

Masalaning shartida bayon etilgan holatda elektr toki kubning hajmi orqali va sirti bo'ylab oqib o'tuvchi toklarning yig'indisidan iborat bo'ladi. Shu sababli elektrodlar oralig'ining elektr qarshiligi, o'zaro parallel ulangan kub tayyorlangan moddaning hajmiy va 4 ta tomonining sirtiy qarshiliklari yig'indisi orqali aniqlanadi.

Ushbu tizimning ekvivalent sxemasini 2.2-rasmdagi shaklda tasvirlash mumkin. U holda, ekvivalent sxemaga muvofiq kubning hajmiy va sirtiy qarshiliklarini (2.8) va (2.9) tenglamalarga asosan quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$R_V = \rho_V \cdot \frac{a}{a^2} = \rho_V \cdot \frac{1}{a} = 10^{10} \cdot \frac{1}{10^{-2}} = 10^{12}\text{ Om}.$$

$$R_{S1} = R_{S2} = R_{S3} = R_{S4} = \rho_S \cdot \frac{a}{a} = \rho_S = 10^{11}\text{ Om}.$$

Ekvivalent sxemaga asosan o'zaro parallel ulangan qarshiliklardan iborat tizimning umumiy qarshiligini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$R = \frac{R_V \cdot R_{S1}}{R_{S1} + 4R_V} = \frac{10^{12} \cdot 10^{11}}{10^{11} + 4 \cdot 10^{12}} = 2.44 \cdot 10^{10}\text{ Om}.$$

U holda, elektr zanjirning bir qismi uchun G.Om qonuniga asosan kub orqali oqib o'tuvchi tok kuchini $I = \frac{U_0}{R}$ tenglamadan aniqlaymiz:

$$I = \frac{U_0}{R} = \frac{2 \cdot 10^3}{2.44 \cdot 10^{10}} = 8.2 \cdot 10^{-8}\text{ A}.$$

Javob: $I = 8.2 \cdot 10^{-8}\text{ A}$.

Masala

Uzunligi $l = 20\text{ mm}$, diametri $d = 10\text{ mm}$, solishtirma hajmiy va solishtirma sirtiy elektr qarshiliklari mos ravishda $\rho_V = 10^{12}\text{ Omm}$, $\rho_S = 10^{14}\text{ Om}$ bo'lgan silindr shaklidagi sterjenning qarama-qarshi tomonlari metall elektrodlar bilan qoplangan. Elektrodlar orasidagi moddaning qarshiligi topilsin?

Berilgan:

$$l = 20\text{ mm} = 2 \cdot 10^{-2}\text{ m}, d = 10\text{ mm} = 10^{-2}\text{ m},$$

$$\rho_V = 10^{13}\text{ Omm}, \rho_S = 10^{14}\text{ Om}.$$

Topish kerak: $R=?$

Yechish

Silindrik shakldagi sterjenning sirtiy va hajmiy qarshiliklarini elektrodleri o'zaro teng va sirt yuzasiga parallel ravishda o'rnatilgan deb hisoblab, $R_S = \rho_S \cdot \frac{l}{d}$ (1) hamda $R_V = \rho_V \cdot \frac{l}{d}$ (2) tenglamalardan quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$R_S = \rho_S \cdot \frac{l}{d} = 10^{14} \cdot \frac{2 \cdot 10^{-2}}{10^{-2}} = 2 \cdot 10^{14} \text{ Om.}$$

$$R_V = \rho_V \cdot \frac{l}{S} = \rho_V \cdot \frac{4 \cdot l}{\pi \cdot d^2} = 10^{13} \cdot \frac{4 \cdot 2 \cdot 10^{-2}}{3,14 \cdot 10^{-4}} \approx 2,55 \cdot 10^{15} \text{ Omm.}$$

Sterjenning umumiy qarshiligi o'zaro parallel ulangan hajmiy sirtiy qarshiliklarning yig'indisidan iborat ekanligini hisobga olgan holda

$R = \frac{R_V \cdot R_S}{R_S + R_V}$ tenglamadan aniqlaymiz:

$$R = \frac{R_V \cdot R_S}{R_S + R_V} = \frac{2,55 \cdot 10^{15} \cdot 2 \cdot 10^{14}}{2 \cdot 10^{14} + 2,55 \cdot 10^{15}} \approx 1,85 \cdot 10^{14} \text{ Om.}$$

Javob: $R \approx 1,85 \cdot 10^{14} \text{ Om.}$

Masala

Qoplamalari orasiga dielektrik singdiruvchanligi $\varepsilon = 3$ bo'lgan izolyatsion modda joylashtirilgan yupqa plyonkali kondensatorning to'liq zaryadsizlanish vaqti $\tau = 30$ minut bo'lsa, kondensator ulangan elektr zanjirida tok oqishi faqat dielektrik plyonka orqali sodir etiladi deb hisoblab, dielektrik moddaning solishtirma elektr qarshiligi topilsin?

Berilgan:

$$\varepsilon = 3, \tau = 30 \text{ minut} = 1800 \text{ s}, \varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}.$$

Topish kerak: $\rho=?$

Yechish

Ma'lumki, umumiy holatda kondensatorning doimiy zaryadsizlanish vaqti $\tau = R_{iz} \cdot C = \rho \varepsilon_0 \varepsilon$ (1) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda R_{iz} - izolyatsiya qarshiligi, C - kondensator sig'imi, ε - kondensator qoplamalari orasiga joylashtirilgan moddaning dielektrik singdiruvchanligi. Yuqorida keltirilgan (1) tenglamadagi kattaliklarning masala shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, dielektrik plyonkaning solishtirma elektr qarshiligini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$\rho = \frac{\tau}{\varepsilon_0 \varepsilon} = \frac{1800}{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 3} \approx 6,8 \cdot 10^{11} \text{ Omm.}$$

Javob: $\rho \approx 6,8 \cdot 10^{11} \text{ Omm.}$

Masala

Dielektrik qoplamaning sirtiga parallel holatda elektrodlar o'rnatilgan. Agarda dielektrik moddaning elektrodleri orasidagi masofa $a = 2 \text{ mm}$, kengligi $b = 10 \text{ mm}$ va qoplamaning sirtiy qarshiligi $R_S = 5 \text{ MOm}$ bo'lsa, dielektrik moddaning sirtiy solishtirma elektr qarshiligi topilsin?

Berilgan:

$$a = 2 \text{ mm} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}, b = 10 \text{ mm} = 10^{-2} \text{ m},$$

$$R_S = 5 \text{ MOm} = 5 \cdot 10^6 \text{ Om.}$$

Topish kerak: $\rho_S = ?$

Yechish:

Masalaning shartida bayon etilishiga muvofiq dielektrik qoplamaning sirtiy qarshiligi elektrodleri o'zaro teng va sirt yuzasiga parallel ravishda o'rnatilganligi sababli $R_S = \rho_S \cdot \frac{a}{b}$ (1) tenglama bilan ifodalanadi. Ushbu tenglamadan kattaliklarning masala shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, dielektrik moddaning sirtiy solishtirma elektr qarshiligini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$\rho_S = R_S \cdot \frac{b}{a} = 5 \cdot 10^6 \cdot \frac{10^{-2}}{2 \cdot 10^{-3}} = 25 \cdot 10^6 \text{ Om.}$$

Javob: $\rho_S = 25 \cdot 10^6 \text{ Om.}$

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Dielektrik moddadan tayyorlangan qirralarining uzunligi $a = 15 \text{ mm}$ bo'lgan kubning solishtirma hajmiy va solishtirma sirtiy elektr qarshiliklari mos ravishda $\rho_V = 10^{11} \text{ Omm}$, $\rho_S = 10^{12} \text{ Omm}$. Kubning sirti metall elektrodlar bilan qoplangan bo'lib, qarama-qarshi qirralari o'tayotgan tok kuchi $I = 2 \mu\text{kA}$ bo'lsa, elektrodlar orasiga berilgan kuchlanish topilsin?

2. Uzunligi $l_1 = 5 \text{ m}$ bo'lgan ikki simli kabelning izolyatsiyasi qarshiligi $R_1 = 600 \text{ MOm}$ bo'lsa, xuddi shu materialdan tayyorlangan

uzunligi $l_2=20$ m bo'lgan ikki simli kabel izolyatsiyasining qarshiligi topilsin?

3. Uzunligi $l = 20$ mm, solishtirma hajmiy va solishtirma sirtiy elektr qarshiliklari mos ravishda $\rho_v = 10^{12}$ Omm, $\rho_s = 10^{14}$ Om bo'lgan silindr shaklidagi sterjenning qarama-qarshi tomonlari metall elektrodlar bilan qoplangan. Elektrodlar orasidagi moddaning qarshiligi $R_1=6 \cdot 10^{14}$ Om bo'lsa, sterjenning diametri topilsin?

4. Kondensatorning to'liq zaryadsizlanish vaqti $\tau = 40$ minut bo'lsa, tok oqishi faqat dielektrik modda orqali sodir etiladi deb hisoblab, solishtirma elektr qarshiligi $\rho = 8 \cdot 10^{12}$ Omm bo'lgan va kondensator qoplamalari orasida joylashtirilgan dielektrik moddaning singdiruvchanligi topilsin?

5. Dielektrik qoplamaning sirtiga parallel holatda elektrodlar o'rnatilgan. Agarda dielektrikning elektrodleri orasidagi oraliq masofasi $a = 3$ mm, kengligi $b = 10$ mm va qoplamaning sirtiy va solishtirma qarshiliklari mos ravishda $R_s = 15$ MOm, $\rho_s = 2 \cdot 10^7$ Om bo'lsa, elektrodlar oraliqining kengligi topilsin?

Mavzuga oid nazorat savollari

1. Dielektrik moddalarning sirtiy va hajmiy elektr o'tkazuvchanligining fizik mexanizmini tushuntiring?

2. Dielektrik singdiruvchanligi, moddaning qanday xususiyatlarini tavsiflaydi?

3. Moddaning solishtirma elektr o'tkazuvchanligining ta'rifini ayting?

4. Dielektrik moddaning solishtirma sirtiy va hajmiy elektr o'tkazuvchanliklari qanday parametrlariga bog'liq?

5. Harorat ortishi bilan dielektrik moddalarning solishtirma sirtiy va hajmiy elektr o'tkazuvchanligi qanday o'zgaradi?

6. Dielektrik moddalarning solishtirma elektr o'tkazuvchanligini me'yoriy sharoitda moddaning turiga bog'liqligini qanday tushunasiz?

7. Harorat ortishi bilan dielektrik moddalarning solishtirma sirtiy va hajmiy elektr o'tkazuvchanliklari qanday o'zgaradi?

8. Dielektrik moddalarning asosiy xususiyatlarini moddaning agregat holatiga bog'liqligini qanday izohlaysiz?

9. Konsentratsion effekt deganda qanday fizik jarayonni tushunasiz?

10. Kinetik va konsentratsion jarayonlarning farqini tushuntiring?

2.4. Dielektriklarning teshilishi

➤ Dielektrik moddalarining teshilishi, asosan teshilish kuchlanishi bilan tavsiflanadi, ya'ni: $E_T = \frac{U_T}{d}$ (2.3.1) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda E_T – teshilish elektr maydoni kuchlanganligi, U_T – teshilish kuchlanishi, d – dielektrik moddaning qalinligi.

➤ Gaz holatdagi dielektriklarda teshilish W_i – ionlanish kuchlanishi bilan tavsiflanadi va quyidagicha ifodalanadi: $U_i = \frac{W_i}{q}$ (2.3.2).

➤ Dielektriklarni issiqlikdan teshilishida U – ishchi kuchlanish quyidagicha ifodalandi: $u^2 \omega C tg\delta = \delta_i S (t_i - t_0)$ (2.3.3), bu yerda $u^2 \omega C tg\delta$ – reaktiv quvvat, ω – siklik chastota, C – izolyator sig'imi, $tg\delta$ – energiya yo'qotish burchak tangensi, δ_i – issiqlik uzatish koeffitsiyenti, S – dielektrik harorati, t_0 – atrof muhit harorati.

➤ Ishchi kuchlanish $u_i = \sqrt{\frac{\delta S (t_2 - t_0)}{\omega \cdot C \cdot tg\delta}}$ (2.3.4) tenglama bilan ifodalanadi.

Masalalarni yechish namunalari

Masala

Dielektrik qatlamda elektr teshilish $U_t = 1,5 \text{ kV}$ kuchlanishda sodir etilsa, dielektrikning d – qalinligi aniqlansin? Dielektrik moddaning elektr mustahkamligi $E_M = 50 \frac{\text{MV}}{\text{m}}$.

Berilgan:

$$U_t = 1,5 \text{ kV}; E_M = 50 \frac{\text{MV}}{\text{m}} = 5 \cdot 10^7 \frac{\text{V}}{\text{m}}.$$

Topish kerak: $d = ?$

Yechish:

Dielektrik moddani E – elektr maydon ta'sirida maydon kuchlanganligining teshilish sodir etiladigan E_m – qiymati, teshilish kuchlanishiga mos keladi va $E_m = \frac{U_t}{d}$ (1) tenglama bilan ifodalanadi. Ushbu (1) tenglamadan dielektrik moddaning d – qalinligini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$d = \frac{U_t}{E_m} = \frac{1,5 \cdot 10^3}{5 \cdot 10^7} = 3 \cdot 10^{-5} \text{ m}.$$

Javob: $d = 3 \cdot 10^{-5} \text{ m}$.

Masala

Elektr sig'imi $C=200 \text{ pF}$, qoplamalarining yuzasi $S_1=S_2=S=5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ bo'lgan slyudali yassi kondensator kuchlanishning qanday qiymatigacha ishlashi mumkin? Slyuda moddaning elektr mustahkamligi $E_M=100 \frac{\text{MV}}{\text{m}}$ bo'lsa, slyudali plastinkaning qalinligi topilsin?

Berilgan:

$$C=200 \text{ pF}=2 \cdot 10^{-10} \text{ F}; S=5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2; \varepsilon=7;$$

$$E_M=100 \frac{\text{MV}}{\text{m}}=10^8 \frac{\text{V}}{\text{m}}; \varepsilon_0=8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}.$$

Topish kerak: $U_t=?$, $d=?$

Yechish:

Yassi kondensatorning sig'imi umumiy holda $C=\varepsilon\varepsilon_0 \frac{S}{d}$ (1) tenglama bilan ifodalanadi. Kondensator qoplamalari orasiga to'ldirilgan dielektrik slyuda moddasining teshilish kuchlanishini ifodalovchi $U_t=E_M \cdot d$ (2) tenglamasini (1) ifodaga qo'yib, kondensatorning teshilish kuchlanishini topsak: $C=\varepsilon\varepsilon_0 \frac{S}{\frac{U_t}{E_M}}=\varepsilon\varepsilon_0 \frac{S \cdot E_M}{U_t}$ (3), bu yerdan kondensatorning teshilishi kuchlanishini quyidagicha aniqlaymiz:

$$U_t=\varepsilon\varepsilon_0 \frac{S \cdot E_M}{C}=7 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{5 \cdot 10^{-4} \cdot 10^8}{2 \cdot 10^{-10}} \approx 15,5 \cdot 10^3 \text{ V}.$$

U holda, (2) tenglamaga asosan slyudali dielektrik moddaning qalinligi:

$$d=\frac{U_t}{E_M}=\frac{15,5 \cdot 10^3}{10^8} \approx 15,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}.$$

Javob: $U_t=15,5 \cdot 10^3 \text{ V}$. $d=15,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}$.

Masala

Dielektrik moddaning mustahkamlik bo'yicha k — zahira koeffitsiyenti va noorganik shisha dielektrik qalinligi topilsin? Yassi kondensator sig'imi $C=68 \text{ pF}$, qoplamalari yuzasi $S=10 \text{ sm}^2$, ishchi kuchlanishi $U=10 \text{ kV}$, shishaning dielektrik singdiruvchanligi $\varepsilon=6,5$, elektr mustahkamligi $E_M=5 \cdot 10^7 \frac{\text{V}}{\text{m}}$.

Berilgan:

$$C=68 \text{ pF}=68 \cdot 10^{-12} \text{ F}; S=10 \text{ sm}^2=10^{-3} \text{ m}^2; \varepsilon=6,5;$$

$$E_M=5 \cdot 10^7 \frac{\text{V}}{\text{m}}; \varepsilon_0=8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}; U=10 \text{ kV}=10^4$$

Topish kerak: $k=?$, $d=?$

Yechish:

Dielektrik moddaning elektr mustahkamlik bo'yicha zahira koeffitsiyentini $k \cdot U = E_M \cdot d$ (1) shartdan aniqlashimiz mumkin. Masalaning shartiga asosan dielektrik moddaning d — qalinligi noma'lum bo'lganligi sababli uni yassi kondensatorning sig'im formulasidan quyidagicha aniqlaymiz: $C = \varepsilon \varepsilon_0 \frac{S}{d}$ (2), bu yerdan:

$$d = \varepsilon \varepsilon_0 \frac{S}{C} = \frac{6,5 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{-3}}{68 \cdot 10^{-12}} \approx 8,46 \cdot 10^{-4} \text{ m}.$$

U holda (1) tenglamaga asosan dielektrik moddaning elektr mustahkamligi bo'yicha k — zahira koeffitsiyentini aniqlasak:

$$k = \frac{E_M \cdot d}{U} = \frac{5 \cdot 10^7 \cdot 8,46 \cdot 10^{-4}}{10^4} \approx 4,23.$$

Javob: $k = 4,23$. $d = 8,46 \cdot 10^{-4} \text{ m}$.

Musala

Neon gazi atomlarini ionlantirish potentsiali $U_i=21,5 \text{ V}$ bo'lsa, ionlantirish uchun elektronning minimal tezligi qanday bo'lishi kerak? Elektronning tezligi ionlantirish tezligiga yetishi uchun $E=3 \frac{\text{MV}}{\text{m}}$ elektr maydonida qanday masofani bosim o'tishi kerak?

Berilgan:

$$U_i=21,5 \text{ V}; e=1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}; m=9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}; E=3 \cdot 10^6 \frac{\text{V}}{\text{m}}.$$

Topish kerak: $v_m=?$, $S=?$

Yechish:

Elektr maydon ta'sirida elektronning kinetik energiyasi $e \cdot U_i = \frac{mv^2}{2}$ (1) tenglama bilan ifodalanadi. tenglamadan elektronning v — tezligini topsak:

$$v = \sqrt{\frac{2e \cdot U}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 21,5}{9,1 \cdot 10^{-31}}} \approx 2,75 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Bu holda elektr maydon ta'sirida elektronning harakati tezlanuvchan harakat bo'lib, uning tenglamasi $S = \frac{v^2}{2a}$ (2) shaklda ifodalanadi. Elektroniga tezlanish beruvchi maydon tomonidan ta'sir etuvchi kuch $F = e \cdot E = m \cdot \frac{v^2}{2S}$ (3). Bu tenglamadan elektronning harakatlanish masofasini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$S = \frac{mv^2}{2 \cdot e \cdot E} = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot [2,75 \cdot 10^6]^2}{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 3 \cdot 10^6} \approx 7,17 \cdot 10^{-6} \text{ m.}$$

Javob: $v = 2,75 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, $S = 7,17 \cdot 10^{-6} \text{ m.}$

Masala

Dielektrik moddaning elektr mustahkamlik bo'yicha zahira koeffitsiyenti topilsin? Hisoblash ishlarini bajarishda kondensator qoplamalari orasiga to'ldirilgan moddaning dielektrik singdiruvchanligi $\epsilon = 12$, sig'imi $C = 80 \text{ pF}$, qoplamalar yuzasi $S = 8 \text{ sm}^2$, ishchi kuchlanish $U = 20 \text{ kV}$, dielektrik moddaning elektr mustahkamligi $E_M = 6 \cdot 10^7 \frac{\text{V}}{\text{m}}$ deb hisoblansin.

Berilgan:

$$C = 80 \text{ pF} = 8 \cdot 10^{-11} \text{ F}; S = 8 \text{ sm}^2 = 8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2; \epsilon = 12;$$

$$E_M = 6 \cdot 10^7 \frac{\text{V}}{\text{m}}; \epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}; U_i = 20 \text{ kV} = 2 \cdot 10^4.$$

Topish kerak: $k = ?$

Yechish:

Dielektrik moddaning elektr mustahkamlik bo'yicha zahira koeffitsiyentini elektr mustahkamlik orqali $U_t = k \cdot U_i = E_M \cdot d$ (1), bu yerda U_t — dielektrikning teshilish kuchlanishi, k — elektr mustahkamlik bo'yicha zahira koeffitsiyenti, U_i — ishchi kuchlanish. Tenglamadagi dielektrik moddaning d — qalinligini aniqlash uchun kondensatorning sig'im formulasidan foydalanamiz: $C = \epsilon \epsilon_0 \frac{S}{d}$ (2), bu tenglamadan:

$$d = \epsilon \epsilon_0 \frac{S}{C} = 12 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{8 \cdot 10^{-4}}{8 \cdot 10^{-11}} \approx 1,06 \cdot 10^{-3} \text{ m.}$$

U holda (1) tenglamadan elektr mustahkamlik bo'yicha k — zahira koeffitsiyentini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$k = \frac{E_M \cdot d}{U_i} = \frac{6 \cdot 10^7 \cdot 1,06 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^4} \approx 3,2$$

Javob: $k = 3,2$

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Dielektrik moddaning elektr mustahkamligi $E_M = 60 \frac{MV}{m}$, elektr mustahkamlik bo'yicha zahira koeffitsiyenti $k=4$ bo'lsa, $d=2 \mu km$ qalinlikdagi dielektrik o'rnatilgan kondensatorning ishchi va teshilish kuchlanishlari topilsin?

2. Sig'imi $C=42 pF$ bo'lgan kondensator qoplamalari orasiga slyudali dielektrik to'ldirilgan. Dielektrikning mustahkamlik chegarasi $E=120 \frac{MV}{m}$ bo'lsa, qoplamalar yuzasi topilsin? Dielektrikning teshilish kuchlanishi $U_t=12 kV$ deb hisoblansin.

3. Kondensator qoplamalari orasiga to'ldirilgan inert gaz atomlarini ionlantirish potentsiali $U_i=30 V$ bo'lsa, elektronning minimal harakat tezligi qanday bo'lishi kerak?

4. Elektr maydon kuchlanligi $E=5 \frac{MV}{m}$ bo'lgan elektr maydonida ionlashtiruvchi elektronning erkin yugurish yo'li $S=8 \mu km$ bo'lsa, tezlanuvchan harakat tezligi topilsin?

5. Ishchi kuchlanishi $U_i=1,6 kV$ bo'lgan kondensator qoplamalari orasiga to'ldirilgan dielektrikning elektr mustahkamligi $E=200 \frac{MV}{m}$, qalinligi $d=30 \mu km$ bo'lsa, elektr mustahkamlik bo'yicha zahira koeffitsiyenti topilsin?

6. Polivinilxlorid yupqa plyonkasining elektr teshilish kuchlanishi $U_t=1,5 kV$, materialning elektr mustahkamligi $E=50 \frac{MV}{m}$ bo'lsa, plyonkaning qalinligi aniqlansin?

7. Qoplamalirining yuzasi $S=6 sm^2$, elektr sig'imi $C=12 nF$ bo'lgan yassi kondensator kuchlanishning qanday maksimal qiymatida ishlashi mumkin, agarda qoplamalar orasiga joylashtirilgan moddaning dielektrik singdiruvchanligi $\epsilon=7$, dielektrik materialning elektr mustahkamligi $E=120 \frac{MV}{m}$ bo'lsa, dielektrik moddaning qalinligi topilsin?

8. Havoning me'yoriy sharoitda ($P=10^5 Pa, T=20 ^\circ C$) elektr mustahkamligi $E_0=3,2 \frac{MV}{m}$. Agarda havoning harorati

$T_1=120 ^\circ C$, bosimi $P_1=0,4 MPa$ ga ortsa, uning elektr mustahkamligi qanday o'zgaradi?

9. Neon atomining ionlanish potentsiali $U_i=25 V$ bo'lsa, atomni ionlashtirish uchun elektron qanday minimal tezlikka ega bo'lishi kerak va tezlikning ushbu qiymatiga erishishi uchun elektron $E=6 \frac{MV}{m}$

kuchlanganlikli elektr maydonida qanday masofani bosib o'tishi talab etiladi?

10. Elektrodlar orasidagi masofa $d = 0,1 \text{ mm}$ bo'lganda vakuumning elektr mustahkamligi $E = 100 \frac{\text{MV}}{\text{m}}$. Agarda elektrodlar orasidagi masofa 3 marta o'zgartirilsa, vakuumning elektr mustahkamligi qanday o'zgaradi?

Mavzuga oid nazorat savollari

1. Dielektrik moddalarning teshilishi deganda nimani tushundingiz?

2. Dielektrik moddalarning issiqlikdan teshilishi sodir etilishining fizik mexanizmini tushuntiring?

3. Dielektrik mustahkamlik – dielektrik moddalarni tavsiflovchi qanday parametrlariga bog'liq?

4. Dielektrik mustahkamlik moddaning agregat holatlariga bog'liqligini tushuntiring?

5. Dielektrik mustahkamlikning fizik mohiyatini qanday tushundingiz va uning amaliy ahamiyatini izohlang?

6. Dielektriklarning teshilish jarayonining qanday turlarini bilasiz va ularning sodir etilish jarayonlarining fizik mexanizmi bir-biriga nisbatan qanday farqlanadi?

7. Dielektrik moddani teshilishidan saqlash uchun amaliyotda qanday choralar qo'llaniladi?

8. Dielektrik moddalarning teshilishi jarayoniga ta'sir etuvchi qanday omillarni bilasiz?

9. Dielektrik moddalarning teshilishi natijasida tizimda qanday o'zgarishlar sodir etilishini tushuntiring?

10. Dielektrik moddada teshilish jarayoni sodir etilganidan so'ng material boshlang'ich holatiga qaytishi mumkinmi?

2.5. Gazlarning elektr o'tkazuvchanlik xususiyatlari

➤ Gaz orqali elektr toki o'tishi jarayoni gaz razryadi deb ataladi. Tok zichligining nisbatan kichik qiymatlarida G.Om qonuni: $i = q \cdot n(\mu^+ + \mu^-) \cdot E = \delta \cdot E$ (2.1) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda E – elektr maydon kuchlanganligi, δ – gazning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi, q – ionning zaryadi, μ^+ , μ^- – mos ravishda musbat va manfiy ionlarning harakatchanligi, n – ionlar konsentratsiyasi.

➤ To'yinish tok zichligi: $j_t = N \cdot q \cdot d$ (2.2) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda d — elektrodlar orasidagi masofa, N — ionlar juftining soni.

➤ Gaz atomlarining ionlantirish ishi zarbdan ionlantirish jarayonida $\frac{mv^2}{2} \geq A_i$ (2.3) tenglama bilan ifodalanadi.

➤ Zarbdan ionlanish sodir etilishi uchun elektronlarning kinetik energiyasi atomni ionlantirish energiyasidan ortiq bo'lishi shart.

➤ Elektronning kinetik energiyasi elektrodlar orasidagi E — elektr maydon kuchlanganligiga bog'liq: $\frac{mv^2}{2} = e \cdot E \cdot l$ (2.4), bu yerda l — elektronning erkin yugurish yo'li.

Masalalar yechish namunalari

Masala

Qisman ionlashgan gaz bilan to'ldirilgan shisha kolbaning ikki chetida o'rnatilgan yassi plastinadan tayyorlangan elektrodlarning sirt yuzasi $S=250 \text{ sm}^2$, orasi hajmi $V=600 \text{ sm}^3$. Agar elektrodlar orasida musbat va manfiy ionlar konsentratsiyasi $n=8 \cdot 10^{10} \text{ sm}^{-3}$, oqib o'tayotgan tok kuchi $I=2 \text{ mA}$ bo'lsa, elektrodlar orasida potentsiallar farqi topilsin?. Musbat va manfiy ionlarning harakatchanligi $\mu^- = 5,4 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{Vs}}$, $\mu^+ = 7,5 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{Vs}}$ deb hisoblansin.

Berilgan:

$$S=250 \text{ sm}^2=2,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2; V=600 \text{ sm}^3=6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3;$$

$$n=8 \cdot 10^{10} \text{ sm}^{-3}=8 \cdot 10^{16} \text{ m}^{-3}; I=2 \text{ mA}; \mu^- = 5,4 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{Vs}};$$

$$\mu^+ = 7,5 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{Vs}}$$

Topish kerak: $U=?$

Yechish:

Elektrodlar orasida tok zichligi umumiy holda $j = \frac{I}{S} = \delta \cdot E$ (1) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda E — elektr maydon kuchlanganligi, elektrodlar orasidagi potentsiallar farqi bilan $U=E \cdot d$ (2) bog'lanish bilan ifodalanadi.

Solishtirma elektr o'tkazuvchanlikning ushbu holatda $\delta = q \cdot n(\mu^- + \mu^+)$ (3) ifodasini (2) va (1) tenglamalarga qo'yib va

soddalashtirib, elektrodlar orasidagi kuchlanishni quyidagicha aniqlaymiz:

$$U = E \cdot d = \frac{I \cdot d}{\delta \cdot S} = \frac{I \cdot d}{q \cdot n(\mu^- + \mu^+) \cdot S} = \frac{I \cdot V}{q \cdot n(\mu^- + \mu^+) \cdot S^2} \quad (4).$$

Tenglamadagi kattaliklarning masala shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib U —potensiallar farqini aniqlaymiz:

$$U = \frac{2 \cdot 10^{-3} \cdot 6 \cdot 10^{-4}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 8 \cdot 10^{10} (5,4 \cdot 10^{-4} + 7,5 \cdot 10^{-4}) \cdot (2,5 \cdot 10^{-2})^2} \approx 116 \text{ V}$$

Javob: $U = 116 \text{ V}$.

Masala

Gaz atomlarining ionlanish potentsiali $\Delta U_i = 16,5 \text{ V}$ bo'lsa, atomni ionlantirish uchun elektronning tezligi qanday bo'lishi kerak?

Berilgan:

$$\Delta U_i = 16,5 \text{ V}; e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}; m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}.$$

Topish kerak: $v = ?$

Yechish:

Gazlarning atomlarini zarbdagi ionlantirish jarayonida tashqi elektr maydoni ta'sirida tezlashtirilgan elektronlar neytral atomlar bilan to'qnashishi natijasida ionlanish sodir etiladi. Bu holda gaz atomlarining ionlanish jarayoni W_i —ionlanish energiyasi bilan tavsiflanadi va $W_i = e \cdot \Delta U_i$ (1) tenglama bilan ifodalanadi.

Ikkinchi tomondan $e \cdot \Delta U_i$ —energiya to'qnashuvda qatnashuvchi elektronlarni kinetik energiyasini ortishiga sarflanadi va $e \cdot \Delta U_i = \frac{m_e v^2}{2}$ (2) tenglama bilan ifodalanadi. tenglamadagi gaz atomlarini ionlantirish uchun talab etilgan elektronlarni harakat tezligini quyidagicha aniqlaymiz:

$$v = \frac{\sqrt{2 \cdot e \cdot \Delta U_i}}{m_e} = \frac{\sqrt{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 16,5}}{9,1 \cdot 10^{-31}} \approx 2,4 \cdot 10^6 \text{ m/s}.$$

Javob: $v \approx 2,4 \cdot 10^6 \text{ m/s}$.

Masala

Bir atomli gazning ionlanish potentsiali $\Delta U_i = 15 \text{ V}$ bo'lsa, gaz atomlarini issiqlik ta'sirida zarbdan ionlantirish uchun gazning harorati qanday bo'lishi kerak?

Berilgan:

$$\Delta U_i = 15 \text{ V}; e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}; i = 3; k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

Topish kerak: $T = ?$

Yechish:

Zarbdan ionlanish jarayonida ionlanish energiyasi $W_i = e \cdot \Delta U_i$ (1) tenglama bilan ifodalanadi.

Gaz qizdirilganda ichki energiyasi harorat ortishi bilan ortib boradi va bir atomli gazlar uchun $W = \frac{i}{2} kT = \frac{3}{2} kT$ (2) tenglama bilan ifodalanadi.

Gaz atomlari ionlanishi uchun $W_i \leq W$ shart bajarilishi lozim. U holda gaz atomlarining ionlanish energiyasi $W_i = e \cdot \Delta U_i = \frac{3}{2} kT$ (3). Ushbu (3) tenglamadan gazning mutloq T haroratini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$T = \frac{2 \cdot e \cdot \Delta U_i}{3 \cdot k} = \frac{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 15}{3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23}} \approx 11,6 \cdot 10^4 \text{ K}.$$

Javob: $T = 11,6 \cdot 10^4 \text{ K}$

Masala

Azot gazi rentgen nurlari bilan ionlashtirilganda har bir santimetr kub hajmiga $n_0 = 10^7$ juft ion bo'lsa, azot gazining solishtirma elektr o'tkazuvchanligi aniqlansin?

