



Moddalarning elektr o'tkazuvchanligi haqida ayrim muhim tushunchalar

Ismoilova Iroda Erkinovna

Osiyo xalqaro universiteti o'qituvchisi

Annotatsiya: Ushbu maqolada moddalarning elektr o'tkazuvchanligiga ko'ra turlari hamda har bir turning tasnifi keltirilgan. Metallar, dielektriklar va yarim o'tkazgichlardagi elektr o'tkazish xususiyatlari bayon qilingan.

Kalit so'zlar: Elektr toki, metal, dielektrik, yarim o'tkazgich, qarshilik, temperature, elektron, energiya.

Abstract: This article presents the types of substances according to their electrical conductivity and the classification of each type. The properties of electrical conduction in metals, dielectrics and semiconductors are described.

Key words: Electric current, metal, dielectric, semiconductor, resistance, temperature, electron, energy.

Moddalar elektr o'tkazuvchanligiga qarab uch turga bo'linadi ular metallar, dielektriklar, yarim o'tkazgichlar. Bu moddalar bir-biridan farq qiladi. Dielektriklar elektr tokini yomon o'tkazadi. Nomidan ham ma'lumki yarim o'tkazgichlar elektr o'tkazuvchanligi bo'yicha metallardan yomon dielektriklardan yaxshi.

Yarim o'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanligini oson boshqarish mumkinligi avval nazariy ravishda keyinchalik eksperimentda kashf etilgan bo'lib, radiotexnikada tubdan



burilish bo'ldi. Yarimo'tkazgichlar radiopryomniklarda hisoblash mashinalarida tokni o'zgartiruvchi vosita sifatida ishlatiladi. Moddalarning elektr o'tkazuvchanligi yaxshi bo'lishi undagi erkin elektronlarga bog'liq. Bu moddalarning barchasi texnikada xususan elektr divigatellarda generatorlarda elektr isitish asboblarda va hokazolarda qo'llaniladi. Bizga malum bo'lgan metallardan tashqari elektrolitlarning suvdagi eritmasi yoki aralashmalari yoki ionlashgan gaz yani plazma ham yaxshi o'tkazgich. Chunki ularda zaryadli erkin zarralar mavjud. Bundan kelib chiqadiki dielektrlarda erkin zaryadlar uncha ko'p emas. Biz bilamizki o'tkazgichda tok hosil bo'lishi uchun erkin zaryadli zarralar mavjud bo'lishi kerak va ular tartibli bir tomonga harakatlanishi darkor.

Metallar va dielektrlarda elektr o'tkazuvchanlik: Odatda elektr tokini yaxshi o'tkazadigan yani elektr qarshiligi juda kichik bo'lgan moddalar metallar deyiladi. Modda metalmi degan savolga uning elektr o'tkazuvchanligi yani qarshilikning temperaturaga bog'liqligi javob beradi. Metallarda elektr o'tkazuvchanlik juda past temperaturalarda yani absalyut nolda va uning yaqinida ham noldan farqliligicha qolaveradi. Metallarning bu xossalari elektronlar harakatining alohida xossalari bilan tushuntiriladi va albatta tok tashuvchilarning tabiatini aniqlashda elektronlar tabiati o'rganildi. Tajribani birinchi marta 1901-yilda Rikke amalga oshirgan bu tajribasi orqali metallarda elektr o'tkazuvchanlik atomlar orqali amalga oshmasligini ko'rsatib berdi. U quyidagi tajribani o'tkazdi. Uchlari juda toza yo'nilgan 2 ta mis va bitta alyuminiy silindrlarni oladi. Dastlab ular tortilgan so'ngra birgalikda mis-alyuminiy-mis ketma-ketligida qo'yilgan va bir yil davomida tok o'tkazganlar bu tajribalar shuni ko'rsatdiki metallarning og'irligi hech qanday o'zgarmaganligini bir-biriga tegib turgan uchlari mikroskop ostida qaralganda bir-biriga kirib qolmaganini ko'rishgan demak metallarda tok tashuvchilar atomlar emas balki boshqa metallar tarkibiga kiruvchi qandaydir zarracha bu zarrachani elektron ekanligini keyinchalik Mandelshtam Papaleksi sim o'ralgan g'altakni uning o'qi atrofida tez burama tebranishga keltirdilar. Tolmen va Styuart tomonidan shunday tajribaning miqdoriy natijasi



olingan edi. Shunday qilib metallarda tok tashuvchilar erkin elektronlar ekanligi nazariy hamda eksperimental asoslandi.

