

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI

OLIY TA'LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI

FARG'ONA DAVLAT UNIVERSITETI

**FarDU.
ILMIY
XABARLAR**

1995-yildan nashr etiladi
Yilda 6 marta chiqadi

1-2025
ANIQ FANLAR

**НАУЧНЫЙ
ВЕСТНИК.
ФерГУ**

Издаётся с 1995 года
Выходит 6 раз в год

MATEMATIKA

U.X.Xonqulov

Geometriyada o'rganiladigan trigonometrik masalalar haqida 4

A.KYusupova, Sh.X.Nabijonov

Ikki o'lchovli Romanovski taqsimoti haqida 10

A.O.Mamanazarov, Sh.B.Mahmudjonova

Inverse source problem for a degenerate subdiffusion equation..... 17

FIZIKA TEXNIKA

N.Sh.Nurolliyev, B.A.Sadulloyev

Qurilish materiallarida avtomatlashgan alfa test qurilmasi yordamida qattiq jismlar defarmatsiyasini o'rganish 28

A.I.Azamatov

Solar insolation analysis tools for residential buildings in healthy living environment design 36

Sh.Shuxratov, N.Yunusov

Takomillashtirilgan ishchi qismga ega bo'lgan arrali jinni ishlab chiqish..... 44

J.Y.Roziqov, Q.Q.Muhammadaminov

Atmosfera qattalaridan diffuz ravishda o'tgan va qaytgan quyosh nurlanish oqimlarini spektral va burchak taqsimotini hisoblash..... 47

M.T.Нормурадов, К.Т.Довранов, А.Р.Кодиров, Д.НормуминоваФормирование нанофазных пленок $\text{Cu}_{15}\text{Si}_4/\text{Si}$ на поверхности кремния и их электрофизические свойства 51**A.Otaxo'jayev, Sh.R.Komilov, R.M.Muradov**

Jinlash jarayonini takomillashtirish asosida tola sifatini yaxshilash. 59

I.A.Muminov, D.B.Ahmadjonova

Brilluen zonalarining kristall panjaradagi elektron xususiyatlarni aniqlashdagi ahamiyati..... 66



UO'K: 538.915: 535.34

**BRILLUEN ZONALARINING KRISTALL PANJARADAGI ELEKTRON
XUSUSIYATLARNI ANIQLASHDAGI AHAMIYATI****ЗНАЧЕНИЕ ЗОН БРИЛЛЮЭНА В ОПРЕДЕЛЕНИИ ЭЛЕКТРОННЫХ СВОЙСТВ
КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ****THE IMPORTANCE OF BRILLOUIN ZONES IN DETERMINING THE ELECTRONIC
PROPERTIES OF A CRYSTAL LATTICE****Muminov Islomjon Arabboyevich¹** ¹Farg'ona davlat universiteti, fizika-matematika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)**Ahmadjonova Diyoraxon Bahromjon qizi²**²Farg'ona davlat universiteti, Fizika yo'nalishi talabasi**Annotatsiya**

Ushbu maqolada Brilluen zonalarining kristall panjaradagi elektron xususiyatlarni aniqlashdagi ahamiyati tahlil qilinadi. Brilluen zonasi kristall panjarasining simmetriya xususiyatlari bilan bog'liq bo'lib, elektronlarning energiya spektrini va ularning kvant holatlarini belgilashda muhim rol o'ynaydi. Maqola davomida birinchi Brilluen zonasining tuzilishi va yuqori tartibli zonalarining o'ziga xosligi ko'rib chiqiladi. Shuningdek, elektron tarmoqli tuzilishi va materiallarning elektr, optik va magnit xususiyatlariga ta'siri tahlil qilinadi.

Аннотация

В данной статье анализируется значение зон Бриллюэна в определении электронных свойств кристаллической решетки. Зона Бриллюэна связана с симметрией кристаллической решетки и играет важную роль в определении энергетического спектра электронов и их квантовых состояний. В статье рассматривается структура первой зоны Бриллюэна, а также особенности зон более высокого порядка. Кроме того, анализируется влияние зон Бриллюэна на электронную зонную структуру и электрические, оптические и магнитные свойства материалов.

Abstract

This article analyzes the significance of Brillouin zones in determining the electronic properties of a crystal lattice. The Brillouin zone is associated with the symmetry properties of the crystal lattice and plays a crucial role in defining the energy spectrum of electrons and their quantum states. The article examines the structure of the first Brillouin zone as well as the characteristics of higher-order zones. Additionally, the impact of Brillouin zones on the electronic band structure and the electrical, optical, and magnetic properties of materials is analyzed.

Kalit so'zlar: Brilluen zonasi, kristall panjarsi, elektron tarmoqli tuzilishi, kvant mexanika, energiya spektri, yarimo'tkazgichlar, materialshunoslik.

Ключевые слова: Зона Бриллюэна, кристаллическая решетка, электронная зонная структура, квантовая механика, энергетический спектр, полупроводники, материаловедение.