Musbat va manfiy ionlarning harakatchanligi

$$\mu^+ = 1,28 \frac{\text{sm}^2}{\text{VS}}, \mu^- = 1,82 \frac{\text{sm}^2}{\text{VS}} \text{ deb hisoblansin.}$$

Berilgan:

$$n_0 = 10^7 \text{ sm}^{-3} = 10^{13} \text{ m}^{-3}; \quad \mu^+ = 1,28 \frac{\text{sm}^2}{\text{VS}} = 1,28 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{VS}};$$

$$\mu^- = 1,82 \frac{\text{sm}^2}{\text{VS}} = 1,82 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{VS}}; \quad q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}$$

Topish kerak: $\delta = ?$

Yechish:

Umumiy holatda moddaning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi $\delta = q \cdot n \cdot \mu$ (1) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda q – zaryad tashuvchi zarrachaning zaryad miqdori, n – hajm birligidagi zaryad tashuvchi zarrachalar soni yoki konsentratsiyasi, μ – harakatchanligi. Masalaning shartida bayon etilganiga asosan ionlantirish jarayonida musbat va manfiy ionlar jufti hosil bo'lishini e'tiborga olib (1) tenglamaga muvofiq ionlashgan gazning solishtirma elektr o'tkazuvchanligini $\delta = en[\mu^+ + \mu^-]$ (2) shaklida ifodalashimiz mumkin.

Tenglamadagi kattaliklarning son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib gazning solishtirma o'tkazuvchanligini quyidagicha aniqlaymiz:

$$\delta = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{13} \cdot [1,28 \cdot 10^{-4} + 1,82 \cdot 10^{-4}] \approx 4,96 \cdot 10^{-10} \text{ Sm}.$$

Javob: $\delta = 4,96 \cdot 10^{-10} \text{ Sm}.$

Masala

Zarbdan ionlanish jarayonida gazning ionlanish energiyasi $W_i = 2,2 \cdot 10^{-18} \text{ J}$ bo'lsa, gazning ionlanish potentsiali topilsin?

Berilgan:

$$W_i = 2,2 \cdot 10^{-18} \text{ J}; e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}$$

Topish kerak: $\Delta\varphi = ?$

Yechish:

Zarbdan ionlantirish jarayonida to'qnashuvchi zarrachaning ko'chirishda bajarilgan ish ionlantirish energiyasiga teng bo'lishi shart, ya'ni energiyasi $A = q \cdot \Delta\varphi = W_i$ (1). Tenglamadan $\Delta\varphi$ ionlantirish potentsialini quyidagicha aniqlaymiz:

$$\Delta\varphi = \frac{W}{e} = \frac{2,2 \cdot 10^{-18}}{1,6 \cdot 10^{-19}} \approx 13,7 \text{ V}.$$

Javob: $\Delta\varphi \approx 13,7 \text{ V}.$

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Gazni ionlantirish uchun elektronning tezligi $v=3 \cdot 10^6 \frac{m}{s}$ bo'lishi shart bo'lsa, elektronni tezlashtiruvchi potentsiallar farqi qanday bo'lishi kerak?

2. Gaz orqali o'tayotgan tok zichligi $j = 16 \frac{\mu kA}{m^2}$, elektrodlar orasidagi masofa $d=0,4 \text{ sm}$, potentsiallar farqi $\Delta\varphi=24 \text{ V}$ bo'lsa, solishtirma elektr o'tkazuvchanlik topilsin?

3. Zarbdan ionlanish jarayonida atom tuzilishli gazning ionlanish potentsiali $U_i=15,6 \text{ V}$ bo'lsa, gazning harorati qanday bo'lishi shart?

4. Atom tuzilishli gazning ionlanish potentsiali $U_i=20,5 \text{ V}$ bo'lsa, atomni ionlashtiruvchi elektronning v_m —minimal harakat tezligi topilsin?

5. Atom tuzilishli gazning ionlanish potentsiali $U_i=20,2 \text{ V}$, elektrodlar orasidagi masofa $d=2 \text{ mm}$ bo'lsa, elektronlarning harakatchanligi topilsin?

6. Agar azot atomining ionlanish potentsiali $U_i=14,5 \text{ V}$ bo'lsa, azot atomini ionlantirish uchun elektron qanday eng kichik minimal tezlikka ega bo'lishi kerak?

7. Vodorod atomining ionlanish energiyasi $W_i = 2,2 \cdot 10^{-18} \text{ J}$ bo'lsa, atomning ionlanish potentsiali aniqlansin?

8. Ionlashtirish kamerasida azot gazini ionlashtirish jarayonida gazning har bir kub santimetriga $n = 10^7$ juft ion bo'lsa, azot gazining elektr o'tkazuvchanligi aniqlansin?. Hisoblash amallarini bajarishda musbat va manfiy ionlarning harakatchanligi mos ravishda

$$\mu^+ = 1,28 \frac{\text{sm}^2}{\text{V}\cdot\text{s}} \text{ va } \mu^- = 1,81 \frac{\text{sm}^2}{\text{V}\cdot\text{s}} \text{ deb hisoblansin.}$$

9. Vodorod atomining ionlanish potentsiali $U_i=13,6 \text{ V}$ bo'lsa, atomlarning ilgari lanma harakat o'rtacha kinetik energiyasi zarbdan ionlashtirishga yetarli bo'lishi uchun qanday bo'lishi talab etiladi?

10. Gazlarni ionlashtirish kamerasi elektrodleri orasida joylashgan gazning hajmi $V = 4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$, to'yinish tok kuchi

$I_t = 5 \text{ nA}$ bo'lsa, $t = 1 \text{ s}$ vaqtda $V_1 = 1 \text{ sm}^3$ hajmdagi gazda necha juft ion hosil bo'ladi?

Mavzuga oid nazorat savollari

1. Gazlarning elektr o'tkazuvchanligi mexanizmini tushuntiring?
2. Gaz razryadi sodir etilishining fizik mexanizmini qanday tushunasiz?
3. Gaz razryadining qanday turlari mavjud?
4. Fotoionlanish deb nimaga aytiladi va uning amaliy ahamiyati?
5. Gazlarning elektr mustahkamligi qanday kattaliklariga bog'liq?
6. Gazsimon moddalarda zarbdan ionlanish jarayonini sodir etilishining fizik mexanizmini tushuntiring?
7. Gazlarda to'yinish toki deganda qanday fizik jarayonni tushundingiz?
8. Gazlarda to'yinish tokining maksimal qiymati qaysi parametrlarga bog'liq?
9. Gazsimon moddalarda zarbdan ionlanish jarayoni sodir etilishi uchun qanday shartlar bajarilishi talab etiladi?
10. Elektrodlar orasidagi oraliq masofa ortishi bilan elektronlarning kinetik energiyasi qanday o'zgaradi?

2.6. Gazsimon dielektriklarning teshilish va ularning elektr mustahkamligi

➤ Gazlarda elektr teshilish tashqi E — kuchlanganlikli elektr maydoni ta'sirida sodir etiladi. Zaryadli gaz zarrasining tashqi elektr maydoni ta'sirida olgan qo'shimcha energiyasi: $W = q \cdot u_\lambda$ (2.1) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda u_λ — zaryadli zarrani λ — erkin yugurish yo'lida kuchlanish tushuvi.

➤ Bir jinsli elektr maydonida u_λ — kuchlanish tushuvi: $u_\lambda = E \cdot \lambda$ (2.2), bu yerdan $W = q \cdot E \cdot \lambda$ (2.3) bo'lib, W — kattalik zaryadli zarraning issiqlik harorat energiyasini ifodalaydi.

➤ W_i — ionlantirish energiyasi, W_i — ionlantirish kuchlanishiga bog'liq bo'lib, $U_i = \frac{W_i}{q}$ (2.4) shaklda ifodalanadi.

Masalalar yechish namunalari

Masala

Ikki elektrodli gaz to'ldirilgan lampada elektrodlar orasidagi masofa $d=0,1\text{ mm}$ bo'lganda, gazning dielektrik mustahkamligi $E_m=10^8 \frac{\text{V}}{\text{m}}$ bo'lsa, elektrodlar orasidagi masofa 3 marta orttirilganda elektr mustahkamlik qanday o'zgaradi?

Berilgan:

$$d=0,1\text{ mm}=10^{-4}\text{ m}; E_{M_1}=10^8 \frac{\text{V}}{\text{m}}; d_2=3d_1=3\cdot 10^{-4}\text{ m}.$$

$$\text{Topish kerak: } E_{M_2}=? \quad \frac{E_{M_1}}{E_{M_2}}=?$$

Yechish

Dielektrik moddaning elektr mustahkamligi ionlanish kuchlanish bilan aniqlanib, $U_i=E_M \cdot d$ (1) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda E_M — kattalik dielektrik moddaning mustahkamlik chegarasiga mos keluvchi maydon kuchlanishining qiymati. Ushbu (1) tenglamaga asosan ionlanish kuchlanishi o'zgarmas saqlangan holda $E_{M_1} \cdot d_1 = E_{M_2} \cdot d_2$ (2) ko'rinishda ifodalashimiz mumkin, u holda:

$$\frac{E_{M_1}}{E_{M_2}} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{10^{-4}}{3 \cdot 10^{-4}} = \frac{1}{3}.$$

Bu yerdan ikkinchi holatga mos keluvchi elektr mustahkamlikni quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$E_{M_2} = \frac{1}{3} \cdot E_{M_1} = \frac{1}{3} \cdot 10^8 \frac{\text{V}}{\text{m}} \approx 3,3 \cdot 10^7 \frac{\text{V}}{\text{m}}.$$

$$\text{Javob: } E_{M_2} \approx 3,3 \cdot 10^7 \frac{\text{V}}{\text{m}}.$$

Masala

Yassi kondensator qoplamalari orasiga gazsimon dielektrik modda to'ldirilgan. Agarda gazsimon dielektrik moddaning dielektrik singdiruvchanligi $\varepsilon = 6$, kondensatorning elektr sig'imi $C = 75\text{ pF}$, ishchi kuchlanishi $U = 10\text{ kV}$, qoplamalar orasidagi masofa $d = 0,042\text{ mm}$, elektr mustahkamligining zahira koeffitsiyenti $k = 4,5$ bo'lsa, kondensator qoplamalarining sirt yuzasi va gazsimon dielektrik moddaning elektr mustahkamligi topilsin?

Berilgan:

$$\varepsilon = 6, C = 75 \text{ pF} = 75 \cdot 10^{-12} \text{ F}, U = 10 \text{ kV} = 10^4 \text{ V}, \\ d = 0,042 \text{ mm} = 4,2 \cdot 10^{-5} \text{ m}, k = 4,5, \varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}.$$

Topish kerak: $E_M = ?$ $S = ?$

Yechish:

Ma'lumki, yassi kondensatorning elektr sig'imi $C = \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \frac{S}{d}$ (1) tenglama bilan ifodalanadi. Bu yerdan yassi kondensatorning qoplamalari sirt yuzasini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$S = \frac{C \cdot d}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0} = \frac{75 \cdot 10^{-12} \cdot 4,2 \cdot 10^{-5}}{6 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \approx 5,9 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2.$$

Ushbu holatda kondensator qoplamalari orasiga to'ldirilgan dielektrikning elektr mustahkamligi va uning zahira koeffitsiyentini ifodalovchi $E_M = \frac{k \cdot U}{d}$ (2) tenglamasidan gazsimon dielektrik moddaning elektr mustahkamligini topsak:

$$E_M = \frac{k \cdot U}{d} = \frac{4,5 \cdot 10^4}{4,2 \cdot 10^{-5}} \approx 1,1 \cdot 10^9 \frac{\text{V}}{\text{m}}.$$

Javob: $E_M \approx 1,1 \cdot 10^9 \frac{\text{V}}{\text{m}}.$

Masala

Yassi kondensatorning elektr sig'imi $C = 39 \text{ pF}$, qoplamalari orasiga to'ldirilgan gazsimon dielektrik moddaning dielektrik singdiruvchanligi $\varepsilon = 6$, teshilish maydon kuchlanganligi $E_M = 100 \frac{\text{MV}}{\text{m}}$ bo'lsa, kondensatorni $U = 16 \text{ kV}$ ishchi kuchlanishda elektr mustahkamligining $k = 4$ zahira koeffitsiyenti bilan ishlashi uchun qoplamalar orasidagi masofa va qoplamalarning sirt yuzasi qanday bo'lishi kerak?

Berilgan:

$$\varepsilon = 6, C = 39 \text{ pF} = 39 \cdot 10^{-12} \text{ F}, k = 4,$$

$$U = 16 \text{ kV} = 1,6 \cdot 10^4 \text{ V},$$

$$E_M = 100 \frac{\text{MV}}{\text{m}} = 10^8 \frac{\text{V}}{\text{m}}, \varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}.$$

Topish kerak: $d = ?$ $S = ?$

Yechish:

Kondensator qoplamalari orasiga to'ldirilgan gazsimon dielektrik moddaning elektr mustahkamligining zaxira koeffitsiyenti k bo'lsa, u holda dielektrik moddaning teshilish elektr maydoni kuchlanganligi va kondensator qoplamalari orasidagi potentsiallar farqi orasidagi bog'lanishni ifodalovchi tenglama quyidagi $E_M = \frac{k \cdot U}{d}$ (1) shaklda bo'lib, bu yerdan gazsimon dielektrik modda to'ldirilgan qoplamalar orasidagi masofani quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$d = \frac{k \cdot U}{E_M} = \frac{4 \cdot 1,6 \cdot 10^4}{10^8} = 6,4 \cdot 10^{-4} \text{ m.}$$

Ushbu holatda yassi kondensatorning elektr sig'imini ifodalovchi $C = \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \frac{S}{d}$ (2) tenglamadan kondensator qoplamalarining sirt yuzasini topishimiz mumkin:

$$S = \frac{C \cdot d}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0} = \frac{39 \cdot 10^{-12} \cdot 6,4 \cdot 10^{-4}}{6 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \approx 4,7 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2.$$

Javob: $d = 6,4 \cdot 10^{-4} \text{ m}$, $S \approx 4,7 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$.

Masala

Bir jinsli elektr maydonida $d_1 = 2 \text{ mm}$ qalinlikdagi dielektrik moddada elektr teshilish $U_1 = 15 \text{ kV}$ kuchlanishda sodir etilsa, ushbu dielektrik moddani $U_2 = 45 \text{ kV}$ kuchlanishli elektr maydonida ishlatish uchun dielektrik moddaning qalinligi qanday bo'lishi kerak?

Berilgan:

$$d_1 = 2 \text{ mm}, U_1 = 15 \text{ kV}, U_2 = 45 \text{ kV}.$$

Topish kerak: $d_2 = ?$

Yechish:

Ma'lumki, dielektrik moddalarda elektr teshilish hodisasi maydon kuchlanganligini, dielektrik moddaning mustahkamlik chegarasidan yuqori qiymatlarida sodir etiladi va ushbu jarayon umumiy holda $E_M = \frac{U}{d}$ (1) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda U – kattalik dielektrik moddaning qarama-qarshi sirtiga qo'yilgan kuchlanish, d – dielektrik moddaning qalinligi. Masalaning shartiga ko'ra 1 va 2- holatlarda (1) tenglamaga muvofiq dielektrik moddaning elektr mustahkamligi quyidagi tenglamalar bilan ifodalanadi: $E_M = \frac{U_1}{d_1}$ (2), $E_M = \frac{U_2}{d_2}$ (3).

Ushbu (2) va (3) tenglamalarni o'ng va chap tomonlarini hadma-had bo'lib, quyidagi tenglikni hosil qilamiz: $\frac{U_1}{d_1} = \frac{U_2}{d_2}$ (4), bu yerdan 2-holat uchun talab etiladigan dielektrik moddaning qalinligini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$d_2 = \frac{U_2}{U_1} \cdot d_1 = \frac{45 \text{ kV}}{15 \text{ kV}} \cdot 2 \text{ mm} = 6 \text{ mm}.$$

Javob: $d_2 = 6 \text{ mm}$.

Masala

Yassi kondensator qoplamalari orasiga joylashtirilgan $d_1 = 4 \text{ mm}$ qalinlikdagi dielektrik moddada maydon kuchlanganligi ta'sirida elektr teshilish $U_1 = 8 \text{ kV}$ kuchlanishda sodir etilsa, ushbu dielektrik moddaning $U_2 = 25 \text{ kV}$ kuchlanishli elektr maydonida ishlatish uchun dielektrik moddaning yuzasi qanday bo'lishi kerak?

Berilgan:

$$d_1 = 4 \text{ mm}, U_1 = 8 \text{ kV}, U_2 = 25 \text{ kV}.$$

Topish kerak: $S=?$

Yechish:

Oldingi masalaning yechilishiga e'tibor qaratadigan bo'lsak, dielektrik moddalarda elektr teshilish hodisasi maydon kuchlanganligini, dielektrik moddaning mustahkamlik chegarasidan yuqori qiymatlarida sodir etiladi va $E_M = \frac{U}{d}$ (1) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerdan masalaning shartiga ko'ra 1 va 2- holatlarda (1) tenglamaga muvofiq dielektrik moddaning elektr mustahkamligi: $E_M = \frac{U_1}{d_1}$ (2), $E_M = \frac{U_2}{d_2}$ (3) tenglamalar bilan ifodalanadi. Yuqorida keltirilgan (2) va (3) tenglamalarni o'ng va chap tomonlarini hadma-had bo'lib $\frac{U_1}{d_1} = \frac{U_2}{d_2}$ (4) tenglikni hosil qilamiz. Ushbu tenglamadan ko'rinib turibdiki, 2-holat uchun dielektrik moddaning qalinligini orttirish talab etiladi va ushbu holatda elektr teshilishi kuchlanishi dielektrik moddaning sirt yuzasiga bog'liq emas.

Javob: Dielektrik moddaning sirt yuzasiga bog'liq emas.

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Elektrodlarining orasi gazsimon dielektrik bilan to'ldirilgan ikki elektrodli o'tkazgich orasidagi masofa $d=0,2\text{ mm}$ bo'lganda, gazsimon dielektrik moddaning elektr mustahkamligi $E_m=2 \cdot 10^9 \frac{\text{V}}{\text{m}}$ bo'lsa, elektrodlar orasidagi masofa 2 marta kamaytirilganda elektr mustahkamlik qanday o'zgaradi?

2. Yassi kondensator qoplamalari orasiga to'ldirilgan gazsimon dielektrik moddaning dielektrik singdiruvchanligi va elektr mustahkamligi topilsin? Kondensatorning elektr sig'imi $C = 75\text{ pF}$, ishchi kuchlanishi $U = 10\text{ kV}$, qoplamalar orasidagi masofa $d = 0,042\text{ mm}$, elektr mustahkamligining zahira koeffitsiyenti $k = 4,5$, qoplamalarining sirt yuzasi $S = 7 \cdot 10^{-5}\text{ m}^2$.

3. Yassi kondensatorning qoplamalari orasiga to'ldirilgan gazsimon dielektrik moddaning dielektrik singdiruvchanligi $\varepsilon = 6$, elektr sig'imi $C = 35\text{ pF}$, qoplamalarining sirt yuzasi $S = 0,04\text{ sm}^2$ bo'lsa, kondensatorni $U = 16\text{ kV}$ ishchi kuchlanishda elektr mustahkamligining $k = 4$ zahira koeffitsiyenti bilan ishlashi uchun qoplamalar orasidagi masofa va elektr mustahkamligi qanday bo'lishi kerak?

4. Bir jinsli elektr maydonida $d_1 = 2\text{ mm}$ qalinlikdagi dielektrik moddada elektr teshilish $U_1 = 15\text{ kV}$ kuchlanishda sodir etilsa, ushbu dielektrik moddaning qalinlig 3 marta orttirilgan holatida qanday kuchlanishli elektr maydonida ishlatish mumkin?

5. Yassi kondensator qoplamalari orasiga joylashtirilgan dielektrik moddaning sirt yuzasi 4 marta orttirilganda dielektrik moddaning elektr mustahkamligi necha marta o'zgaradi?

6. Ikki elektrodli lampaning elektrodleri orasidagi masofa $d_1 = 3\text{ mm}$ bo'lganida gazning elektr mustahkamligi $E_m=3 \cdot 10^8 \frac{\text{V}}{\text{m}}$. Agarda elektrodlar orasidagi masofa 3 marta kamaytirilsa, gazning elektr mustahkamligi qanday o'zgaradi?

7. Yassi kondensator qoplamalari orlig'i 2 marta kamaytirilsa, qoplamalar orasiga joylashtirilgan dielektrik moddaning elektr mustahkamligi necha marta o'zgaradi?

8. Elektrodleri orasidagi oraliq masofa $d_1 = 5\text{ mm}$, elektr teshilishi kuchlanishi $U_t = 1,6\text{ kV}$ bo'lganida, gazsimon dielektrik moddaning elektr mustahkamligi topilsin?

9. Bir jinsli elektr maydonida $d_1 = 5\text{ mm}$ qalinlikdagi gazsimon dielektrik moddada elektr teshilishi $U_1 = 5,6\text{ kV}$ kuchlanishda sodir

etilsa, qoplamalari orasidagi masofani o'zgartirmasdan qo'shimcha dielektrik singdiruvchanligi $\varepsilon = 6$, qalinligi $d_2 = 1,5 \text{ mm}$ bo'lgan qattiq dielektrik moddasi joylashtirilsa ushbu kondensatorni qanday kuchlanishli elektr maydonida ishlatish mumkin?

10. Elektrodleri orasidagi oraliq masofa 3 marta kamaytirilganda elektr teshilishi kuchlanishi $U_t = 1,6 \text{ kV}$ bo'lganida gazsimon dielektrik moddaning elektr mustahkamligi necha marta o'zgaradi?

Mavzuga oid nazorat savollari

1. Dielektrik moddalarning dielektrik singdiruvchanligi uning agregat holatlariga qanday bog'liq?

2. Gazsimon moddalarning elektr mustahkamligini moddaning ichki tuzilishiga bog'liqligining fizik mohiyatini tushuntiring?

3. Dielektrik moddalarning elektr mustahkamligi va dielektrik singdiruvchanligi orasidagi bog'liqlikni tushuntiring?

4. Gazsimon moddalarda teshilish kuchlanishi moddaning qaysi parametrlariga bog'liq?

5. Gazsimon dielektrlarda harorat ortishi bilan moddaning elektr mustahkamligi qanday o'zgaradi?

6. Gazsimon moddalarning teshilishi tizimda qanday o'zgarishlarni sodir etilishiga sabab bo'ladi?

7. Gazsimon dielektrik moddalarning teshilishi jarayonining qanday turlarini bilasiz?

8. Gazlarda teshilish hodisasi sodir etilishining fizik mexanizmini tushuntiring?

9. Gazsimon moddalarda teshilish kuchlanishining son qiymati moddaning tarkibiga qanday bog'liqligini izohlang?

10. Gazsimon moddalarning teshilishi jarayoni asosan qanday fizik kattaliklar bilan tavsiflanadi?

2.7. Dielektrlarda energiya isrofi

➤ C_s —sig'imli kondensatorga ketma-ket va C_p —sig'imli kondensatorga parallel ulangan r —aktiv qarshilikli sxema uchun aktiv

quvvat $P_a = \frac{U^2 \omega C_s \operatorname{tg} \delta}{1 + \operatorname{tg}^2 \delta}$ (2.1), bu yerdan dielektrlarda energiya isrofi

$\operatorname{tg} \delta = \omega C_s r$ (2.2).

➤ Parallel ulangan sxema uchun P_a –aktiv quvvat $P_a = u^2 \omega C_p \operatorname{tg} \delta$ (2.3), bu yerdan $\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{\omega \cdot C_p \cdot P}$ (2.4) bo'lib, ω –kattalik siklik chastota $\omega = 2\pi V$ (2.5) tenglama bilan ifodalanadi.

➤ Elektr o'tkazuvchanlikda sodir etiladigan dielektrik yo'qotish harorat ortishi bilan eksponensial qonuniyatga muvofiq ortadi va ushbu jarayon matematik jihatidan quyidagi $P_T = A \exp(-b/T)$ (2.6) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda A, b –koeffitsiyentlar materialning turiga bog'liq.

Masalalarni yechish namunalari

Masala

Kabel o'tkazgich izolyatsiyasining qarshiligi $R = 20 \text{ M}\Omega$, berilgan o'zgarmas kuchlanish $U = 20 \text{ V}$ bo'lsa, kabelning izolyatsiya qatlamida sodir etiladigan aktiv quvvat isrofi topilsin?

Berilgan:

$$R = 20 \text{ M}\Omega = 20 \cdot 10^6 \Omega, U = 20 \text{ V}.$$

Topish kerak: $P_a = ?$

Yechish:

Kuchlanishning o'zgarmas qiymatida aktiv quvvat $P_a = I \cdot U$ (1) tenglama bilan ifodalanadi.

Maslaning shartida berilgan kattaliklarga asosanib, tok kuchining $I = \frac{U}{R}$ (2) ifodasini (1) tenglamaga qo'yib, P_a –aktiv quvvatni matematik jihatidan ifodalovchi quyidagi tenglikni hosil qilamiz: $P_a = \frac{U}{R} \cdot U = \frac{U^2}{R}$ (3).

Tenglamadagi kattaliklarni masalaning shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, kabelning izolyatsiyasida sodir etilgan aktiv quvvat isrofini quyidagicha aniqlaymiz:

$$P_a = \frac{U^2}{R} = \frac{20^2}{20 \cdot 10^6} = 20 \mu\text{kVt}.$$

Javob: $P_a = 20 \mu\text{kVt}.$

Masala

Tozalangan transformator moyining solishtirma hajmiy elektr qarshiligining son qiymatini $\rho_V = 10^{12} \text{ Omm}$, dielektrik singdiruvchanligini $\varepsilon = 2,2$ deb hisoblab, $f = 50 \text{ Hz}$ chastotali o'zgaruvchan kuchlanishda dielektrik yo'qotishning $\text{tg}\delta$ - burchak tangensi topilsin?

Berilgan:

$$\rho_V = 10^{12} \text{ Omm}, \varepsilon = 2,2, f = 50 \text{ Hz}, \varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}.$$

Topish kerak: $\text{tg}\delta = ?$

Yechish:

Dielektrik moddalarda energiya yo'qotilishining burchak tangensi quyidagi $\text{tg}\delta = \frac{1}{C \cdot \omega \cdot R_V}$ (1) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda C -elektr sig'im, ω -siklik chastota, R_V - hajmiy qarshilik. U holda elektr sig'imning $C = \varepsilon \varepsilon_0 \frac{S}{d}$ (2), hajmiy qarshilikning $R_V = \rho_V \frac{d}{S}$ (3), siklik chastotaning $\omega = 2\pi f$ (4) ifodalarini (1) tenglamaga qo'yib, dielektrik isrof burchak tangensining quyidagi ifodasini hosil qilamiz:

$$\text{tg}\delta = \frac{1}{\varepsilon \varepsilon_0 \frac{S}{d} \cdot \rho_V \frac{d}{S} \cdot 2\pi f} = \frac{1}{\varepsilon \varepsilon_0 \cdot \rho_V \cdot 2\pi f} \quad (5).$$

Tenglamadagi kattaliklarning masala shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, dielektrik isrof burchak tangensini topishimiz mumkin:

$$\text{tg}\delta = \frac{1}{\varepsilon \varepsilon_0 \cdot \rho_V \cdot 2\pi f} = \frac{1}{2,2 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{12} \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50} \approx 1,63 \cdot 10^{-4}.$$

Javob: $\text{tg}\delta \approx 1,63 \cdot 10^{-4}$.

Masala

Yassi kondensator sig'imi $C=200 \text{ pF}$ bo'lib, chastotasi $f=1 \text{ MHz}$ bo'lgan $U=200 \text{ V}$ o'zgaruvchan kuchlanish zanjiriga ulanganda aktiv quvvat isrofi $P_a=10^{-3} \text{ W}$ bo'lsa, dielektrik isrof burchak tangensi topilsin?

Berilgan:

$$C=200 \text{ pF}=2 \cdot 10^{-10} \text{ F}; U=200 \text{ V}; f=1 \text{ MHz}=10^6 \text{ Hz}; P_a=10^{-3} \text{ W}.$$

Topish kerak: $\text{tg}\delta = ?$

Yechish:

Masalaning shartida berilgan kattaliklar orqali $tg\delta$ –dielektrik isrof burchak tangensining matematik ifodasini hosil qilish uchun P_a –aktiv quvvatni $tg\delta$ bilan bog'liqligini ifodalovchi $P_a = U^2 \cdot \omega \cdot C \cdot tg\delta$ (1) tenglamadan $tg\delta$ ni quyidagicha aniqlaymiz:

$$tg\delta = \frac{P_a}{U^2 \cdot \omega \cdot C}$$

(2), bu yerda ω –kattalik siklik yoki burchak chastotasi $\omega = 2\pi f$ (3) shaklda ifodalanadi. (2) va (3) tenglamalardan:

$$tg\delta = \frac{P_a}{U^2 \cdot 2\pi f \cdot C} = \frac{10^{-3}}{(2 \cdot 10^2)^2 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 10^{-10}} \approx 2 \cdot 10^{-5}.$$

Javob: $tg\delta \approx 2 \cdot 10^{-5}$.

Masala

Dielektrik moddada xona harorati $t_0 = 20^\circ\text{C}$ sharoitida dielektrik isrof $tg\delta_0 = 5 \cdot 10^{-4}$ bo'lib, harorat $t_1 = 100^\circ\text{C}$ ga o'ttirilganda 2 marta oshgan bo'lsa, $t_2 = 200^\circ\text{C}$ haroratda dielektrik isrof burchak tangensi topilsin?

Dielektrik moddaning harorati 20°C dan 200°C gacha ko'tarilganda aktiv quvvat necha marta oshadi?

Berilgan:

$$T_0 = t_0 + 273 \approx 293^\circ\text{C}; \quad T_1 = t_1 + 273 \approx 373^\circ\text{C}; \quad T_2 = t_2 + 273 \approx 473^\circ\text{C};$$

$$tg\delta_0 = 5 \cdot 10^{-4}; \quad \frac{tg\delta_1}{tg\delta_0} = 2.$$

$$\text{Topish kerak: } tg\delta_2 = ? \quad \frac{P_{a2}}{P_{a0}} = ?$$

Yechish:

Dielektrik moddaning harorati ortib borishi bilan dielektrik isrof burchak tangensi eksponensial qonuniyat bo'yicha o'zgaradi. $tg\delta_T = tg\delta_0 \exp[\alpha \cdot (T - T_0)]$ (1) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda $tg\delta_0$ –dielektrik isrof burchak tangensini $t = 20^\circ\text{C}$ haroratdagi qiymati, α –kattalik dielektrik isrof burchak tangensining harorat koeffitsiyenti $\alpha = \frac{\ln tg\delta_1 - \ln tg\delta_0}{t_1 - t_0}$ (2) tenglamadan quyidagicha aniqlanadi:

$$\alpha = \frac{\ln(2 \cdot \operatorname{tg} \delta_0) - \ln \operatorname{tg} \delta_0}{t_1 - t_0} = \frac{\ln \left[\frac{2 \cdot 5 \cdot 10^{-4}}{5 \cdot 10^{-4}} \right]}{100 - 20} \approx \frac{0,693}{80} \approx 8,66 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}.$$

U holda T_2 —haroratda dielektrik isrof burchak tangensi (1) tenglamaga asosan:

$$\operatorname{tg} \delta_2 = 5 \cdot 10^{-4} \cdot \exp[8,66 \cdot 10^{-3} \cdot (200 - 20)] \approx 2,38 \cdot 10^{-3}.$$

Dielektrik moddaning harorati ortishi bilan P_a —aktiv quvvat $\operatorname{tg} \delta$ ga proporsional holda o'zgaradi va quyidagicha ifodalanadi:

$$\frac{P_{a2}}{P_{a0}} = \frac{\operatorname{tg} \delta_2}{\operatorname{tg} \delta_0} = \frac{2,38 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^{-4}} \approx 4,76.$$

$$\text{Javob: } \operatorname{tg} \delta_2 = 2,38 \cdot 10^{-3}; \frac{P_{a2}}{P_{a0}} = 4,76.$$

Masala

Yassi kondensator elektr sistema $C = 120 \text{ pF}$, qoplamalari orasidagi kuchlanish $U = 100 \text{ V}$ bo'lsa, aktiv quvvat $P_a = 10^{-3} \text{ W}$ qoplamalar orasidagi dielektrik moddaning singdiruvchanligi $\epsilon = 150$, dielektrik mustahkamligi $E_M = 10 \frac{\text{MV}}{\text{m}}$, dielektrik mustahkamlik bo'yicha zahira koeffitsiyenti $k = 10$ bo'lsa, dielektrikda P —solishtirma quvvat isrofi topilsin?