Erkin elektronlar mavjudligini shu bilan tushuntirish mumkinki, kristall panjaralar hosil bo'lganidan eng bo'sh bog'langan elektronlar metall atomlaridan ajralib metall bo'lagining „kollektiv tashkil etuvchisi“ bo'lib qoladi. Biz bilamizki boshqa moddalarga qaraganda metallarda elektr o'tkazuvchanlik juda yaxshi bo'ladi. Elektr tokini yaxshi o'tkazishi ularning zonaviy strukturasi bilan tushuntiriladi. Elektr toki oqa boshlashi uchun elektronlar elektr maydonida tezlanish olish, o'z energiyasini oshirish imkoniga ega bo'lishi kerak. Agar zona qismangina to'lgan bo'lsa u holda elektron energiyasi deyarli uzluksiz o'zgarishi mumkin (elektron bunda bo'sh qo'shni sathga o'tadi) va elektr maydoni osongina tok hosil qiladi. Metall o'tkazgichdan o'tayotgan tokning zichligi unga qo'yilgan elektr maydon kuchlanganligiga to'g'ri proporsional.

$$j = \sigma \cdot E \quad (1)$$

Bu ifoda Om qonuni deb nomlanadi. Proporsionallik koeffitsienti σ solishtirma elektr o'tkazuvchanlik unga teskari

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \quad (2)$$

(2) formuladagi ρ kattalik esa solishtirma elektr qarshilik deyiladi. Metallarning qashiligi $10^{-8} \div 10^{-6} \text{ om} \cdot \text{m}$ oralig'ida qiymatlarga ega. Metallarning elektr o'tkazuvchanligini tushunirib beruvchi modellardan birinchisi Drude ishlab chiqdi. Biz bilamizki moddalardan tok o'tishi natijasida unda qarshilik vujudga keladi bu qarshilik qanday vujudaga kelishini ko'rib o'tamiz. Metallarda o'tkazuvchan elektronlar erkin harakatlanmaydi biroq panjaralardagi ionlar bilan to'qnashishlarga duch keladi. Tashqi elektr maydon bo'lmaganda elektronlar faqat tartibsiz issiqlik harakatida bo'ladi har bir elektron xuddi broun harakatidagi gaz yoki zarra singari murakkab trayektoriya chizadi. Issiqlik harakatining tartibsiz bo'lishi tufayli ixtiyoriy yo'nalishda harakatlanayotgan



elektronlar hamma vaqt qarama-qarshi yo'nalishda harakatlanaayotgan elektronlar miqdoriga teng bo'ladi. Shuning uchun amla elektronlarning harakati tartibli-tartibsiz harakatlar yig'indisidan iborat bo'ladi. Binobarin shuning uchun elektronlarning asosiy harakat yo'nalishi paydo bo'ladi. Bu holda maydonga qarama-qarshi harakatlanuvchi elektronlar sonidan ko'p bo'ladi, yani elektr zaryadi ko'chishi -tok paydo bo'ladi.

Elektronlarning biz ko'rib o'tgan harakat manzarasi metallarning elektr qarshiligini tushuntirishga imkon berdi. Ketma-ket ikki to'qnashishlar orasida elektronlar maydon ta'sirida tezlanma harakat qiladi va tegishli energiya oladi. Bu energiya to'qnashishlarda qisman yoki to'la ravishda musbat ionlarga beriladi va ionlarning tartibsiz tebranishlari energiyasiga aylanadi. Shuning uchun tok o'tganda metallar qiziydi shuningdek tashqi maydon yo'qotilganda elektronlarning tartibli harakati to'qnashishlar natijasida tartibsiz issiqlik harakatiga aylanadi va elektr tok to'xtaydi. Shunday qilib elektronlarning metallardagi harakati to'qnashishlar tufayli yuza keladigan ishqalanish bilan ro'y beradi. Bu ishqalanish gazdagi ichki ishqalanishga o'xshaydi. Ko'rinib turibdiki elektr qarshilik bo'lishiga sabab elektronlarning metall panjarasidagi musbat ionlar bilan to'qnashishidir. Biz endi elektr qarshilikning temperaturaga bog'liqligini ko'rib o'tamiz.

O'tkazgichlarning qarshiligi temperatura ko'tarilishi bilan ortib boradi. Buni quyidagicha tushuntirish mumkin: temperatura ortishi bilan kristall panjara tugunlarida joylashgan atomlar va ionlarning issiqlik tebranma harakati kuchayadi, natijada tebranish amplitudasi ortadi. Uchlari juda toza yo'nilgan 2 ta mis va bitta alyuminiy silindrlarni oladi. Dastlab ular tortilgan so'ngra birgalikda mis-alyuminiy-mis ketma-ketligida qo'yilgan va bir yil davomida tok o'tkazganlar bu tajribalar shuni ko'rsatdiki metallarning og'irligi hech qanday o'zgarmaganligini bir-biriga tegib turgan uchlari mikroskop ostida qaralganda bir-biriga kirib qolmaganini ko'rishgan demak metallarda tok tashuvchilar atomlar emas balki boshqa metallar tarkibiga kiruvchi qandaydir zarracha bu zarrachani elektron ekanligini keyinchalik Mandelshtam Papaleksi sim o'ralgan g'altakni uning o'qi atrofida tez burama



tebranishga keltirdilar. Tolmen va Styuart tomonidan shunday tajribaning miqdoriy natijasi olingan edi. Shunday qilib metallarda tok tashuvchilar erkin elektronlar ekanligi nazariy hamda eksperimental asoslandi. Erkin elektronlar mavjudligini shunday tushuntirish mumkinki kristall panjaralar hosil bo'lganidan eng bo'sh bog'langan elektronlar metall atomlaridan ajralib metall bo'lagining „kollektiv tashkil etuvchisi“ bo'lib qoladi. Biz bilamizki boshqa moddalarga qaraganda metallarda elektr o'tkazuvchanlik juda yaxshi bo'ladi. Elektr tokini yaxshi o'tkazishi ularning zonaviy strukturasi bilan tushuntiriladi. Elektr toki oqa boshlashi uchun elektronlar elektr maydonida tezlanish olish, o'z energiyasini oshirish imkoniga ega bo'lishi kerak. Agar zona qismangina to'lgan bo'lsa u holda elektron energiyasi deyarli uzluksiz o'zgarishi mumkin (elektron bunda bo'sh qo'shni sathga o'tadi) va elektr maydoni osongina tok hosil qiladi

Ushbu nazariyaga asosan metallarni erkin elektronlar gaziga botirilgan ionlardan iborat deb tasavvur qilinadi. Undan tashqari, nazariya yana quyidagi farazlarga asoslangan:

A) elektronlar kristall bo'ylab erkin ko'chib yura oladi. Ular o'z harakati davomida kristall panjarasi tugunlaridagi ionlar bilan to'qnashadi.

B) Elektronlarning bir-biri bilan to'qnashuvlari hisobga olinmaydi. Ikki to'qnashuv orasida elektron Nyuton qonuniga asosan to'g'ri chiziq bo'ylab harakat qiladi.

C) elektronlarning metall ionlari bilan to'qnashuvi oddiy zaryadsiz sharchalar to'qnashuvidek sodir bo'ladi.

