

YARIM O'TKAZGICHLI ATOMLARNING TEBRANISHLARI VA GARMONIK YAQINLASHISHDAGI KRISTALL PANJARA TEBRANISHLARI

Muhammadaliyeva Irodaxon Yo'ldashali qizi

Qo'qon davlat unversiteti

Fizika va astronomiya kafedrası

Annotatsiya

Ushbu maqolada yarim o'tkazgich kristallaridagi atomlarning issiqlik tebranishlari, garmonik yaqinlashish doirasida kristall panjara tebranishlarining tavsifi, bir atomli va ikki atomli zanjir modellari, akustik va optik tebranish tarmoqlari, fonon tushunchasi hamda panjara tebranishlarining yarim o'tkazgichlarning issiqlik sig'imi, issiqlik o'tkazuvchanligi va elektron harakatchanligi kabi xossalari ta'siri sodda va tushunarli tilda yoritilgan.

Kalit so'zlar: kristall panjara, garmonik yaqinlashish, fonon, dispersiya qonuni, akustik tarmoq, optik tarmoq, Debay modeli, Eynshteyn modeli, Brilluyen zonasi.

Yarim o'tkazgichlar zamonaviy elektronikaning asosini tashkil etadi. Kremniy, germaniy, galliy arsenidi kabi materiallarning fizik xossalari chuqur tushunish uchun ularning kristall tuzilishini va undagi atomlarning harakatini o'rganish zarur.

Ideal kristalda atomlar fazoda qat'iy davriy tartibda, ya'ni kristall panjara tugunlarida joylashgan deb qaraladi. Biroq bu faqat birinchi taxminiy tasavvurdir. Haqiqatda atomlar mutlaq noldan farqli har qanday haroratda o'z muvozanat holatlari atrofida uzluksiz tebranib turadi. Hatto mutlaq nol haroratda ham kvant mexanikasining noaniqlik prinsipi tufayli nolinchil tebranishlar mavjud bo'ladi, ya'ni atomlar hech qachon to'la tinch holatda bo'lmaydi.

Atomlarning bu tebranishlari yarim o'tkazgichlarning juda ko'p muhim xossalari belgilaydi. Bularga panjaraning issiqlik sig'imi, issiqlik o'tkazuvchanlik, elektr o'tkazuvchanlik va zaryad tashuvchilar harakatchanligining haroratga bog'liqligi, yorug'likning yutilishi va sochilishi, issiqlikdan kengayish hodisalari kiradi.

Kristalda atomlar soni nihoyatda katta bo'lgani va ular orasidagi o'zaro ta'sir kuchlari murakkab xarakterga ega bo'lgani uchun panjara dinamikasini to'liq tavsiflash juda qiyin masaladir. Shu sababli nazariyada garmonik yaqinlashish deb ataluvchi soddalashtirilgan, lekin juda samarali model qo'llaniladi.

Kristaldagi ikki qo'shni atom orasidagi o'zaro ta'sir energiyasi atomlar orasidagi masofaga bog'liq bo'lib, u ikki qarama-qarshi ta'sirning natijasidir. Katta masofalarda tortishish kuchlari ustunlik qiladi, bu kuchlar bog'lanish tabiatiga, ya'ni kovalent, ion

yoki boshqa turdagi bog'lanishga ko'ra yuzaga keladi. Kichik masofalarda esa elektron qobiqlarning bir biriga kirib borishi tufayli itarishish kuchlari keskin ortadi.

Natijada potensial energiya egri chizig'i ma'lum bir masofada minimumga ega bo'ladi. Bu nuqta atomning muvozanat holatiga mos keladi. Kremniy va germaniy kabi yarim o'tkazgichlarda bog'lanish asosan kovalent tabiatga ega bo'lib, atomlar tetraedrik tuzilishni, ya'ni olmos tipidagi panjarani hosil qiladi.

Atom muvozanat holatidan ozgina chetlashganda potensial energiyani matematik qator shaklida tasvirlash mumkin. Garmonik yaqinlashishning mohiyati shundaki, bu qatorda faqat siljishning kvadratiga proporsional bo'lgan had saqlab qolinadi, yuqori tartibli hadlar esa tashlab yuboriladi. Bunday yaqinlashishda atomga ta'sir etuvchi kuch siljishga proporsional va unga qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi, ya'ni Guk qonuniga bo'ysunadi. Bu xuddi prujinaga osilgan yuk holatiga o'xshaydi. Bunday kuch ta'siridagi atom garmonik ossillyator kabi sinusoidal qonun bo'yicha tebranadi.

Garmonik yaqinlashishning asosiligi shundan kelib chiqadiki, oddiy haroratlarda atomlarning tebranish amplitudasi atomlararo masofaning bir necha foizidan oshmaydi, shu sababli tashlab yuborilgan hadlar juda kichik tuzatish kiritadi xolos.

Shu bilan birga garmonik yaqinlashishda tushuntirib bo'lmaydigan hodisalar ham mavjud. Bularga jismlarning issiqlikdan kengayishi, fononlarning o'zaro to'qnashuvi tufayli yuzaga keladigan chekli issiqlik o'tkazuvchanlik va elastiklik xossalari haroratga bog'liqligi kiradi. Bu hodisalarni tushuntirish uchun angarmonik, ya'ni yuqori tartibli hadlarni hisobga olish talab etiladi.

Kristall panjara tebranishlarining asosiy qonuniyatlarini eng sodda model, ya'ni bir xil atomlardan tuzilgan chiziqli zanjir misolida tushunish qulay. Bu modelda massalari bir xil bo'lgan atomlar to'g'ri chiziq bo'ylab teng masofalarda joylashgan va har bir atom faqat o'zining eng yaqin ikki qo'shnisi bilan xayoliy prujinalar orqali bog'langan deb hisoblanadi.

Agar biror atom muvozanat holatidan chetlashsa, qo'shni atomlar tomonidan unga qaytaruvchi kuch ta'sir qiladi. Bir atomning harakati qo'shnilariga, ulardan esa keyingilariga uzatiladi. Natijada zanjir bo'ylab elastik to'lqin tarqaladi. Bunday to'lqinning chastotasi uning to'lqin uzunligiga bog'liq bo'ladi va bu bog'lanish dispersiya qonuni deb ataladi.

Dispersiya qonunining tahlili bir nechta muhim xulosalarga olib keladi.

Birinchi, to'lqin uzunligi atomlararo masofadan ancha katta bo'lgan uzun to'lqinlar uchun chastota to'lqin soniga chiziqli bog'liq bo'ladi. Bu odatiy tovush to'lqiniga mos keladi va bunday holatda kristall o'zini uzluksiz elastik muhit kabi tutadi. To'lqinning tarqalish tezligi kristalldagi tovush tezligiga teng bo'ladi.

Ikkinchi, to'lqin uzunligi atomlararo masofaga yaqinlashganda chastota o'zining maksimal qiymatiga erishadi va to'lqinning tarqalish tezligi nolga aylanadi.

Bu holatda to'lqin yugurma emas, balki turg'un to'lqinga aylanadi, chunki u panjara tomonidan to'liq qaytariladi. Demak, kristallda tebranish chastotalarining yuqori chegarasi mavjud va undan yuqori chastotali to'lqinlar panjarada tarqala olmaydi.

Uchinchidan, barcha fizik jihatdan har xil tebranishlarni to'lqin sonlarining cheklangan oralig'ida qarash kifoya. Bu oraliq birinchi Brilliyen zonasi deb ataladi. Bundan tashqarida yotgan to'lqin sonlari atomlarning aynan o'sha harakatini takrorlaydi, chunki to'lqin faqat atomlar joylashgan alohida nuqtalardagina namoyon bo'ladi.

To'rtinchidan, chekli kristallda mumkin bo'lgan tebranish modalari soni zanjirdagi atomlar soniga teng bo'ladi. Bu umumiy va muhim natija bo'lib, tebranish modalari soni tizimning erkinlik darajalari soniga teng ekanligini bildiradi.

Ko'pchilik yarim o'tkazgichlar, masalan galliy arsenidi, elementar yacheykasida ikki xil atom bo'lgan kristallardir. Kremniy va germaniyda atomlar bir xil bo'lsa ham, elementar yacheykada ikkita atom mavjud. Shu sababli ikki atomli zanjir modeli yarim o'tkazgichlar fizikasi uchun ayniqsa muhimdir.

Yarim o'tkazgich kristallaridagi atomlar har qanday haroratda muvozanat holatlari atrofida tebranib turadi va bu tebranishlar materialning issiqlik, elektr va optik xossalari tub jihatdan belgilaydi.

Garmonik yaqinlashish panjara dinamikasini bir biridan mustaqil tebranuvchi normal modalar tiliga keltiradi va masalani aniq yechish imkonini beradi. Bir atomli zanjirda bitta akustik tarmoq mavjud bo'lsa, elementar yacheykasida bir nechta atom bo'lgan kristallda akustik tarmoqlar bilan birga optik tarmoqlar ham paydo bo'ladi. Akustik tebranishlarda yacheyka atomlari birgalikda, optik tebranishlarda esa qarama-qarshi fazada harakatlanadi.

Tebranishlarning kvantlari bo'lgan fononlar Boze Eynshteyn statistikasiga bo'ysunuvchi kvazizarrachalar bo'lib, ular yordamida issiqlik sig'imi, issiqlik o'tkazuvchanlik, zaryad tashuvchilar harakatchanligi va optik hodisalar izchil tushuntiriladi. Debay modeli past haroratlardagi issiqlik sig'imining kublar qonunini va yuqori haroratlardagi Dyulong va Pti qonunini to'g'ri ifodalaydi.

Issiqlikdan kengayish va chekli issiqlik o'tkazuvchanlik kabi hodisalar esa garmonik yaqinlashishdan tashqariga chiqishni, ya'ni angarmonizmni hisobga olishni talab qiladi.

Panjara dinamikasi nazariyasi zamonaviy yarim o'tkazgich texnologiyasining, jumladan termoelektrik materiallar yaratish, mikrosemalarda issiqlikni boshqarish va nanostrukturalarda fonon muhandisligi sohalarining ilmiy poydevori bo'lib xizmat qilmoqda.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Rasulov R. Y. Yarim o'tkazgichlar fizikasi. O'quv qo'llanma. Farg'ona davlat universiteti, Farg'ona.

2. Rasulov R. Y., Rasulov V. R. va boshq. Qattiq jismlar va yarim o'tkazgichlar fizikasidan ma'ruzalar to'plami. Farg'ona davlat universiteti 3. Ansel'm A. I. Yarim o'tkazgichlar nazariyasiga kirish. Moskva, Nauka, 1978.
3. Bonch-Bruyevich V. L., Kalashnikov S. G. Yarim o'tkazgichlar fizikasi. Moskva, Nauka, 1990.
4. Born M., Huang K. Dynamical Theory of Crystal Lattices. Oxford, Clarendon Press, 1954.
5. Yu P. Y., Cardona M. Fundamentals of Semiconductors. Springer, 2010.