Berilgan:

$$C = 120 \text{ pF} = 1,2 \cdot 10^{-10} \text{ F}; U = 100 \text{ V}; P_a = 10^{-3} \text{ W}; \epsilon = 150;$$

$$E_M = 10 \frac{\text{MV}}{\text{m}} = \frac{\text{V}}{\text{m}}; k = 10$$

Topish kerak: $P = ?$

Yechish:

Dielektriklarda solishtirma quvvat isrofi yo'qotilgan P_a —aktiv quvvatni, dielektrik moddaning to'liq hajmiga nisbati bilan aniqlanadi va $P = \frac{P_a}{s \cdot d}$ (1) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda s —dielektrik qatlam yuzasi, d —qalinligi. Bu holatda yassi kondensator qoplamalari orasidagi dielektrik moddaning qalinligini dielektrik mustahkamlik shartidan quyidagicha aniqlaymiz:

$$d = \frac{\sqrt{2} \cdot U \cdot k}{E_M} = \frac{\sqrt{2} \cdot 100 \cdot 10}{10 \cdot 10^6} \approx 1,42 \cdot 10^{-4}.$$

U holda, yassi kondensatorning sig'imini ifodalovchi $C = \epsilon \epsilon_0 \frac{s}{d}$ (2) tenglamadan s — yuzani aniqlasak:

$$s = \frac{C \cdot d}{\epsilon \epsilon_0} = \frac{1,2 \cdot 10^{-10} \cdot 1,42 \cdot 10^{-4}}{150 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \approx 1,28 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2.$$

Kattaliklarning aniqlangan son qiymatlarini (1) tenglamaga qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, dielektrikda P — solishtirma quvvat isrofini topamiz:

$$P = \frac{P_a}{s \cdot d} = \frac{10^{-3}}{1,28 \cdot 10^{-5} \cdot 1,42 \cdot 10^{-4}} \approx 5,68 \cdot 10^5 \frac{\text{W}}{\text{m}^3}.$$

$$\text{Javob: } P = 5,68 \cdot 10^5 \frac{\text{W}}{\text{m}^3}.$$

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Kabel o'tkazgich izolyatsiyasining qarshiligi $R = 4 \text{ M}\Omega\text{m}$, izolyatsiya qatlamida sodir etiladigan aktiv quvvat isrofi $P_a = 12 \mu\text{kVt}$ bo'lsa, berilgan o'zgarmas kuchlanish topilsin?

2. Yassi kondensator sig'imi $C = 300 \text{ pF}$ bo'lib, chastotasi $f = 1 \text{ MHz}$ bo'lgan $U = 200 \text{ V}$ o'zgaruvchan kuchlanish zanjiriga ulanganda sodir etilgan dielektrik isrof burchak tangensi $\text{tg}\delta \approx 4 \cdot 10^{-5}$ bo'lsa, P_a - aktiv quvvat topilsin?

3. Dielektrik moddada $t_0 = 27^\circ\text{C}$ sharoitida dielektrik isrof $\text{tg}\delta_0 = 6 \cdot 10^{-4}$ bo'lib, harorat $t_1 = 200^\circ\text{C}$ ga orttirilganda 2,5 marta oshgan bo'lsa, $t_2 = 400^\circ\text{C}$ haroratda dielektrik isrof burchak tangensi topilsin?

4. Transformator moyining solishtirma sirtiy qarshiligi $\rho_v = 10^{12} \text{ Omm}$, dielektrik singdiruvchanligi $\epsilon = 2,4$ va $f = 50 \text{ Hz}$ chastotali o'zgaruvchan kuchlanishda dielektrik yo'qotishning burchak tangensi $\text{tg}\delta = 1,8 \cdot 10^{-4}$ bo'lsa, transformator moyining solishtirma hajmiy qarshiligi topilsin?

5. Yassi kondensator elektr sig'imi $C = 100 \text{ pF}$, qoplamalari orasidagi kuchlanish $U = 200 \text{ V}$ bo'lsa, qoplamalar orasidagi dielektrik moddaning singdiruvchanligi $\epsilon = 140$, dielektrik mustahkamligi $E_M = 20 \frac{\text{MV}}{\text{m}}$, dielektrik mustahkamlik bo'yicha zahira koeffitsiyenti $k = 12$, P — solishtirma quvvat isrofi $P = 6 \cdot 10^5 \frac{\text{W}}{\text{m}^3}$ bo'lsa, dielektrikda aktiv quvvat P_a — topilsin?

6. Sirti izolyatsiyalangan kabel o'tkazgich izolyatsiyasining elektr qarshiligi $R = 4 \text{ M}\Omega\text{m}$, o'tkazgichning uchlariga berilgan o'zgarmas

kuchlanish $U=500\text{ V}$ bo'lsa, izolyatsiya qatlamida sodir etiladigan aktiv quvvat isrofi aniqlansin?

7. Izolyatsiyalangan mis o'tkazgichli kabelning sirtidagi izolyatsion qatlamning elektr qarshiligi 2 marta orttirilsa, o'tkazgich uchlariga berilgan kuchlanishning o'zgarish qiymatida izolyatsion qatlamda sodir etiladigan P_a – aktiv quvvatning qiymati necha martaga o'zgaradi?

8. Elektr sig'imi $C=300\text{ pF}$ bo'lgan yassi kondensator, $U=200\text{ V}$ o'zgaruvchan kuchlanish zanjiriga ulanganda sodir etilgan dielektrik isrof burchak tangensi $\text{tg}\delta \approx 4 \cdot 10^{-5}$, aktiv quvvat isrofi $P_a = 12\text{ }\mu\text{kVt}$ bo'lsa, o'zgaruvchan kuchlanish chastotasi topilsin?

9. Kondensatorni elektr sig'imi $C=600\text{ pF}$ bo'lib, chastotasi $f=2\text{ MHz}$ bo'lgan $U=220\text{ V}$ o'zgaruvchan kuchlanish zanjiriga ulanganda sodir etilgan aktiv quvvat isrofi $P_a = 24\text{ }\mu\text{kVt}$ bo'lsa, dielektrik isrofi burchak tangensi $\text{tg}\delta$ aniqlansin?

10. Sirti izolyatsiyalangan kabelning izolyatsion qatlamida sodir etiladigan P_a – aktiv quvvatning o'tkazgich sirtidagi izolyatsion qatlamning elektr qarshiligiga bog'liqligi grafigi tuzilsin?

Mavzuga oid nazorat savollari

1. Dielektrik moddaning qizishiga sarflangan quvvat qanday nomlanadi?

2. Dielektrik isrof burchagining fizik ma'nosini tushuntiring?

3. Aktiv va reaktiv quvvatlar farqini tushuntiring?

4. Dielektrik moddalarda quvvat isrofini aniqlash uchun, burchak tangensidan tashqari yana qanday kattaliklarni bilish lozim?

5. Dielektrik moddalarda quvvat isrofi moddaning agregat holatiga bog'liqligining fizik mohiyatini tushuntiring?

6. Dielektriklarda energiya isrofi moddaning agregat holatiga qanday bog'liqligini tushuntiring?

7. Dielektrik moddalarda energiya isrofini kamaytirish maqsadida amaliyotda qanday uslublardan foydalaniladi?

8. Energiya isrofini dielektrik moddaning tarkibiga bog'liqligini tushuntiring?

9. Dielektrik isrof va elektr sig'imning o'zaro bog'liqligini izohlang?

10. Dielektrik moddalarda harorat o'zgarishi bilan energiya isrofi qanday o'zgaradi?

III-BOB. ELEKTR O'TKAZGICH MATERIALLARI

3.1. Elektr o'tkazgich materiallarining asosiy elektrofizik xususiyatlari

➤ Elektr tokini o'tkazgich materiallarining elektr o'tkazuvchanligini tavsiflash uchun solishtirma elektr o'tkazuvchanlik tushunchasi kiritiladi va matematik jihatidan $\sigma = \frac{1}{\rho}$ (3.1.1) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda ρ -kattalik materialning solishtirma elektr qarshiligi deb ataladi.

➤ Elektr qarshilik va solishtirma qarshilikning o'zaro bog'liqligi $R = \rho \cdot \frac{l}{S}$ (3.2) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda l -silindr shaklidagi o'tkazgichning uzunligi, S - kattalik elektr o'tkazgich materialining ko'ndalang kesimi yuzasi.

➤ Metall o'tkazgichlarning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi, materialning ρ – solishtirma elektr qarshiligiga teskari bo'lgan fizik kattalik bo'lib, matematik jihatidan quyidagi $\sigma = \frac{en\lambda}{2mv}$ (3.7) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda n – erkin elektronlar konsentratsiyasi, λ – elektronlarning elektr maydoni ta'sirida o'rtacha erkin yugurish yo'li, v – elektronlarning issiqlik harakati tezligi

➤ O'tkazgich materiallari qizdirilganda solishtirma elektr qarshiligining o'zgarishi hisobiga elektr qarshilik ham o'zgaradi. Harorat ta'sirida o'tkazgichlarning elektr qarshiligini o'zgarishi $R = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t)$ yoki $R_t = R_0 \frac{T}{T_0}$ (3.3) tenglamalar bilan ifodalanadi, bu yerda α -koeffitsiyent o'tkazgich material elektr qarshiligining termik koeffitsiyenti deyiladi. R_0 - kattalik o'tkazgich materialaning $t = 0^\circ\text{C}$ haroratdagi elektr qarshiligi.

➤ O'tkazgich materiallari qizdirilganda materialga berilgan issiqlik miqdori $Q = mc\Delta T$ (3.4) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda m - kattalik jismning massasi, c -o'tkazgich tayyorlangan moddasining solishtirma issiqlik sig'imi, ΔT -jism haroratining o'zgarishi.

➤ O'tkazgichning qarshiligi R_t -uning 0°C haroratdagi R_0 qarshiligining termik qarshilik $(1+\alpha t)$ binomiga ko'paytnasiga teng: $R_t = R_0 \cdot (1 + \alpha t)$ (3.5), bu yerda α -o'tkazgich qarshiligining harorat koeffitsiyenti.

Masalalarni yechish namunalari

Masala

Mis o'tkazgich simning qarshiligi $R = 10,8 \text{ Om}$, massasi $m = 3,41 \text{ kg}$ bo'lsa, uning ko'ndalang kesimi yuzasi S va uzunligi l topilsin?. Misning solishtirma elektr qarshiligi $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Omm}$, zichligi $D = 8,9 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

Berilgan:

$$R = 10,8 \text{ Om}; m = 3,41 \text{ kg}; \rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Omm};$$

$$D = 8,9 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}.$$

Topish kerak: $S = ?$ $l = ?$

Yechish:

O'tkazgichning qarshiligi masalaning shartida berilishiga asosan $R = \rho \cdot \frac{l}{S}$ (1) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda l – o'tkazgich materialining uzunligi, S – ko'ndalang kesimi yuzasi.

Jismning zichligini $D = \frac{m}{V} = \frac{m}{S \cdot l}$ (2) va (1) tenglamalaridan o'tkazgich materialining uzunligining $l = \sqrt{\frac{R \cdot m}{\rho \cdot D}}$ (3) va ko'ndalang

kesimi yuzasining $S = \sqrt{\frac{\rho \cdot m}{D \cdot R}}$ (4) tenglamalarini keltirib chiqarib, kattaliklarning masala shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, o'tkazgichning uzunligi va ko'ndalang kesimi yuzasini aniqlaymiz:

$$l = \sqrt{\frac{R \cdot m}{\rho \cdot D}} = \sqrt{\frac{10,8 \cdot 3,41}{1,7 \cdot 10^{-8} \cdot 8,9 \cdot 10^3}} \approx 500 \text{ m}.$$

$$S = \sqrt{\frac{\rho \cdot m}{D \cdot R}} = \sqrt{\frac{1,7 \cdot 10^{-8} \cdot 3,41}{8,9 \cdot 10^3 \cdot 10,8}} \approx 7,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2.$$

Javob: $l \approx 500 \text{ m}$. $S \approx 7,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2$.

Masala

Cho'g'lanma lampochkani volfram tolasining elektr qarshiligi $t_1 = 20^\circ\text{C}$ haroratda $R_1 = 40\text{ Om}$. Uning $t_0 = 0^\circ\text{C}$ haroratdagi R_0 qarshiligi topilsin?

Agar cho'g'lanma lampochka $U = 120\text{ V}$ kuchlanishli tok manbaiga ulanganda volfram tolasidan $I = 0,3\text{ A}$ tok o'tsa, qizigan volfram tolasining qarshiligi R_2 va harorati t_2 topilsin?. Volfram uchun qarshilikning harorat koeffitsiyenti $\alpha = 4,6 \cdot 10^{-3}\text{ grad}^{-1}$.

Berilgan:

$$t_1 = 20^\circ\text{C}; R_1 = 40\text{ Om}; U = 120\text{ V}; I = 0,3\text{ A}; \alpha = 4,6 \cdot 10^{-3}\text{ grad}^{-1}.$$

Topish kerak: $R_0 = ?$, $R_2 = ?$, $t_2 = ?$

Yechish:

Haroratning katta bo'lmagan intervallarida o'tkazgichning R qarshiligi t haroratga chiziqli bog'liq bo'lib, $R = R_0(1 + \alpha t)$ (1), tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda R_0 — o'tkazgichning $t_0 = 0^\circ\text{C}$ haroratdagi qarshiligi, α — qarshilikning harorat koeffitsiyenti.

U holda $t_1 = 20^\circ\text{C}$ haroratdagi volfram tolaning qarshiligi

$R_1 = R_0(1 + \alpha t_1)$ (2) bo'lib, bu (2) tenglamadan R_0 kattalikni topamiz:

$$R_0 = \frac{R_1}{1 + \alpha t_1} = \frac{40}{1 + 4,6 \cdot 10^{-3} \cdot 20} = \frac{40}{1,092} = 36,63\text{ Om}.$$

Elektr zanjirining bir qismi uchun G.Om qonuniga asosan yonib turgan cho'g'lanma lampochkaning volfram tolasining qarshiligi quyidagiga teng bo'ladi:

$$R_2 = \frac{U}{I} = \frac{120}{0,3} = 400\text{ Om}.$$

Qizigan volfram tolaning qarshili $R_2 = R_0(1 + \alpha t_2)$ bo'lib, undan tolaning haroratini aniqlasak:

$$t_2 = \frac{R_2 - R_0}{\alpha R_0} = \frac{400 - 36,63}{4,6 \cdot 10^{-3} \cdot 36,63} = 2157^\circ\text{C}.$$

Javob: $R_0 = 36,63\text{ Om}$; $R_2 = 400\text{ Om}$; $t_2 = 2157^\circ\text{C}$.

Masala

Bir jinsli $l = 100\text{ m}$ uzunlikdagi temir o'tkazgich $U = 100\text{ V}$ kuchlanishli o'zgarmas tok manbaiga $t = 10\text{ s}$ vaqt davomida ulandi. O'tkazgich haroratining o'zgarishi topilsin?

Berilgan:

$$l = 100 \text{ m}; U = 100 \text{ V}; t = 10 \text{ s}; c = 0,46 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}};$$

$$\rho = 1,2 \cdot 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}; \rho_z = 7,8 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}.$$

Topish kerak: $\Delta T = ?$

Yechish

Temir o'tkazgichning haroratini ΔT miqdorga oshirish uchun talab etiladigan issiqlik miqdori $Q = mc\Delta T$ (1) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda c – temir o'tkazgichning solishtirma issiqlik sig'imi, m – massasi.

Agarda o'tkazgich massasining $m = \rho_z \cdot V = \rho_z \cdot S \cdot l$ (2) ifodasini e'tiborga olsak, u holda Joule-Lens qonuniga muvofiq: $Q = I^2 R t = \frac{U^2 t}{R}$

(3) bo'lib, elektr qarshilikning $R = \rho \frac{l}{S}$ (4) ifodasini (3) tenglamaga qo'yib quyidagi tenglikni hosil qilamiz: $Q = \frac{U^2 t}{\rho \frac{l}{S}} = \frac{U^2 t S}{\rho l}$ (5) bu yerda

S – o'tkazgichning ko'ndalang kesimi yuzasi, ρ – o'tkazgich tayyorlangan materialning solishtirma elektr qarshiligi, ρ_z – temir o'tkazgich materialining zichligi.

(1) va (5) tenglamalarning o'ng va chap tomonlarini o'zaro tenglashtirib, ΔT – harorat o'zgarishining quyidagi ifodalarini hosil qilamiz:

$$cm\Delta T = \frac{U^2 t S}{\rho \cdot l} \quad (6) \text{ yoki } \Delta T = \frac{U^2 t S}{c \rho \rho_z l^2} = \frac{U^2 t}{c \rho \rho_z l^2} \quad (7).$$

Endi masalaning shartida berilgan kattaliklarning son qiymatlarini (7) tenglamaga qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, o'tkazgichning ΔT -harorati o'zgarishini topamiz:

$$\Delta T = \frac{U^2 t}{c \rho \rho_z l^2} = \frac{100^2 \cdot 10}{0,46 \cdot 10^3 \cdot 1,2 \cdot 10^{-7} \cdot 7,8 \cdot 10^3 \cdot 100^2} \approx 23,3 \text{ K}.$$

Javob: $\Delta T \approx 23,3 \text{ K}$.

Masala

Ichki qarshiligi $r = 4 \Omega$ va elektr yurituvchi kuchi $\mathcal{E} = 12 \text{ V}$ tok manbai tashqi $R = 8 \Omega$ qarshilikka ulangan. Elektr zanjirning tashqi qarshiligidan $t = 2 \text{ s}$ vaqtda ajralib chiqqan issiqlik miqdori topilsin?

Berilgan:

$$r = 4 \Omega; \mathcal{E} = 12 \text{ V}; R = 8 \Omega; t = 2 \text{ s}.$$

Topish kerak: $Q = ?$

Yechish:

Joul-Lens qonuniga muvofiq R - qarshilikli tashqi elektr zanjiridan ajralib chiqqan issiqlik miqdori quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:
 $Q = I^2 R t$ (1).

Berk elektr zanjiri uchun G.Om qonuniga muvofiq zanjirdan oqib o'tayotgan tok kuchi: $I = \frac{\varepsilon}{R+r}$ (2) bo'lib, tok kuchining (2) ifodasini (1) tenglamaga qo'yib, quyidagi tenglikni hosil qilamiz: $Q = \left(\frac{\varepsilon}{R+r}\right)^2 R t$ (3).

Tenglamadagi kattaliklarning masalani shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, tashqi qarshilikda ajralib chiqqan issiqlik miqdorini topamiz:

$$Q = \left(\frac{\varepsilon}{R+r}\right)^2 R t = \left(\frac{12}{8+4}\right)^2 \cdot 8 \cdot 2 = 16 \text{ J}.$$

Javob: $Q = 16 \text{ J}$.

Masala

Agar mis o'tkazgich orqali $j = 4 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$ zichligidagi tok oqib o'tayotgan bo'lsa, $t = 50 \text{ s}$ vaqt davomida mis o'tkazgichning harorati qanchaga o'zgaradi?

Berilgan:

$$j = 4 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2} = 4 \cdot 10^6 \frac{\text{A}}{\text{m}^2}; t = 50 \text{ s}; c = 380 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}; \rho_z = 8,9 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}.$$

Topish kerak: $\Delta T = ?$

Yechish.

O'tkazgichdan elektr toki oqib o'tishi natijasida ajralib chiqqan issiqlik miqdori Joul-Lens qonuniga muvofiq $Q = I^2 R t$ (1) tenglama bilan ifodalanadi. Tok kuchining tok zichligi orqali $I = j \cdot S$ (2) ifodasini (1) tenglamaga qo'yib, issiqlik miqdorining ifodasini hosil qilamiz:

$$Q = I^2 R t = (j \cdot S)^2 \cdot R t \text{ (3).}$$

Tenglamada mis o'tkazgichning R qarshiligi masalaning shartida aniq berilmaganligi sababli qarshilikni mis o'tkazgichning solishtirma qarshiligi orqali $R = \rho \frac{l}{S}$ (4) ifodasini e'tiborga olib (3) tenglamani quyidagi shaklda yozamiz:

$$Q = I^2 R t = (jS)^2 \cdot R t = j^2 S^2 \cdot \rho \frac{l}{S} t = j^2 S \cdot \rho l t \text{ (5).}$$

Masalaning shartida mis o'tkazgichning geometrik o'lchamlari berilmaganligi sababli ajralib chiqqan issiqlik miqdorini misning solishtirma issiqlik sig'imi orqali ifodalaymiz: $Q = mc\Delta T = \rho_z V c \Delta T$ (5). U holda (4) va (5) tenglamalarni chap va o'ng tomonlarini o'zaro tenglashtirib quyidagi ifodani hosil qilamiz: $j^2 S \cdot \rho l t = \rho_z V c \Delta T$ (6). Bu yerda ρ_z – mis o'tkazgichning zichligi, ρ – solishtirma qarshiligi, l – uzunligi va S – ko'ndalang kesimi yuzasi. (6) tenglamadan mis o'tkazgichning ΔT harorati o'zgarishini topsak: $\Delta T = \frac{j^2 \cdot \rho \cdot t}{\rho_z \cdot c}$ (7).

Tenglamadagi kattaliklarning masala shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, mis o'tkazgichning haroratini o'zgarishini topamiz:

$$\Delta T = \frac{j^2 \cdot \rho \cdot t}{\rho_z \cdot c} = \frac{(4^2 \cdot 10^{12} \cdot 1,7 \cdot 10^{-8} \cdot 50)}{8,9 \cdot 10^3 \cdot 380} \approx 4 \text{ K}.$$

Javob: $\Delta T \approx 4 \text{ K}$.

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Elektr qarshiligi $R = 100 \text{ Om}$ bo'lgan o'tkazgichdagi tok kuchi $t = 30 \text{ s}$ vaqt davomida $I_0 = 0$ dan $I_{\max} = 10 \text{ A}$ gacha bir tekisda o'sadi. Shu vaqt davomida o'tkazgichda ajralgan Q issiqlik miqdori aniqlansin?

2. Qarshiligi $R = 12 \text{ Om}$ bo'lgan o'tkazgichdagi tok kuchi $t = 12 \text{ s}$ vaqt davomida $I_0 = 5 \text{ A}$ dan $I = 0$ gacha bir tekisda kamayadi. Ko'rsatilgan vaqt davomida shu o'tkazgichda qancha Q issiqlik miqdori ajraladi?

3. Diametri $d = 0,1 \text{ mm}$ bo'lgan mis simning $l = 2 \text{ m}$ uzunlikli bo'lagining qarshiligi $R = 4,46 \text{ Om}$ bo'lsa, misning ρ solishtirma qarshiligini toping?

4. Massasi $m = 1 \text{ kg}$, ko'ndalang kesim yuzi $S = 0,1 \text{ mm}^2$ bo'lgan mis simning R elektr qarshiligini toping?

Misning o'tkazgichning zichligi $D = 8900 \text{ kg/m}^3$, solishtirma elektr qarshiligi esa $\rho = 1,75 \cdot 10^{-8} \text{ Om} \cdot \text{m}$.

5. Platina simning $t_1 = 20^\circ\text{C}$ haroratdagi qarshiligi $R_1 = 20 \text{ Om}$, $t_2 = 500^\circ\text{C}$ haroratdagi qarshiligi esa $R_2 = 59 \text{ Om}$ bo'lsa, platina moddasini elektr qarshiligining α harorat koeffitsiyenti topilsin?

6. Elektr qarshiligi $R = 100 \text{ Om}$ bo'lgan o'tkazgich oqib o'tayotgan tok kuchi $t = 45 \text{ s}$ vaqt davomida $I_0 = 0$ dan $I_{\max} = 8 \text{ A}$

gacha bir tekisda oshib borishi natijasida o'tkazgichdan ajralib chiqqan issiqlik miqdori $Q = 250\text{ J}$ bo'lsa, o'tkazgich materialining elektr qarshiligi aniqlansin?

7. Agarda o'tkazgich materialining $t_1 = 20^\circ\text{C}$ haroratdagi elektr qarshiligi $R_1 = 15\text{ Ohm}$, $t_2 = 100^\circ\text{C}$ haroratdagi elektr qarshiligi $R_2 = 60\text{ Ohm}$ bo'lsa, o'tkazgich materialining turi aniqlansin?

8. Elektr yoritish tizimida ishlatiladigan cho'g'lanma elektr yoritish chirog'i volfram tolasining ko'ndalang kesimi diametri $d = 0,02\text{ mm}$, undan oqib o'tayotgan tok kuchi $I = 0,25\text{ A}$ bo'lsa, volfram tolasidan oqib o'tayotgan tok zichligi aniqlansin?

9. Metall o'tkazgichda erkin elektronlarning konsentratsiyasi $n = 3 \cdot 10^{28}\text{ m}^{-3}$, undan oqib o'tayotgan tok kuchi $I = 1,25\text{ A}$, o'tkazgichning ko'ndalang kesimi yuzasi $S = 2 \cdot 10^{-4}\text{ m}^2$ bo'lsa, metall o'tkazgich hajmidagi erkin elektronlarning tezligi topilsin?

10. Metall o'tkazgichda erkin elektronlarning konsentratsiyasi $n = 2 \cdot 10^{28}\text{ m}^{-3}$, o'tkazgich hajmidagi harakatchanligi $\mu = 3 \frac{\text{m}^2}{\text{V}\cdot\text{s}}$ bo'lsa, metall o'tkazgichning me'yoriy sharoitda solishtirma elektr o'tkazuvchanligi aniqlansin?

Mavzuga oid nazorat savollari

1. O'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanlik mexanizmini tushuntiring?

2. Harorat ta'sirida o'tkazgichlarning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi qanday o'zgaradi?

3. Elektr o'tkazgich materiallari asosan qaysi sohalarida va nima maqsadda qo'llaniladi?

4. Elektr o'tkazgichlarni korroziyadan himoyalash uchun amalda qanday uslublardan foydalaniladi?

5. Nometall o'tkazgichlar deganda qanday moddalar tushuniladi?

6. Elektr o'tkazgich materiallarini o'tkazuvchanlik xususiyatini tavsiflash uchun qanday fizik kattaliklar ishlatiladi?

7. Elektr o'tkazgich moddalarining solishtirma elektr o'tkazuvchanligi harorat ortib borishi bilan qanday o'zgarishining fizik mexanizmini tushuntiring?

8. Moddaning zichligi ortib borishi bilan uning elektr o'tkazuvchanlik xususiyati qanday o'zgaradi?

9. Elektr o'tkazgich moddalarini qarshiligining harorat koeffitsiyentining fizik ma'nosini tushuntiring?

10. Moddalarning elektr qarshilik harorat koeffitsiyentining moddaning agregat holatiga bog'liqligini tushuntiring?

3.2. Elektr o'tkazgich materiallarining parametrlarini aniqlash

➤ O'tkazgich materiallari orqali oqib o'tayotgan tok kuchi $I = \frac{q}{t}$ (3.1) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda q – kattalik o'tkazgichning ko'ndalang kesimi yuzasini birlik vaqtda kesib o'tgan zaryad miqdori.

➤ O'tkazgichdagi tok zichligi: $j = \frac{I}{S}$ (3.2).

➤ O'tkazgich materialining elektr qarshiligi: $R = \rho \frac{l}{S}$ (3.3) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda ρ – kattalik o'tkazgich moddasining solishtirma elektr qarshiligi deb ataladi.

➤ O'tkazgich materiallarining solishtirma elektr qarshiligi $\rho = e \cdot n \cdot \mu_n$ (3.5) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda n – erkin elektronlarning konsentratsiyasi, μ_n – o'rganilayotgan materialdagi elektronlarning harakatchanligi.

➤ O'tkazgichlarning ρ – solishtirma elektr qarshiligining haroratga bog'liqligi: $\rho_t = \rho_0(1 + \alpha \cdot t)$ (3.4), bu yerda α_t – kattalik qarshilikning harorat koeffitsiyenti.

➤ Elektr zanjirining bir qismi uchun G.Om qonuni: $I = \frac{U}{R}$ (3.5).

➤ Berk zanjir uchun G.Om qonuni: $I = \frac{E}{R+r}$ (3.6).

Masalalarni yechish namunalari

Masala

Silindr shaklidagi mis o'tkazgichning uzunligi $l = 2$ m, ko'ndalang kesim yuzasi diametri $d = 0,1$ mm, elektr qarshiligi $R = 4,46$ Om bo'lsa, o'tkazgichning solishtirma elektr qarshiligi topilsin?

Berilgan:

$$R = 4,46 \text{ Om}; d = 0,1 \text{ mm} = 10^{-4}; l = 2 \text{ m}.$$

Topish kerak: $\rho = ?$

Yechish:

O'tkazgichlarning elektr qarshiligini umumiy holda ifodalovchi $R = \frac{\rho l}{S}$ (1) tenglamaga silindrik shakldagi o'tkazgichning kesimi yuzasini

$S = \pi r^2 = \frac{\pi d^2}{4}$ (2) ifodasini qo'yib, ρ - o'tkazgichning solishtirma qarshiligini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$\rho = \frac{R \cdot S}{l} = R \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4 \cdot l} = \frac{4,46 \cdot 3,14 \cdot (10^{-4})^2}{4 \cdot 2} \approx 1,75 \cdot 10^{-8} \text{ Om} \cdot \text{m}.$$

Javob: $\rho = 1,75 \cdot 10^{-8} \text{ Omm}$.

Masala

Cho'g'lanma elektr yoritish chirog'i volfram tolasining $t_1 = 20^\circ\text{C}$ haroratda qarshiligi $R_1 = 40 \text{ Om}$ bo'lsa, $t_2 = 0^\circ\text{C}$ haroratladi qarshiligi R_0 topilsin?

Elektr yoritish chirog'i $U = 220 \text{ V}$ kuchlanish manbaiga ulanganda volfram tolasida tok kuchi $I = 0,6 \text{ A}$ bo'lsa, qizigan volfram tolasining R_2 - qarshiligi va t_2 - harorati topilsin?

Berilgan:

$t_1 = 20^\circ\text{C}$; $R_1 = 40 \text{ Om}$; $t_2 = 0^\circ\text{C}$; $U = 220 \text{ V}$; $I = 0,6 \text{ A}$; $\alpha = 4,6 \cdot 10^{-3} \text{ grad}^{-1}$.

Topish kerak: $t = ?$, $R_2 = ?$, $R_0 = ?$

Yechish:

O'tkazgichlarning qarshiligi haroratga bog'liqligini ifodalovchi $R = R_0(1 + \alpha t)$ (1) tenglamasida α - koeffitsiyent o'tkazgichning harorat koeffitsiyenti deb yuritiladi va masalaning shartida ko'rsatilgan $t = 0 \div 20^\circ\text{C}$ harorat oralig'ida amalda $R = R(t)$ funksional boglanish chiziqli bo'ladi. U holda (1) tenglamaga asosan:

$$R_0 = \frac{R}{1 + \alpha t} = \frac{40}{1 + 4,6 \cdot 10^{-3} \cdot 20} \approx \frac{40}{1,092} \approx 36,6 \text{ Om}.$$

Elektr zanjirining bir qismi uchun G.Om qonuniga asosan volfram toladan oqib o'tayotgan tok kuchi $I = \frac{U}{R}$ (2) tenglama bilan ifodalanadi. Ushbu (2) tenglamadan R -qarshilikni quyidagicha aniqlashimiz mumkin: $R = \frac{U}{I} = \frac{220}{0,6} = 367 \text{ Om}$. Qizigan volfram tolasining elektr qarshiligi (1) tenglamaga asosan $R = R_0(1 + \alpha t)$ (3) bo'lib, bu yerdan volfram tolaning haroratini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$t = \frac{R - R_0}{\alpha R_0} \approx \frac{367 - 36,6}{4,6 \cdot 10^{-3} \cdot 36,6} \approx \frac{330,4}{0,17} \approx 1943,5^\circ\text{C}$$

Javob: $R_0 = 36,6 \text{ Om}$, $R = 367 \text{ Om}$, $t = 1943,5^\circ\text{C}$.

Masala

Chug'lanma elektr yoritish chirog'i volfram tolasining $t_0=20^\circ\text{C}$ haroratdagi qarshilik $R_0=35\text{ Om}$. Yoritish chirog'i elektr tarmoqqa ulangan vaqt momentida tarmoq kuchlanishi $U=220\text{ V}$, zanjirda tok kuchi $I=0,6\text{ A}$ bo'lsa, volfram tolasining harorati topilsin? Volfram materialining $t_0=20^\circ\text{C}$ haroratda solishtirma qarshilikning harorat koeffitsiyenti $\alpha=5\cdot 10^{-3}\text{ K}^{-1}$ deb hisoblansin.

Berilgan:

$$t_0=20^\circ\text{C}; R_0=35\text{ Om}; U=220\text{ V}; I=0,6\text{ A}; \alpha=5\cdot 10^{-3}\text{ K}^{-1}$$

Topish kerak: $T_2=?$

Yechish:

O'tkazgichlarning qarshiligi haroratga bog'liqligini ifodalovchi $R=R_0(1+\alpha t)$ (1) tenglamasida R_0 va R qarshiliklar mos ravishda o'tkazgichning t_0 hamda t haroratdagi qarshiliklari. Ushbu holatda yoritish chirog'ining ish rejimida volfram tolasining qarshiligini $R=U/I$ (2) tenglamadan quyidagicha aniqlaymiz:

$$R=\frac{U}{I}=\frac{220}{0,6}=366,7\text{ Om}.$$

U holda, (1) tenglamaga asosan volfram tolasini ish rejimida harorati:

$$T=\frac{R-R_0}{R_0\cdot\alpha}+T_0=\frac{366,7-35}{35\cdot 5\cdot 10^{-3}}+293=2188\text{ K}.$$

O'tkazgich materiallarini elektr qarshiligining haroratga bog'liqligini ifodalovchi $R=R_0(1+\alpha t)$ (1) tenglamasida R_0 va R qarshiliklar mos ravishda o'tkazgichning t_0 hamda t haroratdagi qarshiliklari. Ushbu holatda yoritish chirog'ining ish rejimida volfram tolasining elektr qarshiligi $R=\frac{U}{I}$ (2) tenglama bilan ifodalanadi.

Tenglamadan R – qarshilikni topsak: $R=\frac{U}{I}=\frac{220}{0,6}\approx 366,7\text{ Om}$.

U holda (1) tenglamaga asosan volfram tolasini ish rejimida harorati:

$$T=\frac{R-R_0}{R_0\cdot\alpha}+T_0=\frac{366,7-35}{35\cdot 5\cdot 10^{-3}}+293=2188\text{ K}.$$

Javob: $T=2188\text{ K}$

Masala

Ko'ndalang kesim yuzasi $S=200 \text{ mm}^2$ bo'lgan alyuminiy simdan tortilgan o'zgaras elektr toki uzatish liniyasining uzunligi $l=100 \text{ km}$, liniyada tok kuchi $I=150 \text{ A}$ bo'lsa, kuchlanish tushuvi topilsin?

Berilgan:

$$S=200 \text{ mm}^2=2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2; l_1=100 \text{ km}=10^5 \text{ m}; I=150 \text{ A}; \\ \rho=2,8 \cdot 10^{-8} \text{ Om} \cdot \text{m}.$$

Topish kerak: $\Delta u=?$

Yechish:

Liniyada kuchlanish tushuvi G.Om qonuniga asosan $\Delta u=I \cdot R$ (1) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda R — qarshilik, l — uzunlikdagi liniya o'tkazgich simning qarshiligi bo'lib, $R=\rho_s \frac{l}{S}$ (2) tenglamadan aniqlanadi.

Yuqorida keltirilgan (1) tenglamada l —kattalik liniyaning umumiy uzunligi bo'lib, masalaning shartiga ko'ra $l=2l_1$ (3) ekanligini hisobga olib (1) va (2) tenglamalardan kuchlanish tushuvini aniqlaymiz:

$$\Delta u=I \cdot \rho \cdot \frac{2l_1}{S}=150 \cdot \frac{2 \cdot 10^5}{2 \cdot 10^{-4}} \cdot 2,8 \cdot 10^{-8}=4200 \text{ V}.$$

Javob: 4200 V.

Masala

Silindr shaklidagi mis o'tkazgichdan o'tayotgan tok zichligi $j=3 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$ bo'lsa, o'tkazgichdagi elektr maydon kuchlanganligi topilsin?

Berilgan:

$$j=3 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}=3 \cdot 10^6 \frac{\text{A}}{\text{m}^2}; \rho=1,7 \cdot 10^{-8} \text{ om} \cdot \text{m}$$

Topish kerak: $E=?$

Yechish:

Zanjirning bir qismi uchun G.Om qonunining differensial shakliga muvofiq tok zichligi $j=\delta \cdot E=\frac{1}{\rho} \cdot E$ (1) tenglama bilan ifodalanadi.

Yuqorida keltirilgan (1) tenglamadan o'tkazgichdagi E —elektr maydon kuchlanganligini topsak:

$$E=j \cdot \rho=3 \cdot 10^6 \cdot 1,7 \cdot 10^{-8} \approx 5,1 \cdot 10^{-2} \frac{\text{V}}{\text{m}}.$$

Javob: $E=5,1 \cdot 10^{-2} \frac{\text{V}}{\text{m}}.$

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Uzunligi $l=2m$, ko'ndalang kesim yuzasi diametri $d=0,5 mm$ bo'lgan mis o'tkazgichdan birlik vaqtda ajralib chiqqan issiqlik miqdori $Q=0,2 j$ bo'lsa, o'tkazgich kesim yuzasidan birlik vaqtda o'tgan elektronlar soni topilsin?

2. Alyuminiy o'tkazgichning har bir atomiga 2 tadan erkin elektron to'g'ri keladi deb hisoblab, kesim yuzasi $s=1 mm^2$, tok kuchi $I=5 A$ bo'lganda elektronlarning o'rtacha harakat tezligi topilsin?

3. Silindr shaklidagi hajmi $V = 10 sm^3$ bo'lgan mis o'tkazgichdan $t=2 min$ vaqt davomida ajralib chiqqan issiqlik miqdori $Q=220 j$ bo'lsa, o'tkazgichda E —elektr maydon kuchlanganligi topilsin?

4. O'tkazgichning harorati $t=860^{\circ}C$ bo'lganda, qarshiligi $R=50 om$ bo'ladigan elektr qizdirgich tayyorlash uchun diametri $d=0,6 mm$, solishtirma qarshiligi $\rho_0=0,6 \cdot 10^{-6} Om \cdot m$, qarshilikning harorat koeffitsiyenti $\alpha=2 \cdot 10^{-4} grad^{-1}$ bo'lgan o'tkazgichning uzunligi topilsin?

5. O'tkazgichning $t_1=20^{\circ}C$ haroratdagi qarshiligi $R_1=20 Om$, $t_2=600^{\circ}C$ haroratdagi qarshiligi $R_2=54 Om$ bo'lsa, qarshiligini harorat koeffitsiyenti topilsin?

6. Metall o'tkazgichda erkin elektronlarning konsentratsiyasi $n = 5 \cdot 10^{22} m^{-3}$, tok o'tayotgandagi dreyf tezligi $v_d = 0,05 m/s$ bo'lsa, tok zichligi aniqlansin?

7. Agar metall o'tkazgichning $t_1=0^{\circ}C$ haroratdagi elektr qarshiligi $R_1=12 Om$, t_2 — haroratgacha qizdirilgandan keyingi elektr qarshiligi $R_2=25 Om$, o'tkazgich tayyorlangan moddaning elektr qarshiligi harorati koeffitsiyenti $\alpha=3 \cdot 10^{-4} grad^{-1}$ bo'lsa, o'tkazgichning qizdirishdan keyingi t_2 — harorati aniqlansin?

8. Metall o'tkazgichning me'yoriy sharoitda ($P = 10^5 Pa$, $T = 293 K$) solishtirma elektr qarshiligi $\rho = 2 \cdot 10^{-7} Om \cdot sm$, erkin elektronlarning konsentratsiyasi $n = 3 \cdot 10^{28} m^{-3}$ bo'lsa, zaryad tashuvchi erkin elektronlarning harakatchanligi topilsin?

9. Mis o'tkazgich simning $t_1=20^{\circ}C$ haroratdagi va $t_2=250^{\circ}C$ haroratdagi elektr qarshiliklarining nisbati aniqlansin?

10. Metall o'tkazgich kabelning $t_1=15^{\circ}C$ haroratdagi elektr qarshiligi $R_1=25 Om$, $t_2=550^{\circ}C$ haroratdagi elektr qarshiligi $R_2=58 Om$ bo'lsa, kabel tayyorlangan o'tkazgich materiali elektr qarshiliginngi harorat koeffitsiyenti topilsin?

Mavzuga oid nazorat savollari

1. O'tkazgich materiallarining elektrofizik xususiyatlari asosan qanday fizik kattaliklar bilan tavsiflanadi?
2. O'tkazgich moddalarining solishtirma elektr qarshiligi ta'rifini ayting?
3. Zaryad tashuvchi zarrachalar harakatchanligining fizik mohiyatini tushuntiring?
4. O'tkazgichlarning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi qanday kattaliklarga bog'liqligining fizik asoslarini tushuntiring?
5. Harorat ortishi bilan o'tkazgichlarning solishtirma elektr qarshiligi ortishining fizik mexanizmini tushuntiring?
6. O'tkazgich materiallarida zaryad tashuvchi zarrachalari harakatchanligining fizik mohiyatini tushuntiring?
7. Metall o'tkazgichlarda zaryad tashuvchilarning harakatchanligi asosan qaysi kattaliklarga bog'liq?
8. Zaryad tashuvchi zarrachalar harakatchanligining o'zgarishi hisobiga sodir etiladigan fizik hodisalar qanday ataladi?
9. Metall o'tkazgichlarning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi harorat o'zgarishi bilan qanday o'zgarishining fizik mexanizmini tushuntiring?
10. Metall o'tkazgichlarda elektr toki o'tishi natijasida qizishining fizik mexanizmini qanday tasavvur qildingiz?

3.3. Turli metallar va qotishmalarning asosiy elektrofizik xususiyatlari

➤ O'tkazgich materiallarining elektr qarshiligi me'yoriy sharoitda moddaning turiga va geometrik o'lchamlariga bog'liq bo'lib $R = \rho \cdot \frac{l}{S}$ (3.1) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda ρ – materialning solishtirma elektr qarshiligi, me'yoriy sharoitda faqat moddaning turiga bog'liq bo'lgan fizik kattalik, l – silindr shaklidagi o'tkazgichning uzunligi, S – ko'ndalang kesimi yuzasi.

➤ O'tkazgich materiallari qizdirilganda solishtirma elektr qarshiligi tashqi ta'sirlarga, xususan haroratga bog'liq holatda o'zgarishi $\rho = \rho_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t)$ (3.2) yoki $\rho_t = \rho_0 \frac{T}{T_0}$ (3.3) tenglamalar bilan ifodalanadi, bu yerda α -koeffitsiyent o'tkazgich solishtirma

qarshiligining termik koeffitsiyenti deyiladi. ρ_0 -o'tkazgich materialining $t = 0^\circ\text{C}$ haroratdagi solishtirma elektr qarshiligi.

Masalalarni yechish namunalari

Masala

Shunt qarshilikni tayyorlashda ishlatilgan lentasimon nikel o'tkazgichning eni $a = 2\text{mm}$, qalinligi $d = 1\text{mm}$ bo'lsa, shuntning elektr qarshiligi $R = 0,4\text{Om}$ bo'lishi uchun o'tkazgichning uzunligi qanday bo'lishi kerak?

Nikel materialining solishtirma elektr qarshiligi

$$\rho = 6,8 \cdot 10^{-8} \text{Om} \cdot \text{m}.$$

Berilgan:

$$a = 2\text{mm} = 2 \cdot 10^{-3} \text{m}; \quad d = 1\text{mm} = 10^{-3} \text{m};$$

$$R = 0,4\text{Om}; \quad \rho = 6,8 \cdot 10^{-8} \text{Om} \cdot \text{m}.$$

Topish kerak: $l = ?$

Yechish:

O'tkazgich materiallarining elektr qarshiligi umumiy holatda solishtirma elektr qarshilik va materialning geometrik o'lsamlariga bog'liq bo'lib, $R = \rho \cdot \frac{l}{S}$ (1) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda S -kattalik o'tkazgich materialining ko'ndalang kesimi yuzasi, masalaning shartida bayon etilishiga ko'ra ushbu holatda $S = a \cdot d$ (2) shaklida ifodalanadi.

Endi (2) ifodani (1) tenglamaga qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, nikel o'tkazgichning uzunligini quyidagicha aniqlaymiz:

$$l = \frac{R \cdot S}{\rho} = \frac{R \cdot a \cdot d}{\rho} = \frac{0,4 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-3}}{6,8 \cdot 10^{-8}} \approx 11,8 \text{m}.$$

Javob: $l \approx 11,8 \text{m}$.

Masala

Elektr zanjiriga mis va nixrom materiallaridan tayyorlangan uzunliklari va kesimi yuzalari bir xil bo'lgan o'tkazgichlar ketma-ket ulangan. Elektr zanjiri o'zgarmas tok manbasiga ulanishi natijasida o'tkazgichlardan ajralib chiqadigan issiqlik miqdori va kuchlanish tushuvlarining nisbati aniqlansin?

Mis va nixrom materiallarining solishtirma elektr qarshiliklari mos ravishda $\rho_1 = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Om} \cdot \text{m}$, $\rho_2 = 100 \cdot 10^{-8} \text{ Om} \cdot \text{m}$.

Berilgan:

$$\rho_1 = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Om} \cdot \text{m}, \rho_2 = 100 \cdot 10^{-8} \text{ Om} \cdot \text{m}.$$

Topish kerak: $\frac{Q_1}{Q_2} = ?$, $\frac{U_1}{U_2} = ?$.

Yechish:

Elektr o'tkazgichlar tarmoqqa ulanganda o'tkazgich orqali elektr toki o'tishi natijasida o'tkazgichlar qiziydi va Joule issiqligi ajralib chiqadi. Ushbu jarayon Joule-Lenz qonuniga muvofiq $Q = I^2 R t$ (1) tenglama bilan ifodalanadi. Agarda tenglamadagi o'tkazgich qarshiligining $R = \rho \cdot \frac{l}{S}$ (2) ifodasini (1) tenglamaga qo'yib, masalaning shartiga ko'ra mis va nixrom o'tkazgichlar uchun tenglamalarni alohida yozib va soddalashtirib, quyidagi tengliklarni hosil qilamiz:

$$Q_1 = I^2 R_1 t = I^2 \rho_1 \frac{l}{S} \quad (3) \text{ va } Q_2 = I^2 R_2 t = I^2 \rho_2 \frac{l}{S} \quad (4).$$

Masalaning shartiga ko'ra (3) va (4) tenglamalarni hadma-had bo'lib, o'tkazgichlardan ajralib chiqqan issiqlik miqdorlarining nisbatini quyidagicha aniqlaymiz:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{I^2 \rho_1 \frac{l}{S}}{I^2 \rho_2 \frac{l}{S}} = \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{1,7 \cdot 10^{-8}}{100 \cdot 10^{-8}} = 0,017.$$

Elektr zanjirning bir qismi uchun G.Om qonuniga asosan o'tkazgichda kuchlanish tushuvining $U = \frac{U}{R}$ (5) tenglamasidan

$$U = I \cdot R = I \cdot \rho \cdot \frac{l}{S} \quad (6) \text{ tenglikni hosil qilishimiz mumkin.}$$

U holda masalaning shartiga ko'ra har ikki o'tkazgichlarda sodir etiladigan kuchlanish tushuvlari $U_1 = I \cdot \rho_1 \cdot \frac{l}{S}$ (7) va $U_2 = I \cdot \rho_2 \cdot \frac{l}{S}$ (8) tenglamalar bilan ifodalanadi. Ushbu (7) va (8) tenglamalarni hadma-had bo'lib, o'tkazgichlardagi kuchlanish tushuvlarining nisbatini aniqlaymiz:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I \cdot \rho_1 \cdot \frac{l}{S}}{I \cdot \rho_2 \cdot \frac{l}{S}} = \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{1,7 \cdot 10^{-8}}{100 \cdot 10^{-8}} = 0,017.$$

Javob: $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{U_1}{U_2} = 0,017.$

Masala

Elektr tarmoqqa ulanadigan o'tkazgichga shunday talab qo'yilganki, deformatsiyalovchi $F = 50 \text{ N}$ kuch ta'siriga bardoshli bo'lsin, ya'ni plastik cho'zilmasin va uzunlik birligining qarshiligi $R = 0,02 \text{ Om}$ dan oshmasin.

Tanlangan bir kilogramm alyuminiy materialining tannarxi mis materialining tannarxiga nisbatan 1,5 barobar arzon bo'lsa, boshlang'ich iqtisodiy xarajatlari ham hisoblansin?. Mis va alyuminiy materiallarining mexanik mustahkamlik chegarasi $\sigma_{Cu} = 70 \text{ MPa}$ va $\sigma_{Al} = 35 \text{ MPa}$ deb hisoblansin.

Berilgan:

$$\sigma_{Cu} = 70 \text{ MPa} = 7 \cdot 10^7 \text{ Pa}; \rho_{Cu} = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Om} \cdot \text{m};$$

$$\rho_{ZCu} = 8,9 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^{-3}}; \sigma_{Al} = 35 \text{ MPa} = 3,5 \cdot 10^7 \text{ Pa};$$

$$\rho_{Al} = 2,8 \cdot 10^{-8} \text{ Om} \cdot \text{m}; \rho_{ZAl} = 2,7 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^{-3}};$$

$$F = 50 \text{ N}; \frac{\chi_{0Cu}}{\chi_{0Al}} = 1,5;$$

$$\text{Topish kerak: } d_{Cu} = ?, d_{Al} = ? \quad \frac{\chi_{Cu}}{\chi_{Al}} = ?.$$

Yechish:

Qattiq jismlarning tashqi ta'sir etuvchi kuchlar ta'sirida deformatsiyasida materialning mexanik mustahkamlik chegarasi birlik yuzaga ta'sir etuvchi kuchga miqdor jihatidan teng bo'lib, umumiy holatda $\sigma_M = \frac{F}{S}$ (1) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda σ_M – kattalik materialning mexanik mustahkamligi deb yuritiladi.

Materialning kesimi yuzasining $S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$ (2) ifodasini (1) tenglamaga qo'yib va soddalashtirib, o'tkazgich simning diametrini ifodalovchi quyidagi tenglikni hosil qilamiz: $d = \sqrt{\frac{4F}{\pi \cdot \sigma_M}}$ (3).

Masalarining shartida talab etilganidek o'tkazgich simning har bir metrining qarshiligiga nisbatan talabga javob berishi shart. Shu sababli o'tkazgichni elektr qarshiligining $R = \rho \cdot \frac{l}{S} = \rho \cdot \frac{4l}{\pi d^2}$ (4) ifodasidan o'tkazgich simning diametrini ifodalovchi ikkinchi bir tenglamasini

hosil qilamiz: $d = \sqrt{\frac{4\rho l}{\pi \cdot R}}$ (5).

Masalaning shartiga ko'ra (3) va (5) tenglamalarni alohida mis va alyuminiy o'tkazgich simlari uchun quyidagi shakllarda ifodalab, o'tkazgichlarning kesimi diametrlarini aniqlaymiz:

$$d_{Cu1} = \sqrt{\frac{4F}{\pi \cdot \sigma_{M.Cu}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 50}{3,14 \cdot 7 \cdot 10^7}} = 0,95 \cdot 10^{-3} \text{ m.}$$

$$d_{Cu2} = \sqrt{\frac{4\rho_{Cu}l}{\pi \cdot R}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,7 \cdot 10^{-8}}{3,14 \cdot 0,02}} = 1,04 \cdot 10^{-3} \text{ m.}$$

$$d_{Al1} = \sqrt{\frac{4F}{\pi \cdot \sigma_{M.Al}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 50}{3,14 \cdot 3,5 \cdot 10^7}} = 1,35 \cdot 10^{-3} \text{ m.}$$

$$d_{Al2} = \sqrt{\frac{4\rho_{Al}l}{\pi \cdot R}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,8 \cdot 10^{-8}}{3,14 \cdot 0,02}} = 1,33 \cdot 10^{-3} \text{ m.}$$

Masalaning shartiga muvofiq har ikki holatda qo'yilgan talabga javob berishini ta'minlash maqsadida o'tkazgichlarning hisoblab aniqlangan diametrlaridan samarali natija berish imkoniyatiga ega bo'lgan son qiymatlarni quyidagicha tanlaymiz: $d_{Cu} = 1,04 \cdot 10^{-3} \text{ m}$; $d_{Al} = 1,35 \cdot 10^{-3} \text{ m}$.

Ma'lumki, o'tkazgichlarning tannarxi $\chi = \chi_0 \cdot m$ (6) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda χ_0 – kattalik o'tkazgich materialining bir kilogramm massasining tannarxi. U holda modda massasining

$m = \rho_z \cdot V = \rho_z \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} l$ (7) ifodasini (6) tenglamaga qo'yib, o'tkazgichlarning bir-birlik uzunligining tannarxini quyidagi ifodasini hosil qilamiz: $\chi = \chi_0 \cdot \rho_z \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} l$ (8).

Masalaning shartiga ko'ra (8) tenglamani alohida mis va alyuminiy o'tkazgichlar uchun quyidagi shaklda ifodalaymiz:

$$\chi_{Cu} = \chi_{0Cu} \cdot \rho_{zCu} \cdot \frac{\pi \cdot d_{Cu}^2}{4} l \quad (9), \quad \chi_{Al} = \chi_{0Al} \cdot \rho_{zAl} \cdot \frac{\pi \cdot d_{Al}^2}{4} l \quad (10).$$

Ushbu (9) va (10) tenglamalarni hadma-had bo'lib, tegishli matematik amallarni bajarib, o'tkazgichlarning tannarxi nisbatlarini quyidagicha aniqlaymiz:

$$\frac{\chi_{Cu}}{\chi_{Al}} = \frac{\chi_{0Cu} \cdot \rho_{zCu} \cdot \frac{\pi \cdot d_{Cu}^2}{4} l}{\chi_{0Al} \cdot \rho_{zAl} \cdot \frac{\pi \cdot d_{Al}^2}{4} l} = \frac{\chi_{0Cu} \cdot \rho_{zCu} \cdot d_{Cu}^2}{\chi_{0Al} \cdot \rho_{zAl} \cdot d_{Al}^2} =$$

$$= 1,5 \cdot \frac{8,9 \cdot 10^3 \cdot 1,04^2 \cdot 10^{-6}}{2,7 \cdot 10^3 \cdot 1,35^2 \cdot 10^{-6}} \approx 2,93$$

Javob: Alyuminiy o'tkazgich mis o'tkazgichga nisbatan deyarli 3 marta arzon.

Masala

Elektr zanjiriga bir xil uzunlikdagi mis va temir o'tkazgichlar parallel ulandi. Temir o'tkazgichning ko'ndalang kesimi diametri 2 marta katta bo'lib, mis o'tkazgichdan $I_{Cu} = 60 \text{ mA}$ tok oqib o'tayotgan bo'lsa, temir o'tkazgich orqali o'tayotgan tok kuchi topilsin?

Berilgan:

$$\rho_{Cu} = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Om} \cdot \text{m}; \rho_{Fe} = 9,8 \cdot 10^{-8} \text{ Om} \cdot \text{m};$$

$$l_1 = l_2 = l; \frac{d_{Fe}}{d_{Cu}} = 2; I_{Cu} = 60 \text{ mA} = 6 \cdot 10^{-2} \text{ A}.$$

Topish kerak: $I_{Fe} = ?$.

Yechish:

Masalaning shartiga ko'ra o'tkazgichlar elektr zanjiriga parallel ulanganligi sababli ularda kuchlanish tushuvlari bir xil bo'lib, elektr zanjirning bir qismi uchun G.Om qonuniga asosan quyidagicha ifodalanadi: $I = \frac{U}{R}$ (1). Bu yerdan elektr qarshilikning $R = \rho \cdot \frac{l}{S} = \rho \cdot \frac{4l}{\pi d^2}$ (2) ifodasini (1) tenglamaga qo'yib, o'zaro parallel ulangan o'tkazgichlarda kuchlanish tushuvining quyidagi ifodasini hosil qilamiz:

$$U = I \cdot R = I \cdot \rho \cdot \frac{4l}{\pi d^2} \quad (3).$$

Tenglamani mis va temir o'tkazgichlar uchun alohida quyidagi shaklda ifodalaymiz: $U = I_{Cu} \cdot \rho_{Cu} \cdot \frac{4l}{\pi d_{Cu}^2}$ (4) va $U = I_{Fe} \cdot \rho_{Al} \cdot \frac{4l}{\pi d_{Fe}^2}$ (5).

Tenglamalarning o'ng tomonlari o'zaro tengligini hisobga olgan holda chap tomonlarini tenglashtirib, temir o'tkazgich orqali oqib o'tayotgan tok kuchini quyidagicha aniqlaymiz:

$$I_{Fe} = I_{Cu} \cdot \frac{\rho_{Cu}}{\rho_{Al}} \cdot \frac{d_{Fe}^2}{d_{Cu}^2} = 6 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{1,7 \cdot 10^{-8}}{9,8 \cdot 10^{-8}} \cdot 2^2 = 4,16 \cdot 10^{-2} \text{ A}.$$

Javob: $I_{Fe} = 4,16 \cdot 10^{-2} \text{ A}$.

Masala

Elektr tarmoqqa to'liq ulangan reostatda kuchlanish tushuvi topilsin?

Hisoblash ishlarini bajarishda reostat konstantan materialidan tayyorlangan, uning uzunligi $l = 10 \text{ m}$, solishtirma elektr qarshiligi $\rho = 0,5 \mu\text{K}\Omega \cdot \text{m}$, tok zichligi $j = 5 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$ deb hisoblansin.

Berilgan:

$$\rho = 0,5 \mu\text{K}\Omega \cdot \text{m} = 5 \cdot 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}; \quad l = 10 \text{ m};$$

$$j = 5 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2} = 5 \cdot 10^6 \frac{\text{A}}{\text{m}^2}.$$

Topish kerak: $U = ?$.

Yechish:

Reostat elektr tarmoqqa to'liq ulangan holatida elektr toki reostat tayyorlangan o'tkazgichning butun uzunligi bo'ylab oqib o'tadi va ushbu holatda kuchlanish tushuvi elektr zanjirning bir qismi uchun $G.\Omega\text{m}$ qonuniga asosan quyidagicha ifodalanadi: $U = I \cdot R$ (1).

Tok zichligining elektr zanjiridagi tok kuchi orqali $j = \frac{I}{S}$ (2) va o'tkazgich qarshiligining $R = \rho \cdot \frac{l}{S}$ (3) ifodalarini (1) tenglamaga qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, soddalashtiramiz va reostatda kuchlanish tushuvining quyidagi tenglamasini hosil qilamiz:

$$U = I \cdot R = j \cdot S \cdot \rho \cdot \frac{l}{S} = j \cdot \rho \cdot l \text{ (4)}.$$

Tenglamadagi kattaliklarning masala shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, reostatda kuchlanish tushuvini aniqlaymiz:

$$U = j \cdot \rho \cdot l = 5 \cdot 10^6 \cdot 5 \cdot 10^{-7} \cdot 10 = 25 \text{ V}.$$

Javob: $U = 25 \text{ V}$.

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Nixrom materialidan to'liq elektr qarshiligi $R = 0,04 \Omega\text{m}$ bo'lgan reostatni tayyorlash uchun olingan o'tkazgichning uzunligi $l = 35 \text{ m}$ bo'lsa, uning qalinligi qanday bo'lishi kerak?

Nixrom materialining solishtirma elektr qarshiligi $\rho = 1 \mu\text{K}\Omega \cdot \text{m}$.

2. Induktiv g'altakka o'ralgan mis o'tkazgichning massasi $m = 0,3 \text{ kg}$, g'altakning elektr qarshiligi $R = 10,8 \Omega\text{m}$ bo'lsa, o'ralgan mis o'tkazgichning uzunligi va kesimining diametri topilsin?

Mis materialining solishtirma elektr qarshiligi

$$\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Om} \cdot \text{m}.$$

3. Mis o'tkazgichdan oqib o'tayotgan tok zichligi $j = 10 \frac{\text{A}}{\text{m}^2}$ bo'lsa, birlik vaqtda hajm birligidan ajralib chiqqan issiqlik miqdori topilsin?

4. Elektr qizdirish qurilmasining cho'lg'ami kesimining diametri $d = 0,7 \text{ mm}$ bo'lgan nixrom o'tkazgich o'ramidan iborat bo'lib, $U = 220 \text{ V}$ tarmoq kuchlanishiga ulanganida bir sutkada $Q = 2 \text{ MJ}$ issiqlik ajralib chiqqan bo'lsa, cho'lg'amning elektr qarshiligi, nixrom o'tkazgichning uzunligi va qizdirgichning quvvati topilsin?. Nixrom materialining solishtirma qarshiligi $\rho = 1 \mu\text{KOhm} \cdot \text{m}$.

5. Temir o'tkazgich $U = 100 \text{ V}$ o'zgarmas kuchlanish manbaiga $t = 10 \text{ s}$ vaqt davomida ulandi. Agarda temir o'tkazgichning uzunligi $l = 100 \text{ m}$ bo'lsa, haroratining o'zgarishi topilsin?

Mavzuga oid nazorat savollari

1. Metall qotishmalari energetika tizimida qanday maqsadlarda ishlatiladi?

2. Ikki turdagi metall o'tkazgichlarning kontakt sohasida kontakt potentsiallari farqi qanday hosil bo'ladi?

3. Turli xil metall o'tkazgichlarga tegishli xususiyatlarning analiy ahamiyatining mohiyatini tushuntiring?

4. Turli xil metall o'tkazgichlarning kontakt sohasida sodir bo'ladigan fizik jarayonlarning asoslarini tushuntiring?

5. Harorat ortishi bilan turli xil o'tkazgichlarning kontakt sohasida potentsiallar farqi qanday o'zgaradi?

6. Elektr o'tkazgich materiallarini elektrofizik xususiyatlarini tavsiflovchi kattaliklarining fizik mohiyatini tushuntiring?

7. Metall o'tkazgichlarining solishtirma elektr o'tkazuvchanligi asosan qaysi parametrlarga bog'liq?

8. Zaryad tashuvchi zarrachalar harakatchanligining ma'nosini tushuntiring?

9. Zarrachalarning o'rtacha erkin yugurish yo'li deganda nimani tushundingiz?

10. Zaryad tashuvchi zarrachalarning o'rtacha erkin yugurish yo'li moddaning asosan qaysi parametrlariga bog'liq?

3.4. Elektr o'tkazgich materiallarida fotoeffekt hodisasini tavsiflovchi parametrlarini aniqlash

➤ *Fotoeffekt* – yorug'lik nurlanishi ta'sirida moddadan elektronlarni uzib chiqarilishi hodisasi.

➤ *Tashqi fotoeffekt* – nurlanish ta'sirida jismning sirt yuzasidan elektronlarni uzib vakuumga uchib chiqarilishi hodisasi.

➤ *Ichki fotoeffekt* – yarim o'tkazgich materiallarida nurlanish ta'sirida bog'lanishdagi elektronlarning bog'langan holatdan uzilib erkin holatga o'tishi hodisasi.

➤ Fotoeffekt hodisasining quyidagi qonuniyatlari mavjud:

- Fotoeffekt hodisasida yorug'lik ta'sirida jismning sirtidan uchib chiqayotgan fotoelektronlarning tezligi sirt yuzasiga tushayotgan yorug'likning ν -chastotasiga bog'liq bo'lib, yorug'lik intensivligiga bog'liq emas.

- Vaqt birligi ichida ajralib chiqayotgan fotoelektronlarning soni jismning sirt yuzasiga tushayotgan nurlanish intensivligiga proporsionaldir.

- Har qanday modda uchun yorug'likning chegaraviy eng kichik ν – chastotasi mavjudki (fotoeffektning "qizil chegarasi") undan kichik chastotalarda fotoeffekt hodisasi ro'y bermaydi.

- Nurlanish fotonlarining energiyasi $E = h\nu > A_{ch}$ (3.1) bo'lsa, jism sirtidan elektronlar ajralib chiqib, nurlanish energiyasining qolgan qismi elektronlarning kinetik energiyasini ortishiga sarflanadi.

- Energiyaning saqlanish qonuniga asosan ushbu jarayon:

$$h\nu = A_{ch} + \frac{mv^2}{2} \quad (3.2)$$
 tenglama bilan ifodalanadi. Bu ifodaga fotoeffekt uchun A.Eynshteyn tenglamasi deyiladi.

- Elektronlarning chiqish ishi uchun kerak bo'lgan fotonning energiyasi qiymatini tenglamadan aniqlasak: $h\nu_0 = A_{ch}$ (3.3). Ushbu ifodadan aniqlanuvchi ν_0 – chastotaga mos keluvchi λ_0 – to'lqin uzunlik fotoeffektning qizil chegarasi deb ataladi.

- Elektronlarning maksimal kinetik energiyasi

$$E_k = \frac{m \cdot v^2}{2} = eU_d = eEd \quad (3.4)$$
 tenglama bilan ifodalanadi.