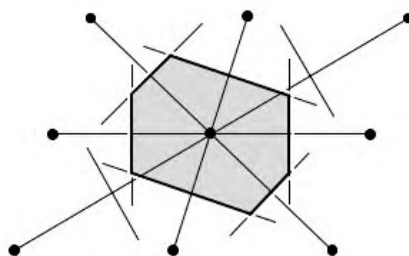
Key words: Brillouin zone, crystal lattice, electronic band structure, quantum mechanics, energy spectrum, semiconductors, materials science.

KIRISH

Brilluen zonasi - bu kristall panjaraning impuls fazosidagi yagona ta'riflangan elementar panjara bo'lib, u Blox funksiyalari orqali tavsiflanadi. Bu funksiyalar kristall panjarasidagi elektronlarning kvant holatlarini ifodalaydi. Elektr maydonining ta'siri natijasida, Brilluen zonasidagi elektronlar taqsimlanishi siljishi va energiya spektrida o'zgarishlar kuzatiladi. Brilluen zonalar qattiq jismlar fizikasida kristallning o'zaro panjarasini o'z ichiga olgan tushunchadir. Ular kristallar davriy tuzilmalarning simmetriyasini hamda elektronlar va fononlar kabi to'liqlarning harakatini o'rganish uchun ishlatiladi.

ADABIYOTLAR TAHLILI VA METODOLOGIYA

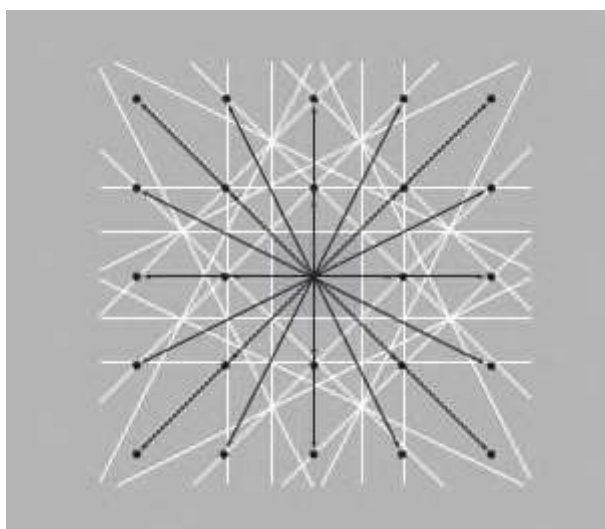
Brilluen zonalari o'zaro fazoda koordinatali to'r vektorlari bilan kesishgan tekisliklarni o'zaro bog'lash orqali quriladi. Birinchi Brilluen zonasi - bu har qanday boshqa o'zaro panjara nuqtasiga qaraganda boshlang'ichga yaqinroq bo'lgan tekisliklar bilan o'ralgan kichik hajm. Yuqori tartibli Brilluen zonalari xuddi shunday tarzda, keyingi davriy takrorlanishlar to'plamidan foydalangan holda qurilgan.



1-rasm. Wigner-Seitz kristall panjarasi

Har bir Brilluin zonasi yuqorida tavsiflangan to'lqinlar uchun bir qator mumkin bo'lgan to'lqin vektorlarini ifodalaydi. Masalan, kristalldagi elektronlar holatida Brilluen zonasi elektron momentining ruxsat etilgan tarmog'ini aniqlaydi.

Kristall panjarada uch o'lchamli panjara hosil qilish uchun kristall barcha yo'nalishlarda davriy ravishda takrorlanadi. Brilluen zonasi kristall panjara bilan diffraksiyalanishi mumkin bo'lgan barcha to'lqin vektorlarini o'z ichiga olgan fazoning sohasidir. U o'zaro panjara vektorlarining o'rta nuqtalarini bog'lash orqali tuzilgan o'zaro panjaraning Wigner-Seitz panjarasi sifatida aniqlanadi. Ular odatda o'zaro fazoda ko'pburchaklar yoki ko'pburchaklar sifatida tasvirlangan, yuzlar soni kristall simmetriya bilan belgilanadi. Birinchi Brilluen zonasi ko'pincha oddiy kubik panjaralarda muntazam oktaedr yoki kub, olti burchakli panjaralarda olti burchakli prizma va yuz markazli kubik panjaralarda kesilgan oktaedr sifatida ko'rsatilgan. Yuqori tartibli zonalar shakli murakkablashadi va ularni tasavvur qilish qiyinroq bo'ladi.



2-rasm Kvadrat ichiga o'zaro panjara qora chiziqlar sifatida ko'rsatilgan. Markazdagi kvadrat Wigner-Seitz o'zaro panjaraning yacheykasi hisoblanadi. U birinchi Brilluen zonasi deb ataladi.

Brilluen zonasi tushunchasi muhim ahamiyatga ega, chunki u bizga kristