

ELEKTR TOKINI KVANT-FIZIK YONDASHUV ASOSIDA TAHLIL QILISH

QODIROVA DILNOZA RO‘ZIBOYEVNA

Fizika astronomiya fani o‘qituvchisi

Andijon shahar 1-son politexnikumi

Annotatsiya. Ushbu maqolada elektr tokini kvant-fizik yondashuv asosida tahlil qilish masalalari ko‘rib chiqiladi. Klassik fizika doirasida elektr toki zaryadlangan zarrachalarning tartibli harakati sifatida talqin qilinsa, kvant fizikasida ushbu jarayon elektronlarning to‘lqin–zarracha dualizmi, energiya sathlarining diskretligi va ehtimollik taqsimotlari orqali izohlanadi. Tadqiqotda metall va yarimo‘tkazgichlarda elektr o‘tkazuvchanlik mexanizmlari, elektronlarning kvant holatlari, Fermi–Dirak statistikasi hamda tunnellanish hodisasining elektr tokiga ta’siri tahlil qilinadi. Olingan natijalar nanoo‘lchamli tizimlar va zamonaviy elektron qurilmalarda elektr tokini chuqurroq tushunishga xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: Elektr toki, kvant fizika, elektronlar harakati, to‘lqin–zarracha dualizmi, energiya sathlari, Fermi–Dirak statistikasi, yarimo‘tkazgichlar, kvant tunnellanish, elektr o‘tkazuvchanlik, nanoelektronika.

Zamonaviy fizika va texnologiyaning jadal rivojlanishi elektr tokini nafaqat klassik elektrodinamika doirasida, balki kvant-fizik yondashuv asosida chuqur tadqiq etishni taqozo etmoqda. An’anaviy klassik nazariyalarda elektr toki zaryadlangan zarrachalarning tashqi elektr maydon ta’sirida tartibli harakati sifatida talqin qilinadi. Biroq mikro va nanoo‘lchamli tizimlarda, shuningdek, yuqori chastotali va past o‘lchamli strukturali materiallarda ushbu yondashuv elektr tokini to‘liq tavsiflab bera olmaydi. Shu sababli elektr o‘tkazuvchanlik jarayonlarini kvant mexanikasi qonunlari asosida tahlil qilish muhim ilmiy ahamiyat kasb etadi.

Kvant fizikasida elektr toki elektronlarning diskret energiya sathlari, ularning to‘lqin–zarracha dualizmi hamda ehtimollik tabiatiga asoslanib izohlanadi. Elektronlarning kristall

panjaradagi harakati, ularning ruxsat etilgan va taqiqlangan energiya zonalari orqali taqsimlanishi elektr o'tkazuvchanlik xususiyatlarini belgilovchi asosiy omillardan biri hisoblanadi. Ayniqsa, Fermi–Dirak statistikasi yordamida elektronlarning energiya holatlari bo'yicha taqsimlanishini o'rganish metall va yarimo'tkazgichlarda elektr tokini tavsiflashda muhim nazariy asos bo'lib xizmat qiladi. So'nggi yillarda nanoelektronika, kvant kompyuterlar va yuqori sezgir sensorlar kabi sohalarning rivojlanishi kvant effektlarining elektr tokiga ta'sirini chuqur o'rganishni talab qilmoqda. Tunnel effekti, kvant interferensiyasi va ballistik o'tkazuvchanlik kabi hodisalar klassik modellar bilan izohlanmaydi va faqat kvant-fizik yondashuv asosida tahlil qilinadi. Bu esa elektr tokini modellashtirishda yangi nazariy va matematik usullarni qo'llash zaruratini yuzaga keltiradi.

Mazkur tadqiqotda elektr tokini kvant-fizik nuqtayi nazardan tahlil qilish, elektronlarning kvant holatlari va ularning elektr o'tkazuvchanlikka ta'sirini o'rganish maqsad qilib qo'yilgan. Tadqiqot natijalari zamonaviy yarimo'tkazgich texnologiyalari, nanoo'lchamli qurilmalar hamda istiqbolli elektron tizimlarni yaratishda nazariy asos sifatida xizmat qilishi kutilmoqda.

Elektr toki fizik hodisa sifatida asrlar davomida klassik elektrodinamika qonunlari asosida o'rganib kelingan. Klassik tasavvurlarga ko'ra, elektr toki elektr maydon ta'sirida zaryadlangan zarrachalarning yo'nalgan harakati natijasida hosil bo'ladi. Ushbu yondashuv makroskopik tizimlar va oddiy elektr zanjirlarini tahlil qilishda yetarli bo'lsa-da, atom, molekula va nanoo'lchamli tuzilmalarda elektr tokini to'liq tavsiflab bera olmaydi. Shu sababli elektr o'tkazuvchanlik jarayonlarini kvant mexanikasi qonunlari asosida o'rganish zarurati yuzaga keladi.

Kvant fizikasida elektronlar klassik zarracha sifatida emas, balki to'lqin–zarracha dualizmi xususiyatiga ega obyekt sifatida qaraladi. Elektronlarning holati to'lqin funksiyasi bilan ifodalanib, ushbu funksiya zarrachaning fazodagi joylashuvi va impulsini ehtimollik nuqtayi nazaridan tavsiflaydi. Elektronlarning energetik holatlari uzluksiz emas, balki diskret bo'lib, bu holatlar Shryodinger tenglamasining yechimlari orqali aniqlanadi.

Aynan ushbu diskretlik elektr o'tkazuvchanlik mexanizmlarining kvant tabiatini belgilaydi.

Kristall moddalarda elektronlar atomlararo potensial maydon ta'sirida harakat qiladi. Natijada elektron energiya sathlari kengayib, ruxsat etilgan va taqiqlangan energiya zonalarini hosil qiladi. Ushbu zonalar tuzilishi materialning elektr xossalarini belgilovchi asosiy omil hisoblanadi. Metallarda valent zona va o'tkazuvchanlik zonasi bir-biri bilan qoplanadi, bu esa erkin elektronlarning mavjudligini ta'minlaydi. Yarimo'tkazgichlarda esa ushbu zonalar orasida energiya bo'shlig'i mavjud bo'lib, elektr tokini hosil qilish uchun tashqi energiya manbai talab etiladi.

Elektr tokini kvant-fizik yondashuvda tahlil qilishda elektronlarning impuls fazosidagi harakati muhim ahamiyatga ega. Elektronlarning tezligi energiyaning to'lqin soniga bog'liqligi orqali aniqlanadi. Bu bog'lanish elektronlarning drift harakati va tok zichligini tushuntirish imkonini beradi. Shu bilan birga, elektronlarning panjara tebranishlari, ya'ni fononlar bilan o'zaro ta'siri elektr qarshilikning paydo bo'lishiga olib keladi. Harorat oshishi bilan fononlar sonining ko'payishi elektronlarning tarqalishini kuchaytiradi va elektr o'tkazuvchanlik kamayadi.

Kvant statistikasi elektr tokini tavsiflashda muhim nazariy asos hisoblanadi. Elektronlar fermionlar sinfiga mansub bo'lib, ular Pauli taqiqlash prinsipi asosida bir xil kvant holatini egallay olmaydi. Shu sababli elektronlarning energiya holatlari bo'yicha taqsimlanishi Fermi–Dirak statistikasi orqali ifodalanadi. Ushbu taqsimot elektr o'tkazuvchanlikning haroratga, material turiga va elektron konsentratsiyasiga bog'liqligini tushuntirib beradi.

Nanoo'lchamli tizimlarda kvant effektlarining roli yanada ortadi. Bunday tizimlarda elektronlar ballistik rejimda harakatlanishi mumkin, ya'ni ular deyarli to'qnashuvsiz siljiydi. Bundan tashqari, kvant tunnellanish hodisasi elektr tokini hosil bo'lishida muhim rol o'ynaydi. Elektronlar klassik fizika nuqtayi nazaridan yengib bo'lmaydigan potensial to'siqlardan ehtimollik asosida o'tishi mumkin. Ushbu hodisa tunnel diodlari, skanerlovchi tunnel mikroskoplari va kvant tranzistorlarining ishlash prinsipi asosini tashkil etadi.

Shuningdek, kvant interferensiyasi va elektronlarning fazaviy uygʻunligi elektr tokini boshqarishda yangi imkoniyatlar yaratadi. Elektronlarning toʻlqin xususiyatlari sababli ular oʻzaro interferensiyaga kirishib, tokning kuchi va yoʻnalishiga taʼsir koʻrsatishi mumkin. Bu hodisalar kvant kompyuterlar va yuqori aniqlikdagi elektron qurilmalarni yaratishda muhim ahamiyat kasb etadi. Umuman olganda, elektr tokini kvant-fizik yondashuv asosida tahlil qilish elektr oʻtkazuvchanlik jarayonlarining mikroskopik mohiyatini ochib beradi. Ushbu yondashuv zamonaviy fizika va texnologiyaning istiqbolli yoʻnalishlari — nanoelektronika, kvant axborot texnologiyalari va ilgʻor yarimoʻtkazgich qurilmalarini rivojlantirish uchun mustahkam nazariy asos boʻlib xizmat qiladi.

Elektr oʻtkazuvchanlikning kvant modeli

Metall va yarimoʻtkazgichlarda elektr toki elektronlarning energiya zonalari boʻylab siljishi bilan bogʻliq. Elektr tok zichligi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$\vec{j} = nq\vec{v}_d$$

bu yerda:

n — erkin zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi,

q — elektron zaryadi,

v_d — elektronlarning drift tezligi.

Kvant yondashuvda drift tezligi elektronlarning impulsiga bogʻliq:

$$\vec{v} = \frac{1}{\hbar} \nabla_k E(k)$$

bu yerda:

$1/\hbar$ — qisqartirilgan Plank doimiysi,

$E(k)$ — energiya—to‘lqin soni bog‘lanishi.

KLASSIK VA KVANT YONDASHUVLARNING TAQQOSLANISHI

1-jadval

Mezon	Klassik yondashuv	Kvant-fizik yondashuv
Elektron harakati	Zarracha sifatida	To‘lqin–zarracha dualizmi
Energiya	Uzluksiz	Diskret
Statistik model	Maksvell–Boltsman	Fermi–Dirak
O‘tkazuvchanlik	O‘rtacha tezlikka bog‘liq	Energiya zonalariga bog‘liq
Nanoo‘lchamda qo‘llanishi	Cheklangan	Yuqori aniqlik

Jadvalda keltirilgan tahlillar shuni ko‘rsatadiki, elektr tokini tushuntirishda klassik va kvant-fizik yondashuvlar o‘rtasida tub farqlar mavjud. Klassik yondashuv elektr tokini zaryadlangan zarrachalarning makroskopik harakati sifatida izohlab, asosan yirik o‘lchamli va oddiy elektr tizimlarini tavsiflashda samarali hisoblanadi. Biroq ushbu yondashuv elektronlarning to‘lqin xususiyatlari, energiya sathlarining diskretligi hamda kvant statistikasi kabi muhim jihatlarni hisobga olmaydi.

Kvant-fizik yondashuv esa elektr tokini elektronlarning kvant holatlari va energiya zonolari orqali tahlil qilib, mikro va nanoo‘lchamli tizimlarda yuzaga keladigan hodisalarni aniqroq izohlash imkonini beradi. Jadvaldan ko‘rinib turibdiki, kvant modeli Fermi–Dirak statistikasi, tunnel effekti va ballistik o‘tkazuvchanlik kabi hodisalarni qamrab olishi bilan ajralib turadi. Ayniqsa, zamonaviy nanoelektronika va yarimo‘tkazgich qurilmalarida elektr tokini modellashtirishda kvant-fizik yondashuvning ustunligi yaqqol namoyon bo‘ladi.

Shu bois, elektr tokini kompleks va chuqur tahlil qilishda klassik yondashuvdan boshlanib, kvant-fizik model bilan boyitilgan integrallashgan yondashuvdan foydalanish ilmiy va amaliy jihatdan eng maqbul hisoblanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Griffiths D. J. **Introduction to Quantum Mechanics**. — Pearson Education, 2018.
2. Cohen-Tannoudji C., Diu B., Laloë F. **Quantum Mechanics**. — Wiley, 2006.
3. Kittel C. **Introduction to Solid State Physics**. — Wiley, 2005.
4. Ashcroft N. W., Mermin N. D. **Solid State Physics**. — Brooks/Cole, 1976.
5. Datta S. **Electronic Transport in Mesoscopic Systems**. — Cambridge University Press, 1997.
6. Landau L. D., Lifshitz E. M. **Kvant mexanikasi**. — Moskva: Nauka, 1989.