Masalalarni yechish namunalari

Masala

Fotoeffektning qizil chegarasiga mos keluvchi yorug'lik to'lqin uzunligi $\lambda_q = 300 \text{ nm}$ bo'lsa, ushbu metallda fotoeffektni hosil qiluvchi fotonlarning minimal kinetik energiyasi topilsin?

Berilgan.

$$\lambda_q = 300 \text{ nm} = 3 \cdot 10^{-7} \text{ m}; \quad h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s};$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}.$$

Topish kerak: $E_m = ?$

Yechish:

Fotoeffekt uchun A.Eynshteyn tenglamasiga asosan

$h \cdot \nu = A_{ch} + \frac{mv^2}{2}$ (1) bu yerda $h \cdot \nu$ - yorug'lik fotonining energiyasi, A_{ch} - chiqish ishi, $\frac{mv^2}{2}$ - fotoelektronlarning kinetik energiyasi.

Fotoeffektning qizil chegarasi holatida fotonlarning $h \cdot \nu$ - minimal energiyasi A_{ch} - chiqish ishiga teng bo'lishi kerak.

Bunday holatda yorug'lik fotonlarining minimal energiyasini

$$E_m = h\nu_q = h \frac{c}{\lambda_q} \quad (2) \text{ tenglama bilan ifodalashimiz mumkin.}$$

Tenglamadagi kattaliklarni masalaning shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, yorug'lik fotonlarining minimal energiyasini aniqlaymiz:

$$E_m = h \frac{c}{\lambda_q} = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{3 \cdot 10^{-7} \text{ m}} \approx 6,62 \cdot 10^{-19} \text{ J}.$$

Javob: $E_m = 6,62 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

Masala

Volfram elementi moddasi uchun fotoeffektning qizil chegarasiga mos keluvchi yorug'lik to'lqin uzunligi topilsin?

Volfram uchun fotoelektronlarning chiqish ishi $A_{ch} = 4,5 \text{ eV}$.

Berilgan.

$$A_{ch} = 4,5 \text{ eV} \approx 7,2 \cdot 10^{-19} \text{ j}; h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ j} \cdot \text{s}; c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Topish kerak: $\lambda_q = ?$

Yechish:

Fotoeffekt uchun A.Eynshteyn tenglamasiga asosan

$$h \cdot \nu = A_{ch} + \frac{m v^2}{2} \quad (1), \text{ bu yerda } h \cdot \nu - \text{yorug'lik fotonining energiyasi,}$$

$$A_{ch} - \text{chiqish ishi, } \frac{m v^2}{2} - \text{fotoelektronlarning kinetik energiyasi.}$$

Fotoeffektning qizil chegarasi holatida fotonlarning $h \cdot \nu$ – minimal energiyasi, A_{ch} – chiqish ishiga teng bo'lishi kerak. U holda, yorug'lik

$$\text{fotonlarining minimal energiyasini } E_m = h \nu_q = h \frac{c}{\lambda_q} \quad (2) \text{ tenglama}$$

bilan ifodalashimiz mumkin. Endi (2) tenglamadan λ_q – yorug'lik to'lqin uzunligini topib, tenglamadagi kattaliklarning masalani shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, volfram elementi uchun fotoeffektning qizil chegarasiga mos keluvchi λ_q – yorug'lik to'lqin uzunligini aniqlaymiz:

$$\lambda_q = h \frac{c}{A_{ch}} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \text{ j} \cdot \text{s} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{7,2 \cdot 10^{-19} \text{ j}} \approx 2,76 \cdot 10^{-7} \text{ m}.$$

$$\text{Javob: } \lambda_q \approx 2,76 \cdot 10^{-7} \text{ m}.$$

Masala

Ishchi sirt yuzasi $S=30 \text{ sm}^2$ va integrall sezgirliги $\kappa=500 \frac{\mu\text{KA}}{\text{Lm}}$ bo'lgan selenli fotoelement galvanometr orqali elektr tarmoqqa ulangan. Qurilma yordamida $E=2 \text{ Lk}$ yoritilganligini o'lchash uchun galvanometrning sezgirliги β qanday bo'lishi kerak?

Berilgan:

$$\kappa=500 \frac{\mu\text{KA}}{\text{Lm}}=5 \cdot 10^{-4} \frac{\text{A}}{\text{Lm}}; S=30 \text{ sm}^2=3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2; E=2 \text{ Lk}.$$

Topish kerak: $\beta = ?$

Yechish:

E-yoritilganlikni hosil qiluvchi fotoelementning ishchi sirt yuzasiga tushayotgan F yorug'lik oqimi $F = E \cdot S$ (1) tenglama bilan ifodalanadi. Tenglamadan F – yorug'lik oqimini topamiz:

$$F = 2 \text{ Lk} \cdot 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 = 6 \cdot 10^{-3} \text{ Lm}.$$

Ushbu holatda elektr zanjirida hosil qilingan fototok kuchini $i = k \cdot F$ (2) tenglamadan quyidagicha aniqlaymiz:

$$i = 5 \cdot 10^{-4} \frac{\text{A}}{\text{Lm}} \cdot 6 \cdot 10^{-3} \text{ Lm} \approx 30 \cdot 10^{-7} \text{ A} \approx 3 \cdot 10^{-6} \text{ A}.$$

Binobarin, tok kuchining bunday qiymatini o'lchash uchun galvanometr $\beta \sim 10^{-6} \text{ A}$ sezgirlikka ega bo'lishi talab etiladi, ya'ni galvanometr 10^{-6} A tok kuchining yuzdan bir ulushlarini qayd etishi keraak.

Javob: $\beta \sim 10^{-6} \text{ A}$

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Fotoeffektning qizil chegarasiga mos keluvchi nurlanish chastotasi $\nu = 4 \cdot 10^{14} \text{ Gts}$ bo'lsa, nurlanish to'lqin uzunligi, fotonning massasi topilsin?

2. Fotoeffekt sodir etilgan moddada fotoelektronlarning chiqish ishi $A_{ch} = 4,5 \text{ eV}$ bo'lsa, fotoeffektning qizil chegarasiga mos keluvchi nurlanish chastotasi va energiyasi topilsin?

3. Taqiqlangan zona kengligi $E_g = 1,1 \text{ eV}$ bo'lgan yarimo'tkazgich materialining sirtiga tushayotgan nurlanish to'lqin uzunligi $\lambda = 400 \text{ nm}$ bo'lsa, fotoelektronlarning kinetik energiyasi va tezligi topilsin?

4. Yarim o'tkazgich materialining taqiqlangan zonasi kengligi $E_g = 1,52 \text{ eV}$ bo'lsa, fotoeffektni yuzaga keltiruvchi nurlanish energiyasi va to'lqin uzunligi topilsin?

5. Yarimo'tkazgich moddasida fotoeffektning qizil chegarasiga mos keluvchi nurlanish to'lqin uzunligi $\lambda = 500 \text{ nm}$ bo'lsa, yarimo'tkazgichning taqiqlangan zonasi kengligi topilsin?

6. Metall plastinka sirtida fotoeffekt hodisasi kuzatilgan moddada chiqish ishi $A_{ch} = 1,4 \text{ eV}$ bo'lsa, fotoeffektni hosil qiluvchi nurlanish fotonlarining m_f –massasi topilsin?

7. Chiqish ishlarining son qiymatlari mos ravishda $A_{ch_1}=1,2 \text{ eV}$, $A_{ch_2}=1,8 \text{ eV}$ bo'lgan yarimo'tkazgichni moddalarda fotoeffektning yuzaga keltiruvchi nurlanish fotonlarining massalari nisbati topilsin?

8. Fotoeffektning yuzaga keltiruvchi nurlanish fotonlarining massasi $m_f=2,4 \cdot 10^{-36} \text{ kg}$ bo'lsa, nurlanuvchi moddada fotoeffektning qizil chegarasi aniqlansin?

9. Chiqish ishi $A_{ch}=0,8 \text{ eV}$ bo'lgan moddaning sirtiga tushayotgan nurlanish chastotasi $\nu=2 \cdot 10^{14} \text{ Gts}$ bo'lsa, fotoeffekt natijasida hosil bo'lgan fotoelektronlarning kinetik energiyasi va tezligi topilsin?

10. Fotoeffekt jarayonida moddaning sirtiga tushayotgan nurlanish chastotasi $\nu_1=4 \cdot 10^{14} \text{ Gts}$ dan $\nu_2=8 \cdot 10^{14} \text{ Gts}$ ga o'zgartirilganda, fotoelektronlarning kinetik energiyasi necha marta o'zgaradi? Nurlanish tushayotgan moddaning chiqish ishi $A_{ch}=0,82 \text{ eV}$ deb hisoblansin.

Mavzuga oid nazorat savollari

1. Fotoeffektning fizik mohiyatini va sodir etilishi jarayonining mexanizmini tushuntiring?

2. Fotoeffektning qizil chegarasi deganda nimani tushundingiz va ushbu kattalik asosan qaysi parametrlarga bog'liq?

3. Ichki va tashqi fotoeffektlarning farqini tushuntiring?

4. Fotoeffektida fotoelektronlarning paydo bo'lishining fizik mexanizmini tushuntiring?

5. Yarimo'tkazgichlarda ichki fotoeffekt hodisasi qanday fizik jarayonlar asosida sodir etiladi?

6. Fotoeffektida to'yinish toki qaysi parametrlarga bog'liq?

7. Monoxromatik nurlanish oqimini o'zarishi bilan to'yinish toki qanday o'zgaradi?

8. Monoxromatik nurlanish energiyasining o'zgarishi fotoelektronlarning kinetik energiyasini qanday o'zgarishiga olib keladi?

9. Yarimo'tkazgichlarda sodir etiladigan ichki fotoeffektida fotoelektronlarning generatsiyasi jarayonining fizik mexanizmini tushuntiring?

10. Yarimo'tkazgichlarda nurlanish ta'sirida fotoelektronlarni generatsiyasi jarayoni materialning asosan qaysi parametrlariga bog'liq?

IV-BOB. YARIMO'TKAZGICH MATERIALLARI

4.1. Yarim o'tkazgich materiallarining elektr o'tkazuvchanlik xususiyatlari

➤ Yarimo'tkazgich materiallarining xususiy elektr o'tkazuvchanligi: $\sigma_{xus} = \sigma_0 \exp\left(-\frac{E_g}{2kT}\right)$ (4.1) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda σ_0 – yarimo'tkazgich materialining $t \rightarrow \infty^\circ\text{C}$ haroratda solishtirma elektr o'tkazuvchanligi:

➤ Yarimo'tkazgich materiallarining kirishmali elektr o'tkazuvchanligi: $\sigma_{kir} = \sigma_0 \exp\left(-\frac{\Delta E_f}{2kT}\right)$ (4.1.2) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda ΔE_f – kirishma atomlarini faollashtirish energiyasi.

➤ Yarim o'tkazgich materiallarning xususiy elektr o'tkazuvchanligida n_i – elektronlar va p_i – kovaklar konsentratsiyasi o'zaro teng bo'ladi, ya'ni: $n_i = p_i$ yoki $n_i + p_i = 2 \cdot n_i$ (4.1.3).

➤ Xususiy elektr o'tkazuvchanlik holatida solishtirma elektr o'tkazuvchanlik: $\sigma_i = en_i\mu_n + ep_i\mu_p$ (4.1.4) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda μ_n va μ_p elektron va kovaklarning ko'rilayotgan yarimo'tkazgich materialidagi harakatchanligi.

Masalalarni yechish namunalari

Masala

Kremniy kristallini $T_1 = 273\text{ K}$ haroratdan $T_2 = 283\text{ K}$ haroratgacha qizdirilganda solishtirma xususiy elektr o'tkazuvchanligi necha marta o'zgaradi? Kremniyni taqiqlangan zona kengligi

$$E_g = 1,1\text{ eV}.$$

Berilgan:

$$E_g = 1,1\text{ eV}; T_1 = 273\text{ K}; T_2 = 283\text{ K}$$

$$\text{Topish kerak: } \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = ?$$

Yechish:

Yarim o'tkazgich materiallarining xususiy elektr o'tkazuvchanligi matematik jihatidan $\sigma = \sigma_0 \exp\left(\frac{E_g}{2kT}\right)$ (1) tenglama bilan ifodalanadi. U holda masalaning shartiga asosan T_1 va T_2 haroratlarda materialning

solishtirma elektr o'tkazuvchanligi quyidagi tenglamalar bilan ifodalanadi:

$$\sigma_1 = \exp\left(-\frac{E_g}{2kT_1}\right) \quad (2), \quad \sigma_2 = \exp\left(-\frac{E_g}{2kT_2}\right) \quad (3). \text{ Endi (3) va (2)}$$

tenglamalarni o'ng va chap tomonlarini hadma-had bo'lib, quyidagi tenglikni hosil qilamiz:

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{\exp\left(-\frac{E_g}{2kT_1}\right)}{\exp\left(-\frac{E_g}{2kT_2}\right)} = \exp\left[\frac{E_g}{2k} \cdot \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)\right] \quad (4).$$

(4) tenglamadagi fizik kattaliklarning masala shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib va tegishli matematik amallarni bajarib, T_2 va T_1 haroratlarga mos keluvchi solishtirma elektr o'tkazuvchanliklarining $\frac{\sigma_2}{\sigma_1}$ nisbatini aniqlaymiz:

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \exp\left[\frac{E_g}{2k} \cdot \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)\right] = \exp\left[\frac{1,1 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{2 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23}} \cdot \left(\frac{1}{273} - \frac{1}{283}\right)\right]$$

$$\approx 2,3$$

$$\text{Javob: } \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 2,3$$

Masala

Kremniy kristalli $T_1 = 273K$ haroratdan $T_2 = 283K$ haroratgacha qizdirilganda solishtirma elektr o'tkazuvchanligi $n = 2,28$ marta ortgan bo'lsa, kremniyning taqiqlangan zona kengligi aniqlansin?

Berilgan:

$$T_1 = 273K; T_2 = 283K; \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = n = 2,28$$

Topish kerak: $E_g = ?$

Yechish:

Yarim o'tkazgich materiallarning solishtirma elektr o'tkazuvchanligini ifodalovchi $\sigma = \sigma_0 \exp\left(-\frac{E_g}{2kT}\right)$ (1) tenglamasiga asosan T_1 va T_2 haroratga qizdirilgan kremniy kristallining solishtirma elektr o'tkazuvchanligini quyidacha ifodalaymiz:

$$\sigma_1 = \sigma_0 \exp\left(-\frac{E_g}{2kT_1}\right) \quad (2);$$

$$\sigma_2 = \sigma_0 \exp\left(-\frac{E_g}{2kT_2}\right) \quad (3).$$

Endi (2) va (3) tenglamalarni o'ng va chap tomonlarini hadma-had bo'lib, quyidagi tenglikni hosil qilamiz:

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = n = \frac{\sigma_0 \exp\left(-\frac{E_g}{2kT_2}\right)}{\sigma_0 \exp\left(-\frac{E_g}{2kT_1}\right)} = \exp\left[\frac{E_g}{2k}\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)\right] \quad (4).$$

Elementar matematika kursidan ma'lumki, (4) tenglamani ko'rsatkichli tenglama ekanligini hisobga olib, tenglamaning har ikki tomonini e asosga ko'ra logarifmlab, quyidagi tenglamani hosil qilamiz:

$$\ln(n) = \frac{E_g}{2k} \cdot \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right) \quad (5).$$

Tenglamadan E_g – taqiqlangan zona kengligining quyidagi ifodasini topamiz:

$$E_g = \frac{2k \cdot \ln(n)}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}}.$$

Endi tenglamadagi kattaliklarning masalani shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, E_g – taqiqlangan zona kengligini aniqlaymiz:

$$E_g = \frac{2 \cdot k \ln(n)}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} = \frac{2 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 1}{\frac{1}{273} - \frac{1}{283}} = \frac{2 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23}}{1,3 \cdot 10^{-4}} \approx 2,12 \cdot 10^{-19} \text{ J} \approx 1,3 \text{ eV}.$$

Javob: $E_g \approx 2,12 \cdot 10^{-19} \text{ J} \approx 1,3 \text{ eV}.$

Masala

n – tur o'tkazuvchanlikli monokristall kremniy materialining geometrik o'lchamlari: uzunligi $l = 10 \text{ mm}$, eni $b = 2 \text{ mm}$, balandligi $h = 1 \text{ mm}$. Elektron va kovaklarning kremniy kristallida harakatchanliklari mos ravishda $\mu_n = 0,14 \frac{\text{m}^2}{\text{V}\cdot\text{s}}$, $\mu_p = 0,05 \frac{\text{m}^2}{\text{V}\cdot\text{s}}$. Materialning qarshiligi $R = 150 \text{ Om}$, xususiy zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi $n_i = 10^{16} \text{ m}^{-3}$ bo'lsa, kirishma atomlari konsentratsiyasi va kovakli o'tkazuvchanligini elektronli o'tkazuvchanlikka nisbati topilsin?

Berilgan:

$$l = 10 \text{ mm} = 10^{-2} \text{ m}; b = 2 \text{ mm} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m};$$

$$h = 1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}; \mu_n = 0,14 \frac{\text{m}^2}{\text{V}\cdot\text{s}}; \mu_p = 0,05 \frac{\text{m}^2}{\text{V}\cdot\text{s}};$$

$$n_i = 10^{16} \text{ m}^{-3}; R = 150 \text{ Om}.$$

Topish kerak:

$$n_n = ? \quad p_p = ? \quad \frac{\sigma_n}{\sigma_p} = ?$$

Yechish:

Kremniy materialining solishtirma qarshiligi $\rho = R \cdot \frac{b \cdot h}{l}$ (1)
tenglamaga asosan:

$$\rho = 150 \text{ Om} \cdot \frac{2 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot 10^{-3} \text{ m}}{10^{-3} \text{ m}} \approx 0,03 \text{ Om} \cdot \text{m}.$$

n – tur o'tkazuvchanlikli kremniyning solishtirma elektr qarshiligini umumiy holatda ifodalovchi $\rho_n = \frac{1}{\sigma_n} = \frac{1}{e(n_n \mu_n + p_n \mu_p)}$ (2)
tenglamasidagi kattaliklarning masala shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, quyidagi tenglikni hosil qilamiz:

$$0,03 = \frac{1}{1,6 \cdot 10^{19}(0,14 \cdot n_n + 0,05 p_n)} \quad (3),$$

$$0,14 n_n + 0,05 p_n = 2,08 \cdot 10^{20} \quad (4).$$

Ushbu holatda $n_i^2 = n \cdot p$ (5) ekanligini hisobga olsak, n – sohada asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi: $p_n = \frac{n_i^2}{n_n}$ (6).

U holda (6) ifodani (4) tenglamaga qo'yib,

$0,14 \cdot n_n + 0,05 \cdot \frac{n_i^2}{n_n} = 2,08 \cdot 10^{20}$ (7) tenglikni hosil qilamiz, bu yerda kremniy materiali uchun $n_i = 10^{16} \text{ m}^{-3}$ ekanligini hisobga olib, (7) tenglamani soddalashtiramiz:

$$0,14 \cdot n_n^2 + 0,05 \cdot 10^{32} = 2,08 \cdot 10^{20} n_n \quad (8).$$

Tenglama kvadrat tenglama bo'lib, uning ildizlari:

$$n_{n1,2} = \frac{2,08 \cdot 10^{20} \pm \sqrt{(2,08)^2 \cdot 10^{40} - 4 \cdot 0,14 \cdot 0,05 \cdot 10^{32}}}{2 \cdot 0,14} \quad (9)$$

tenglamaga asosan aniqlansa:

$$n_{n1} = \frac{2,08 \cdot 10^{20} + 2,08 \cdot 10^{20}}{2 \cdot 0,14} \approx 1,48 \cdot 10^{21} \text{ m}^{-3}.$$

Ushbu holatda barcha kirishma atomlari ionlashgan ekanligini hisobga olsak, u holda $N_p = n_n = 1,48 \cdot 10^{21} \text{ m}^{-3}$. Kirishma atomlari

bilan legirlangan kremniy kristallida kovakli va elektronli elektr o'tkazuvchanlik quyidagi $\sigma_p = e \cdot p \cdot \mu_p$ (10) hamda

$\sigma_n = e \cdot n \cdot \mu_n$ (11) tenglamalar bilan ifodalanishini e'tiborga olsak, u holda materialning elektronli va kovakli elektr o'tkazuvchanliklarining nisbati:

$$\frac{\sigma_n}{\sigma_p} = \frac{e \cdot \mu_n \cdot n_n}{e \cdot \mu_p \cdot p_n} = \frac{\mu_n \cdot n_n^2}{\mu_p \cdot p_n^2} \quad (12)$$

tenglama bilan ifodalanadi. Endi (12) tenglamadagi kattaliklarning son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, elektron va kovakli o'tkazuvchanliklar nisbatini aniqlaymiz:

$$\frac{\sigma_n}{\sigma_p} = \frac{0,14 \cdot (1,48 \cdot 10^{21})^2}{0,05 \cdot (10^{16})^2} \approx 6,1 \cdot 10^{10}.$$

Javob: $\frac{\sigma_n}{\sigma_p} \approx 6,1 \cdot 10^{10}.$

Masala

Germaniy materialining $T = 300\text{K}$ xona haroratida solishtirma elektr qarshiligi $\rho = 0,43 \text{ Om} \cdot \text{m}$, elektron va kovaklarning harakatchanliklari mos ravishda $\mu_n = 0,39 \frac{\text{m}^2}{\text{V} \cdot \text{s}}$ va $\mu_p = 0,19 \frac{\text{m}^2}{\text{V} \cdot \text{s}}$ bo'lsa, elektron va kovaklarni xususiy konsentratsiyasi topilsin?

Germaniy atomlari konsentratsiyasining har $n = 2 \cdot 10^6$ tasiga bitta kirishma atomi mos kelsa, $T = 300 \text{ K}$ haroratda elektron va kovaklarning konsentratsiyasi hamda materialning solishtirma elektr qarshiligi topilsin?

Berilgan:

$$T = 300\text{K}; \rho_{Ge} = 0,43 \text{ Om} \cdot \text{m}; \mu_n = 0,39 \frac{\text{m}^2}{\text{V} \cdot \text{s}}; \mu_p = 0,19 \frac{\text{m}^2}{\text{V} \cdot \text{s}}.$$

Topish kerak:

$$n_i = ?; p_i = ?; \rho = ?$$

Yechish:

Yarim o'tkazgich materiallarining solishtirma elektr o'tkazuvchanligi umumiy holda $\sigma = e(p\mu_p + n\mu_n)$ (1) tenglama bilan ifodalanadi. Bu yerda $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}$ elektronning zaryadi, n, p va μ_n, μ_p – mos ravishda elektron va kovaklarning konsentratsiyasi hamda harakatchanligi.

Yarim o'tkazgichlarning xususiy elektr o'tkazuvchanligi uchun $p_i = n_i$ bo'lib, solishtirma elektr o'tkazuvchanligi

$\sigma_i = \frac{1}{\rho_i} = n_i \cdot e(\mu_n + \mu_p)$ (2) tenglama bilan ifodalanadi. Ushbu (2) tenglamadan elektronlar va kovaklarning xususiy konsentratsiyasini topamiz:

$$n_i = p_i = \frac{1}{\rho_i \cdot e \cdot (\mu_n + \mu_p)} = \frac{1}{0,43 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot (0,39 + 0,19)} \approx 2,5 \cdot 10^{19} \text{ m}^{-3}.$$

Masalaning shartida bayon etilishiga muvofiq holda germaniy materialiga kiritilgan donor kirishma atomlari konsentratsiyasi quyidagicha aniqlanadi, ya'ni:

$$N_d = \frac{4,4 \cdot 10^{28}}{2 \cdot 10^6} \approx 2,2 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}.$$

$T = 300\text{K}$ xona haroratida kirishma atomlarining hammasi ionlashgan holda bo'ladi va $n_n = 2,2 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}$.

U holda n - tur germaniy kristallida kovaklar konsentratsiyasini $p_i = \frac{n_i^2}{n_n}$ (3) tenglamadan aniqlashimiz mumkin:

$$p_i = \frac{n_i^2}{n_n} = \frac{(2,5 \cdot 10^{19} \text{ m}^{-3})^2}{2,2 \cdot 10^{22}} = \frac{6,25 \cdot 10^{38}}{2,2 \cdot 10^{22}} \approx 2,84 \cdot 10^{16} \text{ m}^{-3}.$$

Kirishma atomlari bilan legirlangan yarim o'tkazgichlarning solishtirma elektr qarshiligi $\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{e(p\mu_p + n\mu_n)}$ (4) tenglama bilan

ifodalanib, masalaning shartida bayon etilgan n - tur o'tkazuvchanlikni e'tiborga olsak, u holda $n \cdot \mu_n$ kattalikka nisbatan $p \cdot \mu_p$ hadni hisobga olmaslik mumkin, u holda materialning solishtirma elektr qarshiligini

$\rho_n = \frac{1}{\sigma_n} = \frac{1}{en\mu_n}$ (5) tenglamaga asosan quyidagicha aniqlaymiz:

$$\rho_n = \frac{1}{\sigma_n} = \frac{1}{en\mu_n} = \frac{1}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 2,2 \cdot 10^{22} \cdot 0,39} \approx 7,3 \cdot 10^{-4} \text{ Om} \cdot \text{m}.$$

Javob: $\rho_n \approx 7,3 \cdot 10^{-4} \text{ Om} \cdot \text{m}.$

Masala

Germaniy materiali asosida tayyorlangan p-n o'tishida donor va akseptorlar konsentratsiyasi $N_d = 10^3 N_a$ bo'lib, germaniy atomlarining 10^8 ta soniga bitta akseptor kirishma atomi mos kelgan bo'lsa,

$T = 300\text{K}$ haroratda kontakt potentsiallari farqi topilsin?

Germaniy monokristallining xususiyy zaryad tashuvchilari konsentratsiyasi $n_i = 2,5 \cdot 10^{19} \text{ m}^{-3}$.

Berilgan:

$$N_d = 10^3 N_a; n_i = 2,5 \cdot 10^{19} \text{ m}^{-3}; k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}};$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}.$$

Topish kerak: $\varphi_k = ?$

Yechish:

Germaniy monokristallida atomlar konsentratsiyasi

$N = 4,4 \cdot 10^{28} \text{ m}^{-3}$ ekanligini hisobga olsak, u holda masalaning shartiga ko'ra akseptor kirishma atomlari konsentratsiyasi:

$$N_a = \frac{N}{10^8} = \frac{4,4 \cdot 10^{28} \text{ m}^{-3}}{10^8} = 4,4 \cdot 10^{20} \text{ m}^{-3}$$

ekanligini aniqlaymiz. Binobarin donor kirishma atomlari konsentratsiyasi masalaning shartiga ko'ra:

$$N_d = 10^3 N_a = 10^3 \cdot 4,4 \cdot 10^{20} \text{ m}^{-3} = 4,4 \cdot 10^{23} \text{ m}^{-3}.$$

Ushbu holatda p-n o'tishida kontakt potentsiallarining farqini ifodalovchi $\varphi_k = \frac{KT}{e} \cdot \ln \frac{N_a \cdot N_d}{n_i^2}$ (1) tenglamasiga asosan, kontakt potentsiallar farqini topsak:

$$\varphi_k = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{1,6 \cdot 10^{-19}} \cdot \ln \frac{4,4 \cdot 10^{20} \cdot 4,4 \cdot 10^{23}}{2,5^2 \cdot 10^{38}} \approx \approx 0,0258 \cdot 12,64 \approx 0,326 \text{ V}$$

Javob: $\varphi_k \approx 0,326 \text{ V}$.

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Germaniy monokristalli $T = 300 \text{ K}$ haroratda n - tur o'tkazuvchanlikka va kirishma atomlari konsentratsiyasi $N_d = 10^{20} \text{ m}^{-3}$ bo'lsa, kristallda asosiy va asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi hamda materialning solishtirma elektr qarshiligi topilsin?

2. Kremniy monokristallining $T = 300 \text{ K}$ haroratda solishtirma o'tkazuvchanligi topilsin? Materialda akseptor va donor kirishma atomlarining konsentratsiyasi mos ravishda

$$N_a = 2,3 \cdot 10^{19} \text{ m}^{-3}, N_d = 2,2 \cdot 10^{19} \text{ m}^{-3}?$$

3. Quyidagilar uchun $T = 300\text{ K}$ haroratdagi elektronlar va kovaklar konsentratsiyalarini aniqlang?

a) xususiy kremniy materialida; b) 1 sm^3 hajmida $5 \cdot 10^{17}$ dona surma atomi kiritilgan kremniy kristallida.

4. Germaniy namunasiga $N_a = 2 \cdot 10^{15}\text{ cm}^{-3}$ konsentratsiyali alyumin aralashmasi qo'shilgan. Harorat $T = 300\text{ K}$ bo'lganda mazkur namunaning solishtirma o'tkazuvchanligini toping?

5. Yarim o'tkazgichdagi akseptorlar konsentratsiyasi

$N_a = 2,3 \cdot 10^{13}\text{ sm}^{-3}$ donorlar konsentratsiyasi

$N_d = 2,2 \cdot 10^{12}\text{ sm}^{-3}$ ga teng. Harorat 300 K bo'lganda kremniy namunasining solishtirma o'tkazuvchanligini aniqlang?

6. Sof toza kremniyda $T = 300\text{ K}$ xona haroratida elektron va kovaklarning konsentratsiyasi $n_i = 2 \cdot 10^{16}\text{ m}^{-3}$, harakatchanliklari $\mu_n = 1450\text{ sm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$, $\mu_p = 500\text{ sm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ bo'lsa, kremniy materialining xususiy solishtirma elektr o'tkazuvchanligi va xususiy solishtirma elektr qarshiliklari aniqlansin?

7. Sof toza germaniy materialida $T = 300\text{ K}$ xona haroratida elektron va kovaklarning konsentratsiyasi $n_i = 2,2 \cdot 10^{19}\text{ m}^{-3}$, zaryad tashuvchilarning harakatchanliklari $\mu_n = 3800\text{ sm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$,

$\mu_p = 1810\text{ sm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ bo'lsa, shu haroratda germaniy materialining xususiy solishtirma elektr o'tkazuvchanligi va xususiy solishtirma elektr qarshiliklari aniqlansin?

8. Sof toza kremniy materialining $T_1 = 300\text{ K}$ va $T_2 = 800\text{ K}$ haroratlardagi solishtirma elektr o'tkazuvchanliklarining nisbati aniqlansin?

9. Sof toza germaniy materialining $T_1 = 300\text{ K}$ va $T_2 = 800\text{ K}$ haroratlardagi solishtirma elektr o'tkazuvchanliklarining nisbati aniqlansin?

10. Me'yoriy sharoitda ($P = 10^5\text{ Pa}$, $T = 293\text{ K}$) sof toza kremniy va germaniy kristallarida xususiy zaryad tashuvchi zarrachalar konsentratsiyalarining nisbati aniqlansin?

Mavzuga oid nazorat savollari

1. Yarim o'tkazgich moddalarini boshqa turdagi moddalardan farqlovchi asosiy xususiyati nimadan iborat?

2. Elementar yarimo'tkazgichlar deganda qanday moddalar tushuniladi?

3. Xususiy va kirishmali yarimo'tkazgichlar bir-biridan qanday farqlanadi?

4. Xususiy yarimo'tkazgichlarda elektron-kovak juftini hosil bo'lishi mexanizmini tushuntiring?

5. Zonalar nazariyasining fizik mohiyatini tushuntiring?

6. Yarimo'tkazgich materiallarining solishtirma elektr o'tkazuvchanligi asosan qaysi parametrlarga bog'liq?

7. Zaryad tashuvchi zarrachalar konsentratsiyasining fizik ma'nosini tushuntiring?

8. Yarimo'tkazgichlar taqiqlangan zonasi kengligini qanday tushundingiz?

9. Yarimo'tkazgich materiallarining taqiqlangan zonasi kengligi asosan qaysi parametrlarga bog'liq?

10. Yarimo'tkazgich materiallarida zaryad tashuvchi zarrachalar harakatchanligining fizik mohiyatini tushuntiring?

4.2. Yarim o'tkazgich materiallarining parametrlarini aniqlash

➤ Zaryad tashuvchi zarralar konsentratsiyasi: $n = \frac{N}{V}$ (4.1).

➤ Solishtirma elektr o'tkazuvchanlik: $\sigma = \frac{1}{\rho}$ (4.2).

➤ Akseptor o'tkazuvchanlikni yarim o'tkazgichning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi: $\sigma_p = e \cdot p \cdot \mu_p$ (4.3), bu yerda p –kovaklar konsentratsiyasi, μ_p –kovaklarning harakatchanligi.

➤ Zaryad tashuvchi zarrachalarning harakatchanligi: $\mu = \frac{v_{iss}}{E}$ (4.4), bu yerda v_{iss} – zaryad tashuvchi zarralarning issiqlik harakat tezligi, E –elektr maydon kuchlanganligi.

➤ Yarim o'tkazgich materialda tok zichligi: $j = \sigma \cdot E = q \cdot n \cdot v$ (4.5).

➤ Xususiy yarim o'tkazgichlarda $n_i = p_i$, ya'ni elektronlar va kovaklar konsentratsiyasi o'zaro teng bo'lib:

$$n_i \cdot p_i = n_i^2 = p_i^2 = N_c \cdot N_v \exp\left(-\frac{E_g}{kT}\right) \quad (4.6),$$

bu yerda E_g – yarimo'tkazgich materialining taqiqlangan zonasi kengligi, N_c va N_v – o'tkazuvchanlik va valent zonadagi energetik holatlarning effektiv zichligi. $T=300\text{ K}$ haroratda kremniy va germaniy uchun taxminan $\approx 10^{19} \text{ sm}^{-3}$;

➤ Yarim o'tkazgichlarda elektronlar va kovaklar konsentratsiyasi:

$n=N_c \cdot \exp\left(-\frac{E_c-E_F}{kT}\right)$ (4.7) $p=N_v \cdot \exp\left(-\frac{E_F-E_v}{kT}\right)$ (4.8) tenglamalar bilan ifodalanadi, bu yerda E_F – Ferni sathi;

➤ Zaryad tashuvchilarni energetik holatlar bo'yicha Ferni-Dirak taqsimotiga asosan: $N_c=2\frac{[2\pi m_n \cdot kT]^{3/2}}{h^3}$ (4.9), $N_v=2\frac{[2\pi m_p \cdot kT]^{3/2}}{h^3}$ (4.10) tenglamalar bilan ifodalanadi, bu yerda m_n, m_p – elektron va kovaklarni effektiv massalari.

Masalalarni yechish namunalari

Masala

Kremniy kristallida $T=300\text{ K}$ xona haroratida xususiy zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi topilsin? Kremniyning taqiqlangan zona kengligi $E_g=1,12\text{ eV}$, valent zonada kovaklar va o'tkazuvchanlik zonasida elektronlarni massasi effektiv holat zichliklari $m_c=1,05 m_0$, $m_v=0,56 m_0$.

Berilgan:

$$T=300\text{ K}; E_g=1,12\text{ eV}; m_0=9,1 \cdot 10^{-31}\text{ kg};$$

$$h=6,62 \cdot 10^{-34}\text{ J}\cdot\text{s}; k=8,625 \cdot 10^{-5}\frac{\text{eV}}{\text{K}}.$$

Topish kerak: $n_i=?$

Yechish:

Yarim o'tkazgichlarda zaryad tashuvchi zarralarning xususiy konsentratsiyasi umumiy holda $n_i=\sqrt{N_c \cdot N_v \cdot \exp\left(-\frac{E_g}{2kT}\right)}$ (1) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda N_c va N_v mos ravishda elektronlar uchun o'tkazuvchanlik zonasida, kovaklar uchun valent zonada effektiv holat zichligini $N_c=\frac{2(2\pi \cdot m_c \cdot kT)^{3/2}}{h^3}$ (2) $N_v=\frac{2(2\pi \cdot m_v \cdot kT)^{3/2}}{h^3}$ (3), tenglamalardan quyidagicha aniqlaymiz:

$$N_c=\frac{2 \cdot (2 \cdot 3,14 \cdot 1,05 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300)^{3/2}}{(6,62 \cdot 10^{-34})^3} \approx 2,04 \cdot 10^{24}\text{ m}^{-3}$$

$$N_v=\frac{2 \cdot (2 \cdot 3,14 \cdot 0,56 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300)^{3/2}}{(6,62 \cdot 10^{-34})^3} \approx 10,2 \cdot 10^{24}\text{ m}^{-3}.$$

Kattaliklarning hisoblab topilgan son qiymatlarini (1) tenglamaga qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, zaryad tashuvchi zarrachalarning xususiy konsentratsiyasini aniqlaymiz:

$$n_i = \sqrt{2,04 \cdot 10^{24} \cdot 10,2 \cdot 10^{24} \cdot \exp\left(-\frac{1,12}{2 \cdot 8,625 \cdot 10^{-5} \cdot 300}\right)} \approx 4 \cdot 10^{11} \text{ m}^{-3}.$$

Javob: $n_i \approx 4 \cdot 10^{11} \text{ m}^{-3}$.

Masala

Yarimo'tkazgichli germaniy kristallining muayyan sharoitda xona haroratidagi xususiy solishtirma elektr qarshiligi $\rho = 0,48 \text{ Omm}$, elektron va kovaklarning harakatchanliklari mos ravishda $\mu_n = 0,36 \frac{\text{m}^2}{\text{V}\cdot\text{s}}$, $\mu_p = 0,16 \frac{\text{m}^2}{\text{V}\cdot\text{s}}$ bo'lsa, zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi aniqlansin?

Berilgan:

$$T = 300 \text{ K}; \rho = 0,48 \text{ Omm} \cdot \text{m}; \mu_n = 0,36 \frac{\text{m}^2}{\text{V}\cdot\text{s}}; \mu_p = 0,16 \frac{\text{m}^2}{\text{V}\cdot\text{s}}.$$

Topish kerak: $n_i = ?$

Yechish:

Yarim o'tkazgichlarning xususiy elektr o'tkazuvchanligida materialning xususiy atomlariga tegishli bog'lanishdan uzilgan erkin elektronlar va kovaklar soni o'zaro teng bo'ladi $n_0 = p_0$ va $n_0 \cdot p_0 = n_i^2$ (1) shart bajariladi, bu yerda n_0 -elektronlar, p_0 -kovaklarning konsentratsiyasi.

U holda materialning solishtirma elektr qarshiligini quyidagicha ifodalashimiz mumkin: $\rho = \frac{1}{e(n_0\mu_n + p_0\mu_p)} = \frac{1}{en_i(\mu_n + \mu_p)}$ (2). Bu yerdan zaryad tashuvchi zarrachalarning xususiy konsentratsiyasini quyidagi ifodasini hosil qilamiz: $n_i = \frac{1}{e\rho(\mu_n + \mu_p)}$ (3). Tenglamadagi kattaliklarni masalaning shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, yarimo'tkazgichli germaniy kristallidagi zaryad tashuvchi zarrachalarning xona haroratidagi xususiy konsentratsiyasini aniqlaymiz:

$$n_i = \frac{1}{e\rho(\mu_n + \mu_p)} = \frac{1}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,48 \cdot (0,36 + 0,16)} \approx 2,5 \cdot 10^{19} \text{ m}^{-3}.$$

Javob: $n_i \approx 2,5 \cdot 10^{19} \text{ m}^{-3}$.

Masala

Muayyan sharoitda $T=300 \text{ K}$ xona haroratida p-tip o'tkazuvchanlikli germaniy kristallida kovaklarning konsentratsiyasi $p = 2,1 \cdot 10^{20} \text{ m}^{-3}$, elektronlarning konsentratsiyasi esa 100 marta kichik. Elektron va kovaklarning harakatchanliklari mos ravishda $\mu_n=0,36 \frac{\text{m}^2}{\text{V}\cdot\text{s}}$, $\mu_p=0,16 \frac{\text{m}^2}{\text{V}\cdot\text{s}}$ bo'lsa, germaniy kristallining solishtirma xususiy qarshiligini topilsin?

Berilgan:

$$T=300 \text{ K}; p = 2,1 \cdot 10^{20} \text{ m}^{-3}; \mu_n=0,36 \frac{\text{m}^2}{\text{V}\cdot\text{s}}; \mu_p=0,16 \frac{\text{m}^2}{\text{V}\cdot\text{s}}.$$

Topish kerak: $\rho_i=?$

Yechish:

Masalaning shartida bayon etilishiga ko'ra akseptor kirishmali p-tip o'tkazuvchanlikli germaniy kristallida asosiy zaryad tashuvchi zarrachalar, ya'ni kovaklar konsentratsiyasi asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchi elektronlar konsentratsiyasidan 100 marta katta, ya'ni: $n = 0,01p = 2,1 \cdot 10^{18} \text{ m}^{-3}$.

Yarimo'tkazgich materiallarining xususiy elektr o'tkazuvchanligida xususiy zaryad tashuvchi zarrachalar konsentratsiyasini ifodalovchi $n \cdot p = n_i^2$ (1) tenglamadan kristaldagi xususiy zaryad tashuvchi zarrachalar konsentratsiyasini aniqlaymiz:

$n_i = \sqrt{n \cdot p} = \sqrt{2,1 \cdot 10^{20} \cdot 2,1 \cdot 10^{18}} = 2,1 \cdot 10^{19} \text{ m}^{-3}$. U holda kirishmali germaniy materialning solishtirma elektr qarshiligini quyidagicha ifodalashimiz mumkin: $\rho = \frac{1}{en_i(\mu_n + \mu_p)}$ (2). Ushbu tenglama-

dagi kattaliklarni masalaning shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, kirishmali yarimo'tkazgichli germaniy kristallining xona haroratidagi xususiy solishtirma elektr qarshiligini aniqlaymiz:

$$\rho_i = \frac{1}{en_i(\mu_n + \mu_p)} = \frac{1}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 2,1 \cdot 10^{19}(0,36 + 0,16)} \approx 0,51 \text{ Omm}.$$

Javob: $\rho_i \approx 0,51 \text{ Omm}$.

Masala

Muayyan sharoitda $T=300\text{ K}$ xona haroratida p-tip o'tkazuvchanlikli germaniy kristallining solishtirma elektr qarshiligi $\rho = 0,05\text{ Om} \cdot \text{m}$, xususiyy zaryad tashuvchi zarrachalar konsentratsiyasi $n_i = 2,1 \cdot 10^{19}\text{ m}^{-3}$, elektron va kovaklarning harakatchanliklari mos ravishda $\mu_n=0,36\frac{\text{m}^2}{\text{V}\cdot\text{s}}$, $\mu_p=0,16\frac{\text{m}^2}{\text{V}\cdot\text{s}}$ bo'lsa, elektronlar va kovaklarning konsentratsiyasi aniqlansin?

Berilgan:

$$T=300\text{ K}, n_i = 2,1 \cdot 10^{19}\text{ m}^{-3}, \mu_n=0,39\frac{\text{m}^2}{\text{V}\cdot\text{s}},$$

$$\mu_p=0,19\frac{\text{m}^2}{\text{V}\cdot\text{s}}, \rho = 0,05\text{ Om} \cdot \text{m}.$$

Topish kerak: $n=?$, $p=?$

Yechish:

Ma'lumki, akseptor kirishmali p-tip o'tkazuvchanlikli germaniy kristallida asosiy zaryad tashuvchi zarrachalar kovaklar bo'lganligi sababli, kristaldagi asosiy zaryad tashuvchi zarrachalar konsentratsiyasi va materialning solishtirma elektr qarshiligi orasidagi bog'lanishni ifodalovchi $\rho = \frac{1}{e p \mu_p}$ (1) tenglamadan kovaklar konsentratsiyasini aniqlaymiz:

$$p = \frac{1}{e \rho \mu_p} = \frac{1}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,05 \cdot 0,19} \approx 6,58 \cdot 10^{19}\text{ m}^{-3}.$$

Masalaning shartida germaniy kristallidagi xususiyy zaryad tashuvchi zarrachalar konsentratsiyasining son qiymati aniq berilganligini hisobga olgan holda yarimo'tkazgich materialining xususiyy elektr o'tkazuvchanligida xususiyy zaryad tashuvchi zarrachalar konsentratsiyasini ifodalovchi $n \cdot p = n_i^2$ (2) tenglamadan elektronlar konsentratsiyasini quyidagicha aniqlaymiz:

$$n = \frac{n_i^2}{p} = \frac{(2,1 \cdot 10^{19})^2}{6,58 \cdot 10^{19}} \approx 6,7 \cdot 10^{18}\text{ m}^{-3}.$$

Javob: $n \approx 6,7 \cdot 10^{18}\text{ m}^{-3}$.

Masala

Yarimo'tkazgichli materiallari sinfiga tegishli galliy-arsenidi hajmiga oltingugurt atomlari legirlanganda $T=300\text{ K}$ xona haroratida

solishtirma elektr qarshiligi $\rho = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Omm}$, elektronlarning harakatchanligi $\mu_n = 0,8 \frac{\text{m}^2}{\text{V}\cdot\text{s}}$ bo'lsa, donor kirishmalar konsentratsiya aniqlansin.

Berilgan:

$$T = 300 \text{ K}, \mu_n = 0,8 \frac{\text{m}^2}{\text{V}\cdot\text{s}}, \rho = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Omm}.$$

Topish kerak: $n = ?$

Yechish:

Yarimo'tkazgichli galliy-arsenidi kristallining hajmiga legirlangan har bir oltingugurt elementi atomiga tegishli bittadan elektron elektr o'tkazuvchanlikda ishtirok etsa, u holda elektr o'tkazuvchanlikda ishtirok etgan elektronlar konsentratsiyasi donor kirishmalar konsentratsiyasiga teng bo'ladi. Ushbu holatda yarimo'tkazgich materialining birlik hajmidagi elektronlar sonini kristaldagi asosiy zaryad tashuvchi zarrachalar konsentratsiyasi va materialning solishtirma elektr qarshiligi orasidagi bog'lanishni ifodalovchi

$$\rho = \frac{1}{en\mu_n} \quad (1) \text{ tenglamadan aniqlaymiz:}$$

$$n = \frac{1}{e\rho\mu_n} = \frac{1}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,8} \approx 1,56 \cdot 10^{21} \text{ m}^{-3}.$$

$$\text{Javob: } n \approx 1,56 \cdot 10^{21} \text{ m}^{-3}.$$

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Kremniy kristallida $T = 300 \text{ K}$ xona haroratida xususiy zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi $n_i \approx 4,4 \cdot 10^{11} \text{ m}^{-3}$, valent zonada kovaklar va o'tkazuvchanlik zonasida elektronlarni massasi effektiv holat zichliklari $m_c = 1,04 m_0$, $m_v = 0,57 m_0$ bo'lsa, kremniyning taqiqlangan zona kengligi topilsin?

2. Germaniy kristallining me'yoriy sharoitda xona haroratidagi zaryad tashuvchi zarrachalarning xususiy konsentratsiyasi $n_i = 2,8 \cdot 10^{20} \text{ m}^{-3}$, elektron va kovaklarning harakatchanliklari mos ravishda $\mu_n = 0,36 \frac{\text{m}^2}{\text{V}\cdot\text{s}}$, $\mu_p = 0,19 \frac{\text{m}^2}{\text{V}\cdot\text{s}}$ bo'lsa, kristalning xususiy solishtirma elektr qarshiligi aniqlansin?

3. Me'yoriy sharoitda $T = 300 \text{ K}$ xona haroratida n-tip o'tkazuvchanlikli germaniy kristallida elektronlarning konsentratsiyasi $n = 8 \cdot$

10^{20} m^{-3} , kovaklarning konsentratsiyasi esa 200 marta kichik. Elektron va kovaklarning harakatchanliklari mos ravishda $\mu_n=0,36 \frac{\text{m}^2}{\text{V}\cdot\text{s}}$, $\mu_p=0,16 \frac{\text{m}^2}{\text{V}\cdot\text{s}}$ bo'lsa, germaniy kristallining solishtirma xususiy qarshiligini topilsin?

4. Akseptor aralashmali p-tip o'tkazuvchanlikli kremniy monokristallining xususiy zaryad tashuvchi zarrachalar konsentratsiyasi $n_i = 2,8 \cdot 10^{19} \text{ m}^{-3}$, elektron va kovaklarning harakatchanliklari va konsentratsiyasi mos ravishda $\mu_n=0,36 \frac{\text{m}^2}{\text{V}\cdot\text{s}}$, $\mu_p=0,19 \frac{\text{m}^2}{\text{V}\cdot\text{s}}$, $n = 6 \cdot 10^{18} \text{ m}^{-3}$, $p = 8 \cdot 10^{19} \text{ m}^{-3}$ bo'lsa, kristalning solishtirma elektr qarshiligi aniqlansin?

5. Tarkibiga oltingugurt kirishma atomlari legirlangan yarimo'tkazgichli germaniy kristallining $T=300 \text{ K}$ xona haroratidagi solishtirma elektr qarshiligi topilsin?. Kristal hajmiga legirlangan donor kirishmalar konsentratsiyasi $N_d = 2 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}$, elektronlarning harakatchanligi $\mu_n=0,8 \frac{\text{m}^2}{\text{V}\cdot\text{s}}$.

6. Yarimo'tkazgich materialida $T=300 \text{ K}$ xona haroratida xususiy zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi $n_i \approx 2,2 \cdot 10^{19} \text{ m}^{-3}$, valent zonada kovaklar va o'tkazuvchanlik zonasida elektronlarni massasi effektiv holat zichliklari mos ravishda $m_c=1,05 m_0$, $m_v=0,58 m_0$ bo'lsa, yarimo'tkazgich materialining taqiqlangan zona kengligi topilsin?

7. Tarkibiga oltingugurt kirishma atomlari legirlangan yarimo'tkazgichli kremniy monokristallining $T=300 \text{ K}$ xona haroratidagi solishtirma elektr qarshiligi aniqlansin?. Kristal hajmiga legirlangan donor kirishmalar konsentratsiyasi $N_d = 2,5 \cdot 10^{19} \text{ m}^{-3}$, elektronlarning kremniydagi harakatchanligi $\mu_n=1450 \frac{\text{sm}^2}{\text{V}\cdot\text{s}}$.

8. Kremniy va germani materiallarida $T=300 \text{ K}$ xona harorati sharoitida xususiy zaryad tashuvchi zarrachalarning konsentratsiyalari va harakatchanliklari mos ravishda

$n_{iSi} \approx 4,4 \cdot 10^{11} \text{ m}^{-3}$, $n_{iGe} \approx 4,4 \cdot 10^{11} \text{ m}^{-3}$, $n_i = 2,8 \cdot 10^{20} \text{ m}^{-3}$, $\mu_{nSi}=0,145 \frac{\text{m}^2}{\text{V}\cdot\text{s}}$, $\mu_{pSi}=0,05 \frac{\text{m}^2}{\text{V}\cdot\text{s}}$, $\mu_{nGe}=0,36 \frac{\text{m}^2}{\text{V}\cdot\text{s}}$, $\mu_{Ge}=0,19 \frac{\text{m}^2}{\text{V}\cdot\text{s}}$ bo'lsa, materiallarni solishtirma elektr qarshiliklarining nisbati topilsin?

9. Me'yoriy sharoitda $T=300 \text{ K}$ xona haroratida kremniy materialining solishtirma elektr qarshiligi $\rho = 10^5 \text{ Om}\cdot\text{sm}$, bo'lsa, uning tarkibiga fosfor atomlarini legirlash natijasida donorlar

konsentratsiyasi $N_D = 10^{17} \text{ sm}^{-3}$ bo'lib, har bir donorga bitta elektron mos keladi deb hisoblab, materialning solishtirma elektr qarshiligidan necha marta o'zgarishi aniqlansin?

10. Kremniy va germaniy yarimo'tkazgich materiallarining tarkibiga kimyoviy elementlar jadvalining uchinchi guruh elementi hisoblangan B kirishma atomlarini $N_B = 10^{16} \text{ sm}^{-3}$ konsentratsiyada kiritilishi natijasida materiallarning normal sharoitda solishtirma elektr o'tkazuvchanligining necha marta o'zgarishi aniqlansin?

Mavzuga oid nazorat savollari

1. Yarimo'tkazgichli materiallarning xususiy o'tkazuvchanligida elektron-kovak juftlarining hosil bo'lishi jarayonlarining mexanizmini tushuntiring?

2. Yarimo'tkazgich materiallarida kirishma atomlarining donor yoki akseptor xususiyatiga ega bo'lishi kirishma atomlarining qaysi parametriga bog'liq?

3. Yarimo'tkazgich materiallarining taqiqlangan zonasi kengligining fizik ma'nosini tushuntiring?

4. Zaryad tashuvchi zarrachalarning massasini effektiv holati zichligi deyilganda nimani tushundingiz?

5. Yarimo'tkazgichli materiallarning kirishmali donor va akseptor hamda xususiy elektr o'tkazuvchanliklarining farqini tushuntiring va amaliy ahamiyatini izohlab bering?

6. Yarimo'tkazgich materiallarida kovakli elektr o'tkazuvchanlik hosil qilinishining fizik mexanizmini tushuntiring?

7. Yarimo'tkazgich materiallarida elektronli elektr o'tkazuvchanlik hosil qilinishining fizik mexanizmini tushuntiring?

8. Yarimo'tkazgich materiallarining solishtirma elektr o'tkazuvchanligi harorat ortib borishi bilan qanday o'zgarishini tushuntiring?

9. Me'yoriy sharoitda yarimo'tkazgich materiallarining solishtirma elektr qarshiligi asosan qaysi parametrlarga bog'liq bo'ladi?

10. Kirishma atomlarining zaryad holati deganda nimani tushundingiz va uning amaliy ahamiyati nimalardan iborat ekan?

4.3. Yarim o'tkazgich materiallarida p-n o'tkazuvchanlik xususiyatlari

➤ Yarim o'tkazgichlarda $p-n$ o'tishni asosiy tavsiflovchi kattaliklardan u_k –kontakt potentsiallari farqi bo'lib, matematik jihatidan quyidagi $u_k = \varphi_n - \varphi_p$ (4.1) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda φ_n –kattalik manfiy hajmiy zaryadlarning potentsiali, φ_p – musbat hajmiy zaryadlarning potentsiali.

➤ Kontakt potentsiallari farqi: $u_k = \frac{kT}{q} \cdot \ln \frac{n_n}{n_p} = \frac{kT}{q} \cdot \ln \frac{p_p}{p_n}$ (4.2), bu yerda n_n va n_p –mos ravishda n va p sohadagi elektronlar konsentratsiyasi, p_p va p_n , p va n sohadagi kovaklar konsentratsiyasi.

➤ $p-n$ o'tishda diffuzion tok eksponensial qonuniyatga asosan o'zgaradi, ya'ni: $i_d = I_0 \cdot \exp \left[\frac{q \cdot u_0}{kT} \right]$ (4.3), bu yerda $q \cdot u_0$ – kattalik potentsial to'siqning balandligini ifodalaydi.

➤ $p-n$ o'tishning volt amper xarakteristikasi (VAX) matematik jihatidan quyidagi $I = I_0 \left[\exp \left(\pm \frac{q \cdot u_0}{kT} \right) - 1 \right]$ (4.4) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda $\pm$ ishora to'g'ri va teskari kuchlanish berilgan holatlarni ifodalaydi.

➤ $p-n$ o'tishni asosiy tavsiflovchi kattaliklardan biri hisoblangan differensial qarshilik: $R_d = \frac{du}{di}$ (4.5) tenglama bilan ifodalanadi, agar $p-n$ o'tishga to'g'ri kuchlanish berilsa, $I \gg I_0$ bo'lib, (4.5) tenglamani quyidagi shaklda ifodalashimiz mumkin: $R_d = \frac{kT}{I \cdot q}$ (3.6).

Masalalarni yechish namunalari

Masala

Germaniy materiali asosida tayyorlangan $p-n$ o'tishida donor va akseptorlar konsentratsiyasi $N_d = 10^{13} N_a$ bo'lib, germaniy atomlarining 10^8 ta soniga bitta akseptor kirishma atomi mos kelgan bo'lsa, $T = 300 K$ haroratda kontakt potentsiallari farqi topilsin?

Germaniy monokristallining xususiy zaryad tashuvchilari konsentratsiyasi $n_i = 2,5 \cdot 10^{19} m^{-3}$.

Berilgan:

$$N_d = 10^{13} N_a; n_i = 2,5 \cdot 10^{19} m^{-3}; k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K};$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} KJ; T = 300 K.$$

Topish kerak: $\varphi_k = ?$

Yechish:

Germaniy monokristallida atomlar konsentratsiyasi $N = 4,4 \cdot 10^{28} m^{-3}$ ekanligini hisobga olsak, u holda masalaning shartiga ko'ra akseptor kirishma atomlari konsentratsiyasi: $N_a = \frac{N}{10^8} = \frac{4,4 \cdot 10^{28}}{10^8} = 4,4 \cdot 10^{20} m^{-3}$, ekanligini aniqlaymiz. Binobarin, donor kirishma atomlari konsentratsiyasi masalaning shartiga ko'ra:

$$N_d = 10^3 N_a = 10^3 \cdot 4,4 \cdot 10^{20} = 4,4 \cdot 10^{23} m^{-3}.$$

p-n o'tishida kontakt potentsiallari farqining $\varphi_k = \frac{KT}{e} \cdot \ln \frac{N_a \cdot N_d}{n_i^2}$ tenglamasiga asosan:

$$\varphi_k = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{1,6 \cdot 10^{-19}} \cdot \ln \frac{4,4 \cdot 10^{20} \cdot 4,4 \cdot 10^{23}}{2,5^2 \cdot 10^{38}} \approx 0,0258 \cdot 12,64 \approx 0,326 V.$$

Javob: $\varphi_k = 0,326 V$

Masala

Kremniy monokristalli asosida tayyorlangan p-n o'tishida donor va akseptorlar konsentratsiyasi $N_d = 10^3 N$ bo'lib, kremniy atomlarining 10^8 ta soniga bitta akseptor kirishma atomi mos kelgan bo'lsa, $T = 300 K$ haroratda kontakt potentsiallari farqi topilsin?

Kremniy monokristallining xususiy zaryad tashuvchilari konsentratsiyasi $n_i = 5 \cdot 10^{28} m^{-3}$

Berilgan:

$$N_d = 10^3 N_a; n_i = 5 \cdot 10^{28} m^{-3}; k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K};$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} KJ; T = 300 K.$$

Topish kerak: $\varphi_k = ?$

Yechish:

Kremniy monokristallida atomlar konsentratsiyasini $n_i = 5 \cdot 10^{28} m^{-3}$ ekanligini e'tiborga olsak, masalaning shartida bayon etilishga muvofiq akseptor kirishma atomlar konsentratsiyasi $N_a = \frac{n_i}{10^8}$
(1) tenglamaga asosan:

$$N_a = \frac{n_i}{10^8} = \frac{5 \cdot 10^{28}}{10^8} = 5 \cdot 10^{20} \text{ m}^{-3}.$$

U holda, donor kirishma atomlari konsentratsiyasi $N_d = 10^3 N_a$ tenglamaga muvofiq: $N_d = 10^3 N_a = 10^3 \cdot 5 \cdot 10^{20} \text{ m}^{-3} = 5 \cdot 10^{23} \text{ m}^{-3}$. Kontakt potentsiallari farqining $\varphi_k = \frac{KT}{e} \cdot \ln \frac{N_a \cdot N_d}{n_i^2}$ tenglamasiga asosan:

$$\varphi_k = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{1,6 \cdot 10^{-19}} \cdot \ln \frac{5 \cdot 10^{20} \cdot 5 \cdot 10^{23}}{(5 \cdot 10^{28})^2} \approx 0,0258 \cdot 28,5 \approx 0,73 \text{ V}.$$

Javob: $\varphi_k \approx 0,73 \text{ V}$

Masala

Germaniy materiali asosida tayyorlangan p - n o'tishining p va n sohalarining solishtirma qarshiliklari mos ravishda $P_p = 0,02 \text{ Om} \cdot \text{m}$, $P_n = 0,01 \text{ Om} \cdot \text{m}$ bo'lsa, $T = 300 \text{ K}$ haroratda kontakt potentsiallari farqi topilsin?

Germaniy kristallida elektronlar va kovaklarning harakatchanliklari mos ravishda

$$\mu_n = 0,39 \frac{\text{m}^2}{\text{V} \cdot \text{s}}, \quad \mu_p = 0,19 \frac{\text{m}^2}{\text{V} \cdot \text{s}}.$$

Berilgan:

$$P_p = 0,02 \text{ Om} \cdot \text{m}; \quad P_n = 0,01 \text{ Om} \cdot \text{m}; \quad T = 300 \text{ K}; \quad n_i = 5 \cdot 10^{28} \text{ m}^{-3};$$

$$\mu_n = 0,39 \frac{\text{m}^2}{\text{V} \cdot \text{s}}; \quad \mu_p = 0,19 \frac{\text{m}^2}{\text{V} \cdot \text{s}}; \quad k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}; \quad e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}.$$

Topish kerak: $\varphi_k = ?$

Yechish:

Masalaning shartida bayon etilishiga ko'ra p - sohaning solishtirma qarshiligi quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$\rho_n = \frac{1}{\sigma_n} = \frac{1}{e \cdot n \cdot \mu_n} = \frac{1}{e \cdot N_a \cdot \mu_n} \quad (1).$$

Tenglamadagi N_a - akseptor kirishma atomlari konsentratsiyasi, μ_n - kovaklarning germaniy monokristallida harakatchanligi. (1) tenglamadan N_a - akseptor kirishma atomlari konsentratsiyasini quyidagicha aniqlaymiz:

$$N_a = \frac{1}{e \cdot \rho_p \cdot \mu_p} = \frac{1}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,02 \cdot 0,19} \approx 1,64 \cdot 10^{21} \text{ m}^{-3}.$$

Huddi shuningdek, donor kirishma atomlari konsentratsiyasini aniqlaymiz:

$$N_d = \frac{1}{e \cdot \rho_n \cdot \mu_n} = \frac{1}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,01 \cdot 0,39} \approx 1,6 \cdot 10^{21} \text{ m}^{-3}.$$

U holda, p - n o'tishning kontakt potentsiallari farqini ifodalovchi $\varphi_k = \frac{KT}{e} \cdot \ln \frac{N_a \cdot N_d}{n_i^2}$ (2) tenglamasiga asosan quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$\varphi_k = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{1,6 \cdot 10^{-19}} \cdot \ln \frac{1,64 \cdot 10^{21} \cdot 1,6 \cdot 10^{21}}{(5 \cdot 10^{28})^2} \approx 0,21 \text{ V}.$$

Javob: $\varphi_k \approx 0,21 \text{ V}$.

Masala

p - n o'tishga $T_1 = 273 \text{ K}$ haroratda $U = 1 \text{ V}$ to'g'ri kuchlanish berildi. Agarda harorat $T_2 = 300 \text{ K}$ ga oshirilsa, p - n o'tish orqali o'tayotgan tok kuchi necha marta o'zgaradi?

Berilgan:

$$T_1 = 273 \text{ K}; T_2 = 300 \text{ K}; k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}; e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}; U = 1 \text{ V}.$$

$$\text{Topish kerak: } \frac{I_2}{I_1} = ?$$

Yechish:

Umumiy holda p - n o'tish orqali o'tayotgan tok kuchi: $I = I_0 \left[\exp \left(\frac{e \cdot U}{kT} \right) - 1 \right]$ (1) tenglama bilan ifodalanadi.

Masalaning shartiga ko'ra (1) tenglamani T_1 va T_2 haroratlar uchun quyidagi shaklda ifodalaymiz:

$I = I_0 \left[\exp \left(\frac{e \cdot U}{kT_1} \right) - 1 \right]$ (2) $I = I_0 \left[\exp \left(\frac{e \cdot U}{kT_2} \right) - 1 \right]$ (3). Endi (2) va (3) tenglamalarni o'ng va chap tomonlarini hadma-had bo'lib, tok kuchlarining nisbatini ifodalovchi tenglamani hosil qilamiz va tegishli matematik amallarni bajarib, soddalashtiramiz:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{I_0 \left[\exp \left(\frac{e \cdot U}{kT_1} \right) - 1 \right]}{I_0 \left[\exp \left(\frac{e \cdot U}{kT_2} \right) - 1 \right]} = \exp \left[\frac{e \cdot U}{k} \cdot \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \right] \quad (4).$$

Tenglamadagi kattaliklarni masalaning shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib T_1 va T_2

haroratlarga mos keluvchi tok kuchlarining $\frac{I_2}{I_1}$ — nisbatini quyidagicha aniqlaymiz:

$$\frac{I_2}{I_1} = \exp \left[\frac{e \cdot U}{k} \cdot \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \right] = \exp \left[\frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1}{1,38 \cdot 10^{-23}} \left(\frac{1}{273} - \frac{1}{373} \right) \right] \approx 47,5.$$

Javob: $\frac{I_2}{I_1} \approx 47,5.$

Masala

Yuqori teskari kuchlanishli p - n o'tishda $T=300$ K xona haroratida tok kuchi $I_0=2 \cdot 10^7$ A bo'lsa, p - n o'tishning $U=0,1$ V to'g'ri kuchlanishida tok kuchi topilsin?