D) elektronlarning ikki ketma-ket to'qnashuvlar orasidagi harakati o'rtacha vaqti $\bar{\tau}$ kiritilgan va uni elektronning o'rtacha erkin yugurish vaqti deb nomlanadi. Elektronning vaqt birligidagi to'qnashuvlar ehtimolligi $1/\bar{\tau}$ ga teng deb olinadi.

E) elektronlar gazi to'qnashuvlar tufayli termodinamik muvozanatda bo'ladi. Ularning to'qnashishdan oldingi va keyingi tezliklari o'zaro bog'lik emas.



Metalldagi hamma elektronlar bir xil oʻrtacha tezlikka ega boʻlib, ularni bir atomli ideal gazdek tasavvur qilingan. Metall oʻtkazgich uchlariga elektr kuchlanish qoʻyilmaganda undagi erkin elektronlar tartibsiz issiqlik harakatida boʻladi. Klassik fizikaning energiyaning erkinlik darajalari boʻyicha teng taqsimot qonuniga asosan, har bir elektronga toʻgʻri keluvchi oʻrtacha kinetik energiya $\frac{3}{2}kT$ ga teng. Bundan oʻrtacha tezlikni topishimiz mumkin:

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{3}{2}kT \quad (3)$$

va

$$|v| = \sqrt{\frac{3kT}{m}} \quad (4)$$

Hajm birligidagi elektronlar soni n ga teng boʻlsin, unda elektronlarning hajm birligidagi kinetik energiyasi quyidagicha

$$W_k = \frac{3}{2}nkT \quad (5)$$

Metallga elektr maydon qoʻyilganda undagi erkin elektronlarning tartibsiz issiqlik harakatiga maydonning taʼsir kuchi yoʻnalishida tartibli harakat qoʻshiladi. Elektronlarning harakatiga bir tomonga qarab siljish kuzatiladi. Elektronlarning tashqi elektr maydon taʼsiridagi bunday harakati dreyf harakati va harakat tezligi dreyf tezlik deb ataladi. Tashqi maydon elektronga $-eE$ kuch bilan taʼsir qiladi, bu kuch taʼsirida elektron

$$a = -\frac{eE}{m} \quad (6)$$

tezlanish oladi. Elektronning ionlar bilan ikki ketma-ket toʻqnashuvlari orasida olgan dreyf tezligi



$$v = a\tau = -\frac{eE\bar{\tau}}{m} \quad (7)$$

bunda e -elektronning zaryadi, m -uning massasi.

Ma'lumki, metall o'tkazgichdagi tok zichligini quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$J = -nev \quad (8)$$

Bu erda n -birlik hajmdagi elektronlar soni. U holda (7) va (8) munosabatdan foydalanib,

$$J = ne\frac{eE\tau}{m} = \frac{ne^2\bar{\tau}}{m} \cdot E \quad (9)$$

ifodani hosil qilamiz. (9) va (1)ni taqqoslaymiz va elektr o'tkazuvchanlikni topamiz.

$$\sigma = \frac{ne^2\bar{\tau}}{m} \quad (10)$$

Ushbu ifoda yordamida metallning solishtirma qarshiligi ρ ni bilgan holda $\bar{\tau}$ ni aniqlashimiz mumkin.

$$\bar{\tau} = \frac{\sigma m}{ne^2} = \frac{m}{n\rho e^2} \quad (11)$$

ρ - ning xona temperaturasiidagi qiymatini olib $\bar{\tau}$ ni hisoblaganimizda $\tau = 10^{-14} \div 10^{-15} c$ bo'ladi. Elektronning dreyf tezligi uning issiqlik tezligidan ancha kichikligi uchun $\bar{\tau}$ ni erkin yugurish masofasi $\bar{l}$ orqali quyidagicha yozib olishimiz mumkin:

$$\bar{\tau} = \frac{\bar{l}}{\bar{u}_T} \quad (12)$$

Oxirgi munosabatdan $\bar{\tau}$ ni bilgan holda va xona temperaturasi uchun (4) dan $\bar{u}_T$ ni hisoblab ($\bar{u}_T \cong 10^7 m/c$ bo'ladi), metallidagi erkin elektronlar uchun $\bar{l} = (1 \div 10) \text{ \AA}$ bo'lishini



aniqlaymiz. Kristall panjarasi ionlari orasidagi masofa ham ana shu tartibda bo'lishini e'tiborga olsak, Drude modeli juda yaxshi natijaga olib kelishiga ishonch hosil qilamiz. Biroq past temperaturalarda nazariya bilan tajriba natijalari bir-biridan uzoqlashib ketadi.

Bu holni Drude nazariyasi yordamida tushuntirish qiyin. Endi $\bar{\tau}$ ning temperaturaga bog'liqligini ko'ramiz. (4) va (12) lardan

$$\bar{\tau} = \bar{l} \sqrt{\frac{m}{3kT}} \quad (13)$$

uni (10) ga qo'ysak, quyidagi natijaga kelimiz:

$$\sigma = ne^2 \bar{l} \sqrt{\frac{1}{3kTm}} \quad (14)$$

Ko'rinib turibdiki, Drude modelida o'tkazuvchanlik $\sigma \sim T^{-1/2}$ ekan. Tajribalar esa σ ning T^{-1} ga proporsionalligini ko'rsatadi. Bu ham metallarning ushbu modeli qiyinchiliklaridan biridir.

Drude nazariyasining yana bir yutug'i uni Videman-Frans qonuni uchun to'g'ri natijaga kelishidir. Tajriba usuli bilan 1853 yilda aniqlangan Videman-Frans qonuniga ko'ra, metallning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti ularning elektr o'tkazuvchanligiga nisbati ma'lum bir temperaturada barcha metallar uchun bir xil qiymatga egadir, ya'ni

$$\frac{\chi}{\sigma} = LT \quad (15)$$

Bunda L o'zgarmas son bo'lib, uni Lorens soni deb ham ataladi. Ushbu qonunni tekshirib ko'rish uchun Drude nazariyasiga asoslanib Lorens sonini keltirib chiqarish mumkin

Gazlar va suyuqliklarda elektr o'tkazuvchanlik: Elektr tokining gazlar orqali o'tishiga gaz razryadi deyiladi. Metallarda, yarim o'kazgichlarda elektriklarda tok



tashuvchilar tok o'tishi bilan bog'liq bo'lgan protseslardan qat'iy nazar doim mavjuddir. Elektr maydoni mavjud zaryadlarni doim tartibga soladi. Gazlar normal holda izolyator hisoblanib, ularda tok tashuvchilar bo'lmaydi. Faqat maxsus sharoitlarni hosil qilib gazlarda tok tashuvchilar (ionlar, elektronlar) paydo bo'lib elektr razryadi vujudga keladi. Gazlarda tok tashuvchilar elektr maydonining mavjudligi bilan bog'liq bo'lmagan tashqi tasirlar natijasida hosil bo'lishi mumkin. Bunday holda gazlarning mustaqil bo'lmagan o'tkazuvchanligi haqida gap boradi. Mustaqil bo'lmagan razryad gazlarni yuqori temperaturagacha qizdirish yo'li bilan (termik ionizatsiya), ultrabinafsha yoki rentgen nurlari tasiri bilan, shuningdek, radiktiv modda nurlarining tasiri ostida yuzaga kelishi mumkin. Yassi kondensatorning disklariga ulangan elektrometr olib uni zaryadlaymiz.

Agar havo yetarlicha quruq bo'lsa, uy haroratida kondensator zaryadsizlanmaydi. Bu esa disklar orasidagi potensiallar farqi tufayli havoda hosil bo'ladigan elektr toki juda oz ekanligini bildiradi. Binobarin uy haroratida havoning elektr o'tkazuvchanligi juda kichik. Havoni dielektrik deb hisoblasa bo'ladi. Disklar orasidagi havoni qizdirsak elektrometr strelkasi tez nolga elektrodning shakli va o'lchami va o'zaro joylashishiga, kuchlanishga, tokning zichligi va quvvatiga va shunga o'xshashlar. Shuning uchun gaz razryadi juda turli –tuman shakllarni qabul qilishi mumkin. Xususan nurlanish va tovush effektlari- shivillash, shovqin va chirsillashlar bilan kuzatilishi mumkin. Odatdagi sharoitlarda gazlar butunlay neytral atom yoki molekulalardan iborat bo'ladi qism. Isitish yoki nurlantirish tasiri natijasida bir qism atomlar ionlanadi, yani musbat zaryadli ionlarga va elektronlarga ajraladi. Gazda manfiy ionlar ham hosil bo'lishi mumkin: bu ionlar elektronning neytral atomlariga qo'shilishidan hosil bo'lishi mumkin. Isitilganda gazlar oson ionlanishning sababi shundaki gaz qizigan sari molekulalar tezroq harakatlanadi. Bunda bazi molekulalar shunchalik tez harakatlanadiki, ulardan bazilari boshqalariga to'qnashganida parchalanib ionlarga aylanadi. Harorat qanchalik yuqori bo'lsa ionlar shunchalik ko'p hosil bo'ladi



Gazlarning elektr o'tkazuvchanligining mohiyati elektrolitlarning aralashmalari va eritmaları o'tkazuvchanligining mohiyatiga o'xshaydi. Faqat shundaki gazlarda manfiy zaryadni elektrolitlarning aralashmalari yoki suvdagi eritmalaridagi kabi manfiy ionlar emas, balki elektronlar tashiydi. Shunday qilib gazlarda metallarda bo'ladigan elektronli o'tkazuvchanlik bilan elektrolitlarning aralashmalari yoki suvdagi eritmalarida bo'ladigan ionli o'tkazuvchanlik birga qo'shiladi. Yana bir muhim farqi bor. Elektrolit eritmalarida ionlar ulardagi molekular ichidagi bog'lanishlarning erituvchi molekularning (suv molekularining) tasiri natijasida zaiflashishi tufayli hosil bo'ladi. Gazlarda esa ionlar isitishda yoki tashqi ionlashtiruvchilarning, masalan nurlarning tasiri hisobiga hosil bo'ladi. Agar ionlashtiruvchining tasiri to'xtasa, zaryadlangan elektrometr yana o'z zaryadini o'zgartirmay turadi. Demak ionlashtiruvchining tasiri to'xtagach gaz o'tkazgich bo'lmay qoladi. Hamma ion va elektronlar elektrodlarga yetib borgach, tok to'xtaydi. Undan tashqari elektron va musbat zaryadli ion bir –biriga yaqinlashgach qo'shib ketib neytral atomga aylanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati:

1. O'lmasova M.H. Fizika, 2-Tom. T., "O'qituvchi", 2004.
2. M.X.O'lmasova, J.Kamolov, F.Toshmuxamedov. Fizika. Elektr, Optika, Atom Va Yadro Fizikasi. T., "O'qituvchi", 1985.
3. Erkinovna, I. D. (2024). Using The "Mathematical Lotto" Method In Teaching The Topic "Vectors And Operations On Them". Samarali ta'lim va barqaror innovatsiyalar jurnali, 2(3), 394-398.
4. Erkinovna, I. D. (2024). Use of some interactive methods in teaching mathematics. Pedagogical reforms and their solutions, 1(2), 24-27.
5. Erkinovna, I. D. (2024). Matematika fanini o'qitishda interfaol usullarning o'rni va mohiyati. Ta'limning Zamonaviy Transformatsiyasi, 3(1), 289-295.
6. Erkinovna, I. D. (2023). Location of the essential spectrum of the channel operator corresponding to the third-order operator matrix in the fermionic fock space. O'zbekiston respublikasi oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi buxoro davlat universiteti fizika, matematika va mexanikaning dolzarb muammolari, 33.