Berilgan:

$$T=300 \text{ K}; I_0=2 \cdot 10^7 \text{ A}; U=0,1 \text{ V}.$$

Topish kerak: $\frac{I_2}{I_1}=?$

Yechish:

Yuqori teskari kuchlanish berilganda p - n o'tish orqali teskari to'yinish toki oqadi. Masalaning shartida bayon etilishiga muvofiq, bu holda $I=I_0 \left[e^{\frac{U}{\varphi_t}} - 1 \right]$ (1) tenglamadan foydalanamiz. Tenglamadagi φ_t -kattalik termodinamik potensial bo'lib, $\varphi_t = \frac{kT}{e}$ (2) uning $T=300$ K xona haroratdagi son qiymatini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$\varphi_t = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{1,6 \cdot 10^{-19}} \approx 0,0258 \text{ V}.$$

Ushbu holatda (1) tenglamadagi kattaliklarning masalani shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, to'g'ri kuchlanish berilganda p - n o'tish orkali o'taganda tok uchini aniqlaymiz:

$$I = 2 \cdot 10^{-7} \text{ A} \cdot \left[e^{\frac{1}{0,0258}} - 1 \right] \approx 9,6 \cdot 10^{-6} \text{ A}.$$

Javob: $I \approx 9,6 \cdot 10^{-6} \text{ A}.$

Masala

Yarim o'tkazgichli diodning $T=300\text{ K}$ haroratda teskari toki $I_0=1\text{ mA}$ bo'lsa, diodning qarshiligi va $U=150\text{ mV}$ to'g'ri kuchlanishda R_{dif} — diffrensial qarshiligi aniqlansin?

Berilgan:

$$T=300\text{ K}; I_0=1\text{ mA}; U=150\text{ mV}.$$

Topish kerak: $R_{dif}=?$

Yechish:

Yuqori teskari kuchlanish berilganda p-n o'tish orqali teskari to'yinish toki oqadi. Masalaning shartida bayon etilishiga muvofiq, bu holda $I = I_0 \left[e^{\frac{U}{\varphi_t}} - 1 \right]$ (1) tenglamadan foydalanamiz.

Diod orqali o'tayotgan tok kuchini to'g'ri kuchlanish berilganda $I=I_0 \left[e^{\frac{U}{\varphi_t}} - 1 \right]$ (1) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda φ_t — kattalik termodinamik potensial deb yuritiladi va uning son qiymati:

$$\varphi_t = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{1,6 \cdot 10^{-19}} \approx 0,0258\text{ V}.$$

U holda, diodning qarshiligi: $R_0 = \frac{U}{I}$ (2) tenglamaga asosan:

$$R_0 = \frac{0,150 \cdot 10^{-3}}{326,5 \cdot 10^{-6}} \approx 560\text{ Ohm}.$$

Deffrensial qarshiligini (1) tenglamani deffrensiallash bilan topamiz, ya'ni:

$$R_d = \frac{dU}{dI} = \frac{\varphi_t}{I + I_0} \quad (3).$$

To'g'ri kuchlanishning $U=150\text{ mV}$ qiymatida $I \gg I_0$ ekanligi sababli, (3) tenglamani quyidagi shaklda ifodalashimiz mumkin:

$$R_d = \frac{\varphi_t}{I} = \frac{25,8 \cdot 10^{-3}}{326,5 \cdot 10^{-6}} \approx 79,3\text{ Ohm}.$$

Javob: $R_d \approx 79,3\text{ Ohm}$.

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Kremniy materiali asosida tayyorlangan p-n o'tishida $T=300\text{ K}$ haroratda kontakt potentsiallari farqi $\varphi_k=0,42\text{ V}$, donor va akseptorlar

konsentratsiyasi $N_d=10^3 N_a$ bo'lib, kremniy atomlarining 10^9 ta soniga bitta akseptor kirishma atomi mos kelgan bo'lsa, kremniy monokristallining xususiy zaryad tashuvchilari konsentratsiyasi topilsin?

2. Germaniy materiali asosida tayyorlangan $p-n$ o'tishining p va n sohalarining solishtirma elektr qarshiliklari mos ravishda $P_p=0,02 \text{ Omm}$, $P_n=0,01 \text{ Omm}$ bo'lsa, $T=300 \text{ K}$ haroratda kontakt potentsiallari farqi $\varphi_k \approx 0,24 \text{ V}$ bo'lsa, germaniy monokristallining xususiy zaryad tashuvchilari konsentratsiyasi topilsin?. Germaniy kristallida elektronlar va kovaklarning harakatchanliklari mos ravishda

$$\mu_n=0,39 \frac{m^2}{V \cdot S}, \quad \mu_p=0,19 \frac{m^2}{V \cdot S}.$$

3. $p-n$ o'tishga $T_1=273 \text{ K}$ haroratda $U=1 \text{ V}$ to'g'ri kuchlanish berildi. Agarda berilgan kuchlanishning qiymatida tok kuchi 4 marta ortgan bo'lsa, harorat qanday o'zgargan?

4. Kremniy monokristalli asosida tayyorlangan $p-n$ o'tishning p va n – sohalarida to'la ionlashgan akseptor va donor kirishma atomlarining konsentratsiyasi $N_a=10^{22} \text{ m}^{-3}$ va $N_d=1,2 \cdot 10^{20} \text{ m}^{-3}$ bo'lsa, $T_1=350 \text{ K}$ hamda $T_2=150 \text{ K}$ haroratlarda kontakt potentsiallari farqi qanday qiymatlarga ega bo'ladi?

5. $p-n$ o'tishning $U=0,1 \text{ V}$ to'g'ri kuchlanishida tok kuchi $I = 8 \cdot 10^{-6} \text{ A}$ бўлса, yuqori teskari kuchlanishli $p-n$ o'tishda $T=300 \text{ K}$ xona haroratida tok kuchi topilsin?

6. Yarim o'tkazgichli diodning $T=300 \text{ K}$ haroratda teskari toki $I_0=1 \text{ mA}$ bo'lsa, diodning qarshiligi va $U=150 \text{ mV}$ to'g'ri kuchlanishda differensial qarshiligi $R_d=82 \text{ Omm}$ bo'lsa, to'g'ri tok kuchi aniqlansin?

7. Kremniy monokristalli asosida tayyorlangan $p-n$ o'tishga $T=300 \text{ K}$ haroratda $U=0,5 \text{ V}$ to'g'ri kuchlanish berilgan bo'lib, $p-n$ o'tishning yuzasi $S = 2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$, teskari tok zichligi $J = 2 \text{ A/m}^2$ bo'lsa, $p-n$ o'tishni differensial qarshiligi topilsin?

8. Germaniy materiali asosida tayyorlangan $p-n$ o'tishga $T=300 \text{ K}$ haroratda $U=1,5 \text{ V}$ to'g'ri kuchlanish berilgan bo'lib, $p-n$ o'tishning yuzasi $S = 4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$, differensial qarshiligi $r_d = 450 \text{ Omm}$ bo'lsa, tok zichligi aniqlansin?

9. Agarda me'yoriy sharoitda metall-yarimo'tkazgich kontakti uchun teskari tok zichligi $J = 1,2 \text{ A/m}^2$ bo'lsa, $T=300 \text{ K}$ haroratda $U=0,8 \text{ V}$ to'g'ri kuchlanish berilsa, kontakt orqali oqib o'tadigan tok kuchi aniqlansin?

10. Kremnili p - n o'tishning yuzasi $S = 2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$, $T = 300 \text{ K}$ haroratda teskari tok zichligi $J = 2 \text{ A/m}^2$, differensial qarshiligi $r_d = 420 \text{ Om}$ bo'lsa, p - n o'tishga qanday kuchlanish berilganligi aniqlansin?

Mavzuga oid nazorat savollari

1. Diodda to'g'ri va teskari o'tish deganda nima tushuniladi?
2. Diodda potensial to'liqning hosil bo'lishining fizik mexanizmini tushantiring?
3. Diodning asosiy xususiyati nimadan iborat?
4. Potensial to'liqning balandligi qanday kattaliklarga bog'liq?
5. Diodning teshilishi deganda nimani tushundingiz?
6. Diodlarning qanday turlarini bilasiz?
7. To'g'rilagich diodlarining asosiy vazifasi nimadan iborat?
8. Diodlarning sifati qaysi parametriga nisbatan baholanadi?
9. Kirishma atomlari konsentratsiyasi ortib borishi bilan potensial to'liqning balandligi qanday o'zgaradi?
10. Diodlarda teskari tokning qiymati asosan qaysi kattaliklar bilan aniqlanadi?

V-BOB. MAGNIT MATERIALLARI

5.1. Magnit maydoni ta'sirida magnit materiallar

➤ Materiallarning nisbiy magnit singdiruvchanligi B – magnit induksiyasining H – magnit maydon kuchlanganligiga nisbati bilan aniqlanadi: $\mu = \frac{B}{\mu_0 \cdot H}$ (5.1).

➤ Magnit maydoniga joylashtirilgan har qanday moddaga M – magnit momenti ta'sir etishi natijasida magnitlanadi: $j_m = \frac{M}{V}$ (5.2) bu yerda j_m – kattalik magnitlanganlik deyiladi.

➤ Magnitlanganlik: $j_m = \chi \cdot H$ (5.3) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda χ – kattalik magnit qabul qiluvchanlik deb ataladi.

➤ Tashqi magnit maydonida joylashtirilgan moddada natijaviy magnit maydon induksiya vektori:

$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}_t = \mu_0 \cdot \vec{H} + \mu_0 \cdot j_m = \mu_0 \cdot H(1 + \chi)$ (5.4) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Gn}}{\text{m}}$.

➤ $\mu = 1 + \chi$ (5.5) kattalik magnit singdiruvchanlik deb ataladi;

Masalalarni yechish namunalari

Masala

O'zaksiz solenoid ichidagi magnit maydon kuchlanganligi

$H = 2,5 \cdot 10^4 \frac{\text{A}}{\text{m}}$ bo'lsa, uning ichiga magnit singdiruvchanligi $\mu = 200$, yuzasi $S = 20 \text{ sm}^2$ bo'lgan nikel o'zak joylashtirilgandan so'ng, o'zakdagi magnit maydonining induksiyasi va oqimi topilsin?

Berilgan:

$$\mu = 200; H = 2,5 \cdot 10^4 \frac{\text{A}}{\text{m}}; S = 20 \text{ sm}^2 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2;$$

$$\mu_0 = 12,56 \cdot 10^{-7} \frac{\text{Gn}}{\text{m}}$$

Topish kerak: $B = ?$, $F_B = ?$

Yechish:

Magnit maydon kuchlanganligi va induksiya vektori orasidagi bog'lanishni ifodalovchi $B = \mu \cdot \mu_0 \cdot H$ (1) tenglamadan kattaliklarning

masala shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, magnit maydoni induksiyasi vektorini quyidagicha aniqlaymiz:

$$B = 200 \cdot 12,56 \cdot 10^{-7} \cdot 2,5 \cdot 10^4 \approx 0,63 \text{ Tl.}$$

U holda magnit maydon induksiyasi vektori va uning oqimini o'zaro bog'lanishini ifodalovchi $F_B = B \cdot S$ (2) tenglamadan magnit maydon induksiyasi oqimini aniqlashimiz mumkin:

$$F_B = B \cdot S = 0,63 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 1,26 \cdot 10^{-3} \text{ Vb.}$$

$$\text{Javob: } F_B = 1,26 \cdot 10^{-3} \text{ Vb.}$$

Masala

Tokli solenoidning nikel o'zagining kesimi yuzasi $S = 30 \text{ sm}^2$, o'zak orqali o'tgan magnit induksiya oqimi $F_B = 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ Vb}$, solenoid ichidagi magnit maydoni bir jinsli va maydon kuchlanganligi $H = 3 \cdot 10^4 \frac{\text{A}}{\text{m}}$ bo'lsa, nikel o'zakning nisbiy magnit singdiruvchanligi topilsin?

Berilgan:

$$H = 3 \cdot 10^4 \frac{\text{A}}{\text{m}}; S = 30 \text{ sm}^2 = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2;$$

$$\mu_0 = 12,56 \cdot 10^{-7} \frac{\text{Gn}}{\text{m}}; F_B = 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ Vb}$$

Topish kerak: $\mu = ?$

Yechish:

Masalaning shartiga ko'ra solenoid o'zagining ko'ndalang kesimi orqali oqib o'tuvchi magnit induksiyasi oqimi $F_B = B \cdot S = \mu \cdot \mu_0 \cdot H \cdot S$ (1) tenglama bilan ifodalanadi.

Yuqorida keltirilgan (1) tenglamadan solenoid o'zagining nisbiy magnit singdiruvchanligini ifodalovchi quyidagi tenglamani keltirib chiqarishimiz mumkin:

$$\mu = \frac{F_B}{\mu_0 \cdot H \cdot S} \quad (2).$$

Tenglamadagi kattaliklarning masala shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, solenoid o'zagi tayyorlangan materialning nisbiy magnit singdiruvchanligini quyidagicha aniqlaymiz:

$$\mu = \frac{F_B}{\mu_0 \cdot H \cdot S} = \frac{1,3 \cdot 10^{-2}}{12,56 \cdot 10^{-7} \cdot 3 \cdot 10^4 \cdot 3 \cdot 10^{-3}} \approx 345$$

$$\text{Javob: } \mu \approx 345.$$

Masala

Magnit o'zaksiz induktiv g'altakning ichidagi magnit maydonining induksiyasi $B_0 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ Tl}$ bo'lsa, uning ichiga magnit singdiruvchanligi $\mu=800$, kesimi yuzasi $S = 10 \text{ sm}^2$ bo'lgan nikel materialidan tayyorlangan o'zak kiritilsa, o'zakning ichida magnit induksiyasi va undan oqib o'tayotgan magnit induksiya oqimi topilsin?

Berilgan:

$$B_0 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ Tl}; S = 10 \text{ sm}^2 = 10^{-3} \text{ m}^2; \mu=800.$$

Topish kerak: $B=?$; $F_B=?$

Yechish:

Ma'lumki, har qanday magnitik muhit o'zining xususiy magnit singdiruvchanligi bilan tavsiflanadi va amalda biror bir magnitik muhitda magnit maydonining induksiyasi vakuumdagiga nisbatan μ – martaga o'zgaradi. Ushbu jarayon $B = \mu \cdot B_0$ (1) tenglama bilan ifodalanadi. Tenglamadagi kattaliklarning masalani shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, nikel materialidan tayyorlangan o'zakning ichidagi magnit maydon induksiyasini aniqlashimiz mumkin:

$$B = \mu \cdot B_0 = 800 \cdot 2 \cdot 10^{-4} = 16 \cdot 10^{-2} \text{ Tl}.$$

U holda o'zak orqali o'tayotgan magnit induksiyasi oqimini $F_B = B \cdot S$ (2) tenglamadan aniqlashimiz mumkin:

$$F_B = B \cdot S = 16 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-3} = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ Vb}.$$

$$\text{Javob: } B = 16 \cdot 10^{-2} \text{ Tl. } F_B = 1,26 \cdot 10^{-3} \text{ Vb}.$$

Masala

Solenoidning o'ramlari soni $N = 1000$ ta bo'lib, cho'lg'ami orqali oqib o'tayotgan tok kuchi $I = 2 \text{ A}$, ko'ndalang kesimi orqali o'tayotgan magnit oqimi $F_B = 0,1 \text{ mVb}$ bo'lsa, cho'lg'amdagi magnit maydonining energiyasi topilsin?

Berilgan:

$$N = 1000; I = 2 \text{ A}; F_B = 0,1 \text{ mVb} = 10^{-4} \text{ Vb}.$$

Topish kerak: $W_M=?$

Yechish:

Solenoid g'altakning cho'lg'ami orqali elektr toki o'tishi natijasida hosil bo'ladigan magnit maydoni energiyasi, g'altakning induktivligi va

cho'lg'am orqali oqib o'tayotgan tok kuchiga tok ga bog'liq bo'lib

$W_M = \frac{LI^2}{2}$ (1) tenglama bilan ifodalanadi. Bu yerda L -kattalik solenoid

g'altakning induktivligi bo'lib, quyidagicha ifodalanadi: $L = \frac{N \cdot F_B}{I}$ (2).

Ushbu ifodani (1) tenglamaga qo'yib, magnit maydon energiyasining

quyidagi ifodasini hosil qilamiz: $W_M = \frac{N \cdot F_B}{I} \cdot \frac{I^2}{2} = \frac{N \cdot F_B \cdot I}{2}$ (3).

Tenglamadagi kattaliklarning masala shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, magnit maydon energiyasini quyidagicha aniqlaymiz:

$$W_M = \frac{N \cdot F_B \cdot I}{2} = \frac{1000 \cdot 10^{-4} \cdot 4}{2} = 0,2 \text{ J.}$$

Javob: $W_M = 0,2 \text{ J.}$

Masala

Magnit maydon induksiyasi $B = 2 \text{ Tl}$ bo'lganda temir o'zakdagi magnit maydoni energiyasining zichligi $\varpi_M = 2000 \frac{\text{J}}{\text{m}^3}$ bo'lsa, temirning magnit singdiruvchanligi topilsin?

Berilgan:

$$B = 2 \text{ Tl}; \varpi_M = 2000 \frac{\text{J}}{\text{m}^3}; \mu_0 = 12,56 \cdot 10^{-7} \frac{\text{Gn}}{\text{m}}.$$

Topish kerak: $\mu = ?$

Yechish:

Magnit maydon energiyasi zichligi birlik hajmga mos keluvchi energiya miqdorini tavsiflovchi kattalik bo'lib, magnit induksiyasi va muhitning magnit singdiruvchanligiga bog'liq bo'ladi va quyidagi

$$\varpi_M = \frac{W_M}{V} = \frac{B^2}{2 \cdot \mu \cdot \mu_0} \quad (1) \text{ tenglama bilan ifodalanadi. Yuqorida}$$

keltirilgan (1) tenglamadan temir moddasining magnit singdiruvchanligini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$\mu = \frac{B^2}{2 \cdot \mu_0 \cdot \varpi_M} = \frac{2^2}{2 \cdot 12,56 \cdot 10^{-7} \cdot 2000} = 796.$$

Javob: $\mu = 796.$

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. O'zaksiz solenoid ichidagi magnit maydon kuchlananligi $H = 2 \cdot 10^4 \frac{A}{m}$ bo'lib, uning ichiga magnit singdiruvchanligi $\mu = 200$ bo'lgan mis o'tkazgichdan tayyorlangan o'zak joylashtirilgandan so'ng, o'zakdagi magnit maydonining induksiya oqimi $F_B = 1,3 \cdot 10^{-3} Vb$ bo'lsa, o'zakning kesimi yuzasi topilsin?

2. Tokli solenoidni nikel o'zagining nisbiy magnit singdiruvchanligi $\mu \approx 360$, ko'ndalang kesimi yuzasi $S = 16 \text{ sm}^2$, o'zak orqali o'tgan magnit induksiya oqimi $F_B = 2 \cdot 10^{-2} Vb$ bo'lsa solenoid ichidagi magnit maydoni kuchlanganligi topilsin?

3. Magnit o'zaksiz toroidal g'altakning ichidagi magnit maydonining induksiya $B_0 = 1,5 \cdot 10^{-4} Tl$ bo'lsa, uning ichiga magnit singdiruvchanligi $\mu = 500$, kesimi yuzasi $S = 12 \text{ sm}^2$ bo'lgan temir materialidan tayyorlangan o'zak kiritilsa, o'zakning ichidan oqib o'tayotgan magnit induksiya oqimi topilsin?

4. Solenoidning o'ramlari soni $N = 1200$ ta bo'lib, cho'lg'ami orqali oqib o'tayotgan tok kuchi $I = 3 A$, cho'lg'amdagi magnit maydonining energiyasi $W_M = 0,2 J$ bo'lsa, ko'ndalang kesimi orqali o'tayotgan magnit oqimi topilsin?

5. Magnit maydon induksiya $B = 1 Tl$ bo'lganda nikel o'zakning magnit singdiruvchanligi $\mu = 750$ bo'lsa, magnit maydoni energiyasining zichligi topilsin?

6. Manganinning magnit qabul qiluvchanligi $\chi = 1,2 \cdot 10^{-4}$. Magnit maydoni kuchlanganligi $H = 2 \cdot 10^6 \frac{A}{m}$ bo'lganida manganinning magnitlanishi hisoblansin?

7. Agarda magnitik moddaning har bir atomining magnit momenti Bor magnetoniga va ularning zichligi $\rho_Z = 1,2 \cdot 10^{28} m^3$ bo'lsa, magnitik moddaning to'yinish holatida magnitlanishi aniqlansin?

8. Magnit maydoni kuchlanganligi $H = 2 \cdot 10^6 \frac{A}{m}$ bo'lgan magnit maydonida joylashtirilgan manganin moddasining magnitlanganligi $j_m = 0,24 \frac{j}{A \cdot m^2}$ bo'lsa, manganinning magnit qabul qiluvchanligi aniqlansin?

9. O'zaksiz solenoid ichidagi magnit maydon kuchlananligi $H = 5 \cdot 10^4 \frac{A}{m}$ bo'lib, uning ichiga magnit singdiruvchanligi $\mu = 250$ bo'lgan mis o'tkazgichdan tayyorlangan o'zak joylashtirildi. Agarda

o'zakning kesimi yuzasi $S = 15 \text{ sm}^2$ bo'lsa, o'zakdagi magnit maydonining induksiyasi oqimi hisoblansin?

10. Tokli solenoidni nikel o'zagining ko'ndalang kesimi yuzasi $S = 12 \text{ sm}^2$, o'zak orqali o'tgan magnit induksiya oqimi $F_B = 2 \cdot 10^{-2} \text{ Vb}$, solenoid ichidagi magnit maydoni kuchlanganligi $H = 8 \cdot 10^4 \frac{\text{A}}{\text{m}}$ bo'lsa, o'zakning nisbiy magnit singdiruvchanligi aniqlansin?

Mavzuga oid nazorat savollari

1. Magnit maydoniga joylashtirilgan magnitik moddalarga magnit maydonining ta'siri mexanizmini tushuntiring?

2. Magnit moddalarga magnit maydoni tomonidan ta'sir etuvchi kuchlarning tabiatini moddaning ichki tuzilishiga bog'liqligini izohlang?

3. Magnit maydoniga joylashtirilgan magnitik moddaning ichki magnit maydoni deganda nimani tushundingiz?

4. Magnitik moddalarning magnit singdiruvchanligini fizik mohiyatini tushuntiring?

5. Moddalarning magnit singdiruvchanligini moddaning ichki tuzilishiga bog'liqligini izohlang?

6. Magnitik moddalarning qanday turlarini bilasiz va ulardan amaliyotda nima maqsadlarda foydalaniladi?

7. Magnitik moddalarni tavsiflovchi asosiy kattaliklarning fizik mohiyatini tushuntiring?

8. Magnitik moddalarning magnit qabul qiluvchanligi asosan qaysi parametrlarga bog'liq?

9. Harorat ortib borishi bilan magnitik moddalarning magnit xususiyatlari qanday o'zgaradi?

10. Magnitlanganlikning fizik mohiyatini tushuntiring?

5.2. Magnit materiallarning asosiy parametrlarini aniqlash

➤ Uzunligi l , ko'ndalang kesimi yuzasi S bo'lgan o'zakning magnit qarshiligi quyidagi $R_\mu = \frac{l}{\mu_0 \mu \cdot S}$ (5.1) tenglama bilan ifodalanadi.

➤ Magnit moddaning harorati o'zgarishi bilan magnit singdiruvchanligining o'zgarishi $T_{k\mu} = \frac{1}{\mu_t} \cdot \frac{d\mu}{dt}$ (5.2) tenglama bilan ifodalanadi.

- Magnit maydonning energiyasi:

$$W_M = \frac{LI^2}{2} = \frac{B^2}{2 \cdot \mu \cdot \mu_0} \cdot V = \frac{H \cdot B}{2} \cdot V \quad (5.3).$$

- Magnit maydon energiyasining zichligi:

$$\omega_M = \frac{W_M}{V} = \frac{B^2}{2 \cdot \mu \cdot \mu_0} = \frac{H \cdot B}{2} \quad (5.4).$$

Masalalarni yechish namunalari

Masala

Zichligi $\rho = 9,8 \cdot 10^3 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$ molyar massasi $\mu = 209 \frac{\text{kg}}{\text{Kmol}}$ bo'lgan moddaning solishtirma magnit qabul qiluvchanligi $\chi_s = 1,3 \cdot 10^{-9} \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$ bo'lsa, uning magnit qabul qiluvchanligi χ va molyar qabul qiluvchanligi χ_μ —topilsin?

Berilgan:

$$\rho = 9,8 \cdot 10^3 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}; \chi_s = 1,3 \cdot 10^{-9} \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}; \mu = 209 \frac{\text{kg}}{\text{Kmol}}.$$

Topish kerak: $\chi = ?$, $\chi_\mu = ?$

Yechish:

Umumiy holda magnit qabul qiluvchanlik $\chi = \frac{j}{H}$ (1) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda j —magnitlanganlik, H —magnit maydon kuchlanganligi. Masalaning shartida χ_s —moddaning solishtirma magnit qabul qiluvchanligi berilganligi sababli χ —magnit qabul qiluvchanligini $\chi = \chi_s \cdot \rho$ (2) tenglamadan aniqlaymiz, bu yerda ρ —moddaning zichligi. (2) tenglamaga asosan χ —magnit qabul qiluvchanlikni o'lchamsiz kattalik sifatida quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$\chi = \chi_s \cdot \rho = 1,3 \cdot 10^{-9} \cdot 9,8 \cdot 10^3 \approx 1,27 \cdot 10^{-5}.$$

Ushbu holatda moddaning molyar magnit qabul qiluvchanligi $\chi_\mu = \mu \cdot \chi_s$ (3) tenglamagadan $\chi_\mu = 209 \cdot 1,3 \cdot 10^{-9} \approx 2,72 \cdot 10^{-7} \frac{\text{m}^3}{\text{Kmol}}$.

$$\text{Javob: } \chi = 1,27 \cdot 10^{-5}; \chi_\mu = 2,72 \cdot 10^{-7} \frac{\text{m}^3}{\text{Kmol}}$$

Masala

Azot oksidi NO –molekulasining μ_L –magnit momenti $\mu_L = 1,8 \mu_B$ bo'lsa, normal sharoitda gazsimon azot oksidi moddasining solishtirma paramagnit qabul qiluvchanligi χ_s topilsin?

Berilgan:

$$\mu_L = 1,8 \mu_B; \mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{Gn}{m}; M = 30 \cdot 10^{-3} \frac{kg}{kmol}; N_A = 6,02 \cdot 10^{23};$$

$$M_B = 9,27 \cdot 10^{-24} A \cdot m^2; T = 293 K; k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}.$$

Topish kerak: $\chi_s = ?$

Yechish:

Paramagnit moddalarning magnit qabul qiluvchanligi umumiy holda $\chi = \mu_0 \frac{n \cdot \mu_L}{3kT}$ (1) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda μ_0 –magnit doimiysi, n –molekular konsentratsiyasi, k –Boltsman doimiysi, T –Absolyut harorat. Solishtirma magnit qabul qiluvchanlikning magnit qabul qiluvchanlik orqali $\chi_s = \frac{\chi}{\rho}$ (2) ifodasini (1) tenglamaga qo'yib,

quyidagi tenglikni hosil qilamiz: $\chi_s = \frac{\mu_0}{\rho} \cdot \frac{n \cdot \mu_L^2}{3kT}$ (3), bu yerda ρ –kattalik moddaning zichligi. Ushbu holatda gaz molekulari konsentratsiyasi va zichligining $n = \frac{N_A}{V_M}$ (4) $\rho = \frac{M}{V_M}$ (5) tenglamalaridan $\frac{n}{\rho} = \frac{N_A}{M}$ (6) tenglikni hosil qilamiz, bu yerda V_M –molyar hajm, M –moddaning molyar massasi. Moddaning χ_s –solishtirma paramagnit qabul qiluvchanligini (6) ifodani (3) tenglamaga qo'yish orqali quyidagicha aniqlaymiz:

$$\chi_s = \frac{N_A}{M} \cdot \mu_0 \frac{\mu_L^2}{3kT} = \frac{6,02 \cdot 10^{23} \cdot 4,314 \cdot 10^{-7} \cdot (1,8 \cdot 9,27 \cdot 10^{-24})^2}{30 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 293} \approx 5,8 \cdot 10^{-7} \frac{m^3}{kg}.$$

$$\text{Javob: } \chi_s = 5,8 \cdot 10^{-7} \frac{m^3}{kg}.$$

Masala

Marganes moddasining magnit qabul qiluvchanligini $\chi = 1,21 \cdot 10^{-4}$ deb hisoblab, kuchlanganligi $H = 100 \frac{kA}{m}$ bo'lgan magnit maydonida marganesning j –magnitlanganligi, χ_s –solishtirma va χ_μ –molyar magnitlanganliklari topilsin?

Berilgan:

$$\chi = 1,21 \cdot 10^{-4}; H = 100 \frac{kA}{m}; \rho_{mn} = 7,4 \cdot 10^3 \frac{kg}{m^3}; \mu_{mn} = 5,56 \cdot 10^3 \frac{kg}{mol}$$

Topish kerak: $\chi_s=?$ $j=?$ $\chi_\mu=?$

Yechish:

Moddalarining j –magnitlanganligi H –magnit maydon kuchlanganligiga to'g'ri proporsional bo'lib, $j=\chi \cdot H$ (1) tenglamadan marganets moddasining j –magnitlanganligini quyidagicha aniqlaymiz: $j=1,21 \cdot 10^{-4} \cdot 10^5 \approx 12,1 \frac{A}{m}$. Ushbu holatda magnitik moddaning χ_s –solishtirma magnit qabul qiluvchanligini $\chi_s=\frac{\chi}{\rho}$ (2) tenglamaga asosan quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$\chi_s = \frac{1,21}{7,4 \cdot 10^3} \approx 1,66 \cdot 10^{-3} \frac{A \cdot m^2}{kg}.$$

Moddaning χ_μ –molyar magnit qabul qiluvchanligi va χ –magnit qabul qiluvchanlik orasidagi $\chi_\mu = \frac{\mu}{\rho} \chi$ (3) bog'lanishdan χ_μ –kattaligini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$\chi_\mu = \frac{5,56 \cdot 10^3}{7,4 \cdot 10^3} \cdot 1,21 \cdot 10^{-4} \approx 91 \cdot 10^{-6} \frac{A \cdot m^2}{mol}$$

$$\text{Javob: } \chi_s = 1,66 \cdot 10^{-3} \frac{A \cdot m^2}{kg}; \quad j = 12,1 \frac{A}{m}; \quad \chi_\mu = 91 \cdot 10^{-6} \frac{A \cdot m^2}{mol}.$$

Masala

Mis moddasining magnit maydon kuchlanganligi $H=1 \frac{mA}{m}$ bo'lganda, misning solishtirma magnit qabul qiluvchanligi $\chi_s=1,2 \cdot 10^{-9} \frac{m^3}{kg}$ bo'lsa, moddaning j –magnitlanganligi va magnit induksiyasi B topilsin?

Berilgan:

$$H=1 \frac{mA}{m}=10^6 \frac{A}{m}; \quad \chi_s=1,2 \cdot 10^{-9} \frac{m^3}{kg}; \quad \rho_{Cu}=8,93 \cdot 10^3 \frac{kg}{m^3}$$

Topish kerak: $j=?$, $B=?$

Yechish:

Moddaning j –magnitlanganligi H –magnit maydon kuchlanganligiga to'g'ri proporsional bo'lib $j=\chi \cdot H$ (1) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda χ –kattalik moddaning magnit qabul qiluvchanligini solishtirma magnit qabul qiluvchanlik orqali $\chi_s=\frac{\chi}{\rho}$ (2) ifodasini (1) tenglamaga qo'yib, j –magnitlanganligini quyidagicha aniqlaymiz:

$$j = \chi_s \cdot \rho_{Cu} \cdot H = 1,2 \cdot 10^{-9} \cdot 8,93 \cdot 10^3 \cdot 10^6 \approx 10,7 \frac{A}{m}$$

Ushbu holatda, B – magnit induksiya va H – magnit maydon kuchlanganligi orasidagi $B = \mu_0 [H + j]$ (3) tenglamadan B – magnit induksiya'ni aniqlasak:

$$B = 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot [10^6 + 10,7] \approx 1,26 \text{ Tl.}$$

Javob: $j = 10,7 \frac{A}{m}$ $B = 1,26 \text{ Tl.}$

Masala

Solenoid g'altak nikel o'zagining kesimi yuzasi $S = 20 \text{ sm}^2$ bo'lib, undan o'tgan magnit induksiya oqimi $F_B = 12,5 \text{ mVb}$ bo'lsa, g'altakdagi magnit maydon kuchlanganligini $H = 2,5 \cdot 10^4 \frac{A}{m}$ o'zgaras deb hisoblab, nikel moddasining μ – magnit singdiruvchanligi topilsin?

Berilgan:

$$H = 2,5 \cdot 10^4 \frac{A}{m}; S = 20 \text{ sm}^2; F_B = 12,5 \text{ mVb} = 1,25 \cdot 10^{-2} \text{ Vb}; \mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}.$$

Topish kerak: $\mu = ?$

Yechish:

Nikel materialidan tayyorlangan solenoid o'zagi orqali o'tuvchi magnit maydon induksiya oqimi $F_B = B \cdot S$ (1) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda B – kattalik magnit induksiya vektori.

Magnit maydon kuchlanganligi va induksiya vektori orasidagi bog'lanishni ifodalovchi $B = \mu \mu_0 H$ (2) tenglikni (1) tenglamaga qo'yib, magnit maydon oqimining $F_B = \mu \mu_0 HS$ (3) ifodasini hosil qilamiz.

Yuqorida keltirilgan (3) tenglamadan μ – magnit singdiruvchanlikni quyidagicha aniqlaymiz:

$$\mu = \frac{F_B}{\mu_0 HS} = \frac{1,25 \cdot 10^{-2}}{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 2,5 \cdot 10^4 \cdot 2 \cdot 10^{-3}} \approx 199.$$

Javob: $\mu = 199.$

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Magnitik moddaning molyar massasi $\mu = 209 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$, solishtirma magnit qabul qiluvchanligi $\chi_s = 1,3 \cdot 10^{-9} \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$, magnit qabul qiluvchanligi

$\chi=2,2 \cdot 10^{-5}$ bo'lsa, moddaning zichligi va molyar magnit qabul qiluvchanligi χ_μ -topilsin?

2. Kislorod O_2 - molekulasi normal sharoitda solishtirma paramagnit qabul qiluvchanligi $\chi_s=6 \cdot 10^{-7} \frac{m^3}{kg}$ bo'lsa, kislorod moddasining μ_L -magnit momenti topilsin?

3. Selen moddasining magnit qabul qiluvchanligini $\chi=2 \cdot 10^{-5}$ deb hisoblab, kuchlanganligi $H=200 \frac{kA}{m}$ bo'lgan magnit maydonida selenning j -magnitlanganligi, χ_s -solishtirma va χ_μ -molyar magnitlanganliklari topilsin?

4. Magnitik moddaning tashqi magnit maydon kuchlanganligi $H=5 \frac{mA}{m}$ bo'lganda, magnit qabul qiluvchanligi va solishtirma magnit qabul qiluvchanligi mos ravishda $\chi=3,6 \cdot 10^{-5}$, $\chi_s=2 \cdot 10^{-8} \frac{m^3}{kg}$ bo'lsa, moddaning zichligi, magnitlanganligi va magnit induksiya topilsin?

5. Induktiv g'altak o'zaging orqali o'tgan magnit induksiya oqimi $F_B=14,2 mVb$, o'zak tayyorlangan materialning magnit singdiruvchanligi $\mu=224$ bo'lsa, g'altakdagi magnit maydon kuchlanganligini $H=6,4 \cdot 10^4 \frac{A}{m}$ o'zgaras deb hisoblab, o'zak tayyorlangan o'tkazgich simning kesimi yuzasi topilsin?

6. Alyuminiy moddasi uchun gram-atom magnitik qabul qiluvchanlik me'yoriy sharoitda $\chi=1,6 \cdot 10^{-5} g/atom$ bo'lsa, uning magnitik magnitik singdiruvchanligi aniqlansin?

7. Mis moddasidagi magnit maydon kuchlanganligi $H=4 \cdot 10^6 A/m$, magnit qabul qiluvchanligi $\chi=0,8 \cdot 10^{-6}$ bo'lsa, magnit induksiya va mis moddasining magnitlanishi aniqlansin?

8. Me'yoriy sharoitda ($T=293 K$, $P=10^5 Pa$) to'yingan temir moddasining magnitlanishi $j=1,8 \cdot 10^5 A/m$ bo'lsa, uning har bir atomiga to'g'ri kelgan Bor magnetonining o'rtacha qiymati aniqlansin?

9. Mis moddasining zichligi $\rho_z=8,9 \cdot 10^3 kg/m^3$, uning atomidagi elektronlarning yadrodan o'rtacha uzoqligi $d=2 \cdot 10^{-10} m$ bo'lsa, mis moddasining diamagnit qabul qiluvchanligi topilsin?

10. Platina moddasining magnit singdiruvchanligi $\mu=1,01$ bo'lsa, uning magnit qabul qiluvchanligi aniqlansin?

Mavzuga oid nazorat savollari

1. Magnitik materiallar deganda qanday moddalarni tushundingiz va ularning amaliy ahamiyatini izohlang?
2. Magnitik moddalarning qanday turlari mavjud va bir-biriga nisbatan farqini izohlang?
3. Moddalarni magnitik xususiyatlarini ta'minlovchi manbasi nimadan iborat ekanligini qanday izohlaysiz?
4. Magnitik moddalarning qanday turlarini bilasiz va ulardan amaliyotda nima maqsadlarda foydalaniladi?
5. Kyuri harorati deganda haroratning qanday qiymati tushuniladi va ushbu haroratgacha magnetik moddalar qizdirilganda qanday jarayon sodir etiladi?
6. Magnitik moddalarni boshqa turdagi moddalardan farqlovchi asosiy xususiyatlarini tushuntiring?
7. Magnitik moddalar asosan qanday fizik kattaliklar bilan tavsiflanadi va ularning fizik mohiyatini qanday izohlaysiz?
8. Harorat ortib borishi bilan magnitik moddaning magnit singdiruvchanligi qanday o'zgaradi?
9. Harorat ortib borishi bilan magnitik moddaning magnit qabul qiluvchanligi qanday o'zgaradi?
10. Magnetik moddalarning magnit qabul qiluvchanligi harorat ortib borishi bilan qanday o'zgaradi va uning sabablarini asoslovchi jarayonlarni sodir etilishining mexanizmini qanday tasavvur qildingiz?

ILOVA

Xususiy nomiga ega bo'lgan ba'zi fizik kattaliklarning nomi, harfiy belgilanishi va xalqaro birliklari tizimida o'lchov birliklari

1-jadval.

№	Fizik kattalikning nomi	Harfiy belgilanishi	XBTda o'lchov birligi	XBTda o'lchov birligini o'qilishi
1.	Uzunlik	l	m	Metr
2.	Vaqt	t	s	Sekund
3.	Tezlik	v	m/s	Metr/sekund
4.	Massa	m	kg	Kilogram
5.	Hajm	V	m^3	Metr kub
6.	Yuza	S	m^2	Metr kvadrat
7.	Zichlik	ρ_z	kg/m^3	Kilogram/metr kub
8.	Kuch	F	N	Nyuton
9.	Energiya	W	J	Joul
10.	Quvvat	N	Vt	Vatt
11.	Bosim	P	Pa	Paskal
12.	Termodinamik harorat	T	K	Kelvin
13.	Modda miqdori	ν	mol	Mol
14.	Konsentratsiya	n	m^{-3}	l/metr kub
15.	Molyar massa	μ	kg/mol	Kilogram/mol
16.	Issiqlik miqdori	Q	J	Joul
17.	Elektr zaryad	q	Kl	Kulon
18.	Elektr maydonining potentsiali	φ	V	Volt
19.	Elektr maydoni kuchlanganligi	E	V/m	Volt/metr
20.	Elektr sig'im	C	F	Farada
21.	Elektr qarshilik	R	Om	Om
22.	Solishtirma elektr qarshilik	ρ	Om·m	Ommetr
23.	Tok kuchi	I	A	Amper
24.	Tok zichligi	j	A/m^2	Amper/metr kvadrat
25.	Elektr yurituvchi kuch	ε	V	Volt
26.	Magnit momenti	P_M	$A \cdot m^2$	Amper/metr kvadrat
27.	Magnit maydoni kuchlanganligi	H	A/m	Amper/metr
28.	Magnit induksiya	D	Tl	Tesla
29.	Magnit induksiya oqimi	Φ	Vb	Veber
30.	Induktivlik	L	Gn	Genri

Birliklarga o'qli old qo'shimchalar

2-jadval.

№	Harfiy belgilanishi	O'qilishi	Son qiymati
1.	G	giga	10^9
2.	M	mega	10^6
3.	k	kilo	10^3
4.	g	gekto	10^2
5.	d	desi	10^{-1}
6.	s	santi	10^{-2}
7.	m	milli	10^{-3}
8.	μ k	mikro	10^{-6}
9.	n	nano	10^{-9}
10.	p	piko	10^{-12}

Ba'zi suyuqlik va gazlarning zichligi (Normal sharoitlarda)

3-jadval

№	Suyuqliklar	$\rho \cdot 10^3 \frac{kg}{m^3}$	Gazlar	$\rho \cdot 10^{-3} \frac{kg}{m^3}$
1.	Atseton	0,79	Azot	1,25
2.	Suv	1,00	Havo	1,29
3.	Gliserin	1,26	Kislorod	1,43
4.	Moy	0,90	Karbonat angidrid	1,98
5.	Kerosin	0,80	Geliy	0,18
6.	Simob	13,6	Vodorod	0,09
7.	Spirt	0,8	Argon	1,78
8.	Efir	0,7		

Ba'zi moddalarning dielektrik singdiruvchanligi

4-jadval

№	Moddoning nomi	Son qiymati.
1.	Suv	81
2.	Moy (transformator moyi)	2,2
3.	Shisha	7
4.	Ebonit	3
5.	Parafin	2
6.	Slyuda	7
7.	Chinni	5

Ba'zi sof toza metallarning fizik parametrlari
(Normal sharoitlarda)

5-jadval

№	Metallar nomlari	Zichligi $\rho \cdot 10^3 \frac{kg}{m^3}$	Erish harorati $T, ^\circ C$	Chiziqli kengayishining harorat koeffitsiyenti $\alpha_{ch} \cdot 10^{-6}, K^{-1}$	Solish-tirma elektr qarshiligi $\rho \cdot 10^{-8} Ohm$	Solishtirma qarshilikning harorat koeffitsiyenti $\alpha \cdot 10^{-6}, K^{-1}$
1.	Volfram	19,3	3400	4,4	5,5	5,0
2.	Alyuminiy	2,7	660	21	2,7	4,1
3.	Temir	7,87	1540	10,7	9,7	6,3
4.	Mis	8,9	1083	16,6	1,7	4,3
5.	Nikel	8,8	1453	13,2	6,8	6,7
6.	Qo'rg'oshin	11,3	327	28,3	19	4,2
7.	Oltin	19,3	1063	14	2,3	3,9
8.	Pyx	7,14	419	30	5,9	4,1
9.	Platina	21,4	1770	9,5	9,8	3,9
10.	Kumush	10,5	961	18,6	1,5	4,1
11.	Kobalt	8,85	1500	13,5	6,4	6,0
12.	Molibden	10,2	2620	5,3	5	4,3
13.	Natriy	0,97	98	72	4,2	5,5
14.	Qalay	7,29	232	23	11,3	4,5
15.	Tantal	16,6	3000	6,6	12,4	3,8
16.	Xrom	7,19	1900	6,2	13	2,4

Ba'zi yarimo'tkazgich materiallarining fizik parametrlari
(Normal sharoitlarda)

6-jadval

№	Yarim- o'tkazgich- lar	Zichligi $\rho \cdot 10^3 \frac{kg}{m^3}$	Eriş harorati $T, ^\circ C$	Chiziqli kengayishining harorat koeffitsiyenti $\alpha_{ch} \cdot 10^{-6}, K^{-1}$	Taqiq- langan zona kengligi E_g, eV	Zaryad tashuvchilar harakatchanligi $\mu, \frac{m^2}{V \cdot s}$	
						Электрон	Ковак
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Ge	5,43	937	5,8	0,66	0,39	0,19
2.	Si	2,33	1415	2,3	1,12	0,14	0,05
3.	GaN	6,11	1700	5,7	3,4	0,03	-
4.	AlP	2,37	2000	4,2	2,45	0,008	0,003
5.	GaP	4,07	1467	4,7	2,26	0,019	0,012
6.	InP	4,78	1070	4,6	1,35	0,46	0,015
7.	AlAs	3,6	1770	3,5	2,16	0,028	-
8.	GaAs	5,32	1238	5,4	1,43	0,95	0,045
9.	InAs	5,67	942	4,7	0,36	3,3	0,046
10.	AlSb	4,28	1060	4,2	1,58	0,02	0,056
11.	GaSb	5,65	710	6,1	0,72	0,4	0,14
12.	InSb	5,78	525	4,9	0,18	7,8	0,075
13.	ZnS	4,10	1780	6,2	3,74	0,014	0,0005
14.	CdS	4,82	1750	5,7	2,53	0,034	0,011

15	ZnSe	5,42	1520	1,9	2,73	0,026	0,0015
16	ZnTe	6,34	1239	8,3	2,33	0,053	0,003
17	CdTe	5,86	1041	4	1,51	0,12	0,006
18	HgTe	8,09	670	4,8	0,08	0,02	-
19	PbS	7,61	1114	-	0,39	0,06	0,07
20	PbTe	8,16	917	-	0,32	0,08	0,09

Ba'zi dielektrik materiallarining fizik parametrlari
(Normal sharoitlarda)

7-jadval

№	Dielektrik materiallar	Hajmiy solishtirma qarshilik $\rho, \text{Om}\cdot\text{m}$	Nisbiy dielektrik singdiruvchanlik	Dielektrik singdiruvchanlikning harorat koeffitsiyenti $\alpha_E \cdot 10^6, K^{-1}$	1 MGs da dielektrik isrof burchak tangensi	Elektr mustahkamligi MV/m
1.	Polietilen	$10^{14} \div 10^{15}$	2,3÷2,4	-(200÷300)	$(2 \div 5) \cdot 10^{-4}$	40÷150
2.	Polistirol	$10^{14} \div 10^{16}$	2,5÷2,6	-(150÷200)	$(2 \div 5) \cdot 10^{-4}$	20÷110
3.	Ftoroplast-4	$10^{14} \div 10^{16}$	1,9÷2,2	-(150÷300)	$(2 \div 5) \cdot 10^{-4}$	40÷250
4.	Polipropilin	$10^{12} \div 10^{15}$	2,0	-(200÷300)	$(2 \div 5) \cdot 10^{-4}$	30÷150
5.	Lavsan	$10^{14} \div 10^{15}$	3,1÷3,2	+(400÷600)	$(2 \div 5) \cdot 10^{-4}$	20÷180
6.	Polikorbanat	$10^{14} \div 10^{15}$	3,0	+(50÷100)	$(2 \div 5) \cdot 10^{-4}$	30÷150
7.	Polivinilxlorid	$10^9 \div 10^{13}$	3,1÷3,4	-	$(2 \div 5) \cdot 10^{-4}$	35÷45
8.	Getinaks	$10^8 \div 10^{10}$	3,0÷6,0	-	$(2 \div 5) \cdot 10^{-4}$	15÷30
9.	Shishatekstolit	$10^8 \div 10^{11}$	5,5÷6	-	$(2 \div 5) \cdot 10^{-4}$	15÷35
10.	Bakelit	$10^8 \div 10^{11}$	4	-	$(2 \div 5) \cdot 10^{-4}$	12÷50
11.	Epoksid kompaund	$10^{12} \div 10^{14}$	3,3÷6,0	-	$(2 \div 5) \cdot 10^{-4}$	20÷35
12.	Slyuda	$10^{12} \div 10^{14}$	6,0÷8,0	+(10÷20)	$(2 \div 5) \cdot 10^{-4}$	100÷250
13.	Kvars shisha	10^{16}	3,8÷4,2	-	$(2 \div 5) \cdot 10^{-4}$	40÷400
14.	Ishqorli shisha	$10^{10} \div 10^{15}$	5,0÷10	+(30÷500)	$(2 \div 5) \cdot 10^{-4}$	40÷400

15.	Sitallar	$10^8 \div 10^{12}$	$5,0 \div 10$	-	$(2 \div 5) \cdot 10^{-4}$	$25 \div 85$
16.	Izolyator farfor	$10^9 \div 10^{11}$	$5 \div 8$	-	$(2 \div 5) \cdot 10^{-4}$	$25 \div 30$
17.	Ultrafarfor	$10^{12} \div 10^{15}$	$7 \div 10$	$+(80 \div 140)$	$(2 \div 5) \cdot 10^{-4}$	$20 \div 45$
18.	Alyuminoksid	$10^{14} \div 10^{15}$	$8,5 \div 9,5$	$+(100 \div 120)$	$(2 \div 5) \cdot 10^{-4}$	$25 \div 30$
19.	Segnitli keramika	$10^9 \div 10^{11}$	$9000 \div 20000$	-	$(2 \div 5) \cdot 10^{-4}$	$4 \div 10$
20.	Polikor	10^{16}	9	$+(80 \div 100)$	$(2 \div 5) \cdot 10^{-4}$	$30 \div 45$

Kattaliklarning harfiy belgilanishi

t - vaqt;

l - uzunlik;

A - bajarilgan ish;

F - tashqi ta'sir etuvchi kuch;

ρ - moddaning zichligi;

g - erkin tushish tezlanishi;

h - balandlik;

θ - tezlik;

ω - burchak tezlik;

P - quvvat;

m - moddaning massasi;

η - foydali ish koeffitsiyenti;

S - sirtiy yuza;

W - energiya miqdori;

α_y - yoritilayotgan sirt materialining yorug'likni yutish koeffitsiyenti;

Q_i - uzatilgan issiqlik miqdori;

T_M - nurlanishni qabul qilgan moddaning harorati;

$T_{at.m}$ - atrof-muhit harorati;

R_T - moddaning termik elektr qarshiligi;

α - moddaning nurlanishni yutish koeffitsiyenti;

λ_0 - to'liq uzunlik fotoeffektning qizil chegarasi;

k - Bolsman doimiysi, son qiymati $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$;

q - elementar zaryad, son qiymati $q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}$;

I_f - fototok kuchi;

A_{ch} - chiqish ishi;

E_g - taqiqlangan zona kengligi;

G - nurlanish oqimining zichligi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Baxodirxonov M.S., Zaynabiddinov S.Z., Madaminov X.M. Elektron texnikasi moddolari. OO'Yu uchun darslik. Yangi nashr, 2016.
2. A.X.Sulliyev, I.M.Bedrisky, O.T.Boltayev. Elektrotexnika materiallari. OO'Yu uchun darslik. Fan va texnologiya, 2017.
3. Ahmedov A.SH. Elektr texnika materiallari. O'quv qo'llanma - Toshkent: ToshDTU, 2004.
4. P.Y.Yu, M.Cardona, Fundamentals of Semiconductors, Graduate Texts in Physics, 4th ed., DOI 10.1007/978-3-642-00710-1_1, © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010.
5. Ареева Н.Д., Лифанов В.Н. Электротехническое материаловедение. Учебное пособие. - Владивосток, 1996.
6. Kamalov SH.M., Ahmedov A.SH. Elektr texnika materiallari.- Toshkent: "O'qituvchi" nashriyoti, 1994.
7. Salimov J.S, Pirmatov N.B. Elektr mashinalari. Darslik. T.: O'zbekiston faylasuflari milliy jamiyati nashriyoti, 2011.
8. Сорокин В.С., Антипов Б.Л., Лазарева Н.П. Материалы и элементы электронной техники. Проводники, полупроводники, диэлектрики: Учебник. - Т. 1.- 2 е изд., испр. — СПб.: Издательство «Лань», 2015.
9. Б.Л.Антипов, В.С.Сорокин, В.А.Терехов. Материалы электронной техники.Учебное пособие для ВУЗов. М.Высшая школа. 1990.
10. Salimov J.S., Pirmatov N.B. "Transformatorlar va avtotransformatorlar". O'quv qo'llanma. -T.: Vektor – Press. 2010.
11. Axmedov A.Sh., Kurbanbayeva D.U. Elektr texnika materiallari fani bo'yicha tajriba ishlarini bajarish uchun ko'rsatma. Toshkent: TDTU, 2005.
12. N.T.Toshpulatov. "Elektrotexnika materiallari" fanidan o'quv qo'llanma. - Toshkent. TIMI. 2004.
13. Steven W.Blume. Electric Power System Basics. USA.: Wiley - Interscience A John Wiley&Sous, INC Publication, 2007, 260 p.
14. Ю.Д.Арбузов, В.М.Евдокимов. Основы фотоэлектричества. М.: Наука; 2007.
15. V.F.Gremenok, M.S.Tivanov, V.B.Zalesski. Solar cells based semiconductor materials// International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology - 2009 - Vol.69. №1.P. 59-124.

16. В.П.Афанасьев, Е.И.Теруков, А.А.Шерченков. Тонкопленочные солнечные элементы на основе кремния //Санкт-Петербург. Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ» 2011.

17. Лабунцов Д.А. Физические основы энергетики. – М.: Изд-во МЭИ, 2000.

18. Mirziyoyev Sh.M. Erkin va farovon, demokratik O'zbekiston davlatini birgalikda barpo etamiz. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining lavozimga kirishish tantanali marosimga bag'ishlangan Oliy Majlis Parlamentining qo'shma majlisidagi nutqi. T: "O'zbekiston" NMIU, 2016, 56 b.

19. Mirziyoyev Sh.M. Qonun ustuvorligi inson manfaatlarini ta'minlash – yurt taraqqiyoti va xalq farovonligi garovi. O'zbekiston Respublikasi Konstitutsiyasi qabul qilinganligining 24 yilligiga bag'ishlangan tantanali marosimdagi ma'ruza 2016 yil 7 dekabr. T: "O'zbekiston" NMIU, 2016.

20. Ender C: Windener-gienutzung in der Bundes-republic Deuchland Stand 30.06.2004. DEWI-Magazin, 2004, Nr.25, 14-25 pp.

21. Виссарионов В.И., Дерюгина и др. Солнечная энергетика. - М.: МЭИ. 2008. -316 с.

22. Захидов Р.А. Энергетика стран мира и Узбекистана в XXI веке. //Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики». -Т.: Фан 2001. №5-6. С. 27-42.

Internet saytlar:

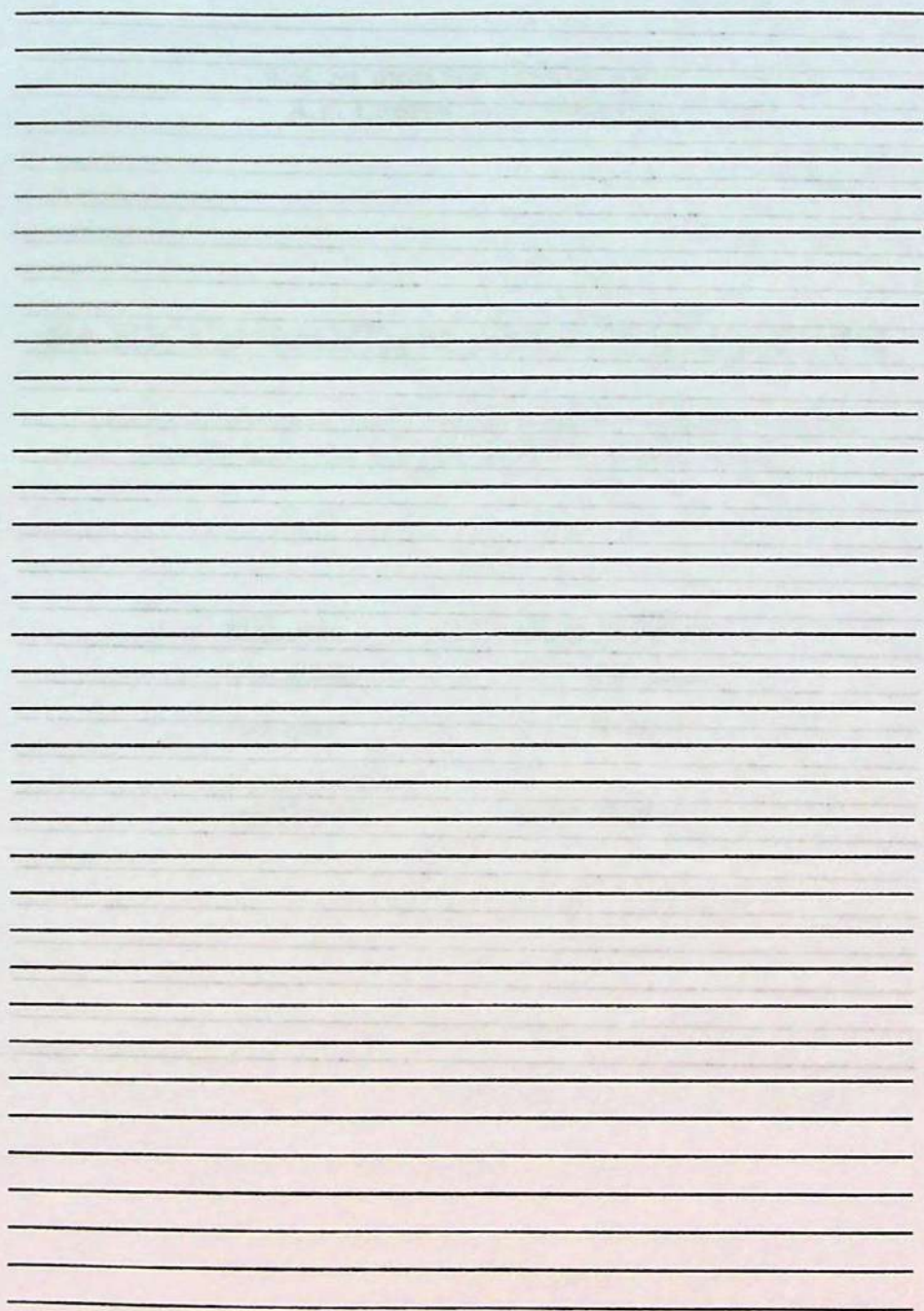
1. <http://www.ecomuseum/>
2. www.lex.uz.
3. <http://www.solar-battery.narod.ru/>
4. <http://www.ecology-energy.ru/>
5. <http://www.set-svl.narod.ru/>
6. <http://www.techno.edu.ru/>

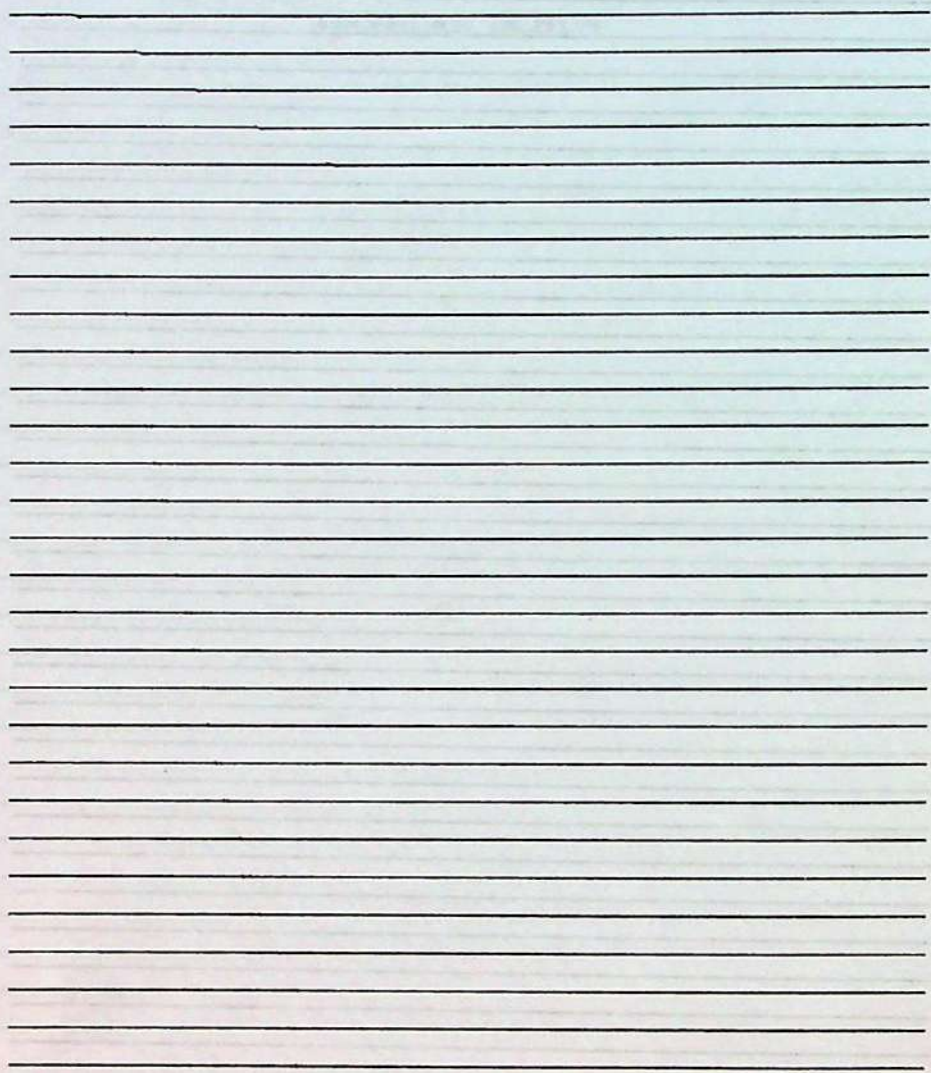
MUNDARIJA

SO'Z BOSHI	3
Elektr texnika materiallari fanidan masalalarni yechishga doir ko'rsatmalar	6
I-BOB ELEKTR TEXNIKA MATERIALLARINING UMUMIY ASOSLARI	7
1.1. Qattiq moddalarning kristall tuzilishi va xossalari	7
1.2. Gazsimon moddalarning fizikaviy xossalari	13
1.3. Suyuq moddalarning fizikaviy xossalari	20
1.4. Elektr texnik materiallarining asosiy noelektrik parametrlarini aniqlash	27
1.5. Qattiq moddalarning mexanik xususiyatlarini tavsiflovchi kattaliklarini aniqlash	34
1.6. Elektr texnik materiallarining elektrofizik parametrlarini aniqlash	40
II-BOB DIELEKTRIK MATERIALLAR	46
2.1. Dielektrik moddalarning fizikaviy xususiyatlari	46
2.2. Elektr maydonida dielektriklar	54
2.3. Qattiq dielektriklarning hajmiy va sirtiy elektr o'tkazuvchanligi	60
2.4. Dielektriklarning teshilishi	67
2.5. Gazlarning elektr o'tkazuvchanlik xususiyatlari	72
2.6. Gazsimon dielektriklarning teshilishi va ularning elektr mustahkamligi	78
2.7. Dielektriklarda energiya isrofi	84
III-BOB ELEKTR O'TKAZGICH MATERIALLARI	91
3.1. Elektr o'tkazgich materiallarining asosiy elektrofizik xususiyatlari	91
3.2. Elektr o'tkazgich materiallarining parametrlarini aniqlash	98
3.3. Turli metallar va qotishmalarining asosiy elektrofizik xususiyatlari	103
3.4. Elektr o'tkazgich materiallarida fotoeffekt hodisasini tavsiflovchi parametrlarini aniqlash	111
IV-BOB YARIMO'O'TKAZGICH MATERIALLARI	116
4.1. Yarimo'tkazgichli materiallarining elektr o'tkazuvchanlik xususiyatlari	116
4.2. Yarimo'tkazgich materiallarining parametrlarini aniqlash	124

4.3. Yarimo'tkazgich materiallarida p-n o'tishning xususiyatlari	132
V-BOB MAGNIT MATERIALLAR	140
5.1. Magnit maydoni ta'sirida magnit materiallar	140
5.2. Magnit materiallarning parametrlarini aniqlash	145
ILOVA	152
FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR	159

QAYDLAR UCHUN





**A.B. Sa'dullayev, O.O. Zaripov,
A.P. Umirov, B.T. Shodiyev**

ELEKTR TEXNIKA MATERIALLARI

**O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi
tomonidan o'quv qo'llanma sifatida tavsiya etilgan**

Muharrir:	— Sh. Boyqobilov
Musahhih:	— D.X. Usmanova
Rassom:	— U.F. Vaxidov
Kompyuterda sahifalovchi:	— M.Sh. Fozilov

Noshirlik faoliyatini boshlagani haqida vakolatli
davlat organini xabardor qilgani to'g'risida
TASDIQNOMA № 3991

2022-yil 16-avgustda bosishga ruxsat etildi
Bichimi 60x84, 1/16. Times New Roman garniturasida.
Ofset bosma. Shartli bosma tobog'i 10,5 Adadi 100 nusxada.

Toshkent shahar, Uchtepa tumani, Maxorat-71

"Shafolat nur fayz" MChJ bosmaxonasida chop etildi.
Toshkent shahar, Olmazor tumani, Nodira-19
Telefon +99899 993-83-36



ISBN: 978-9943-7872-2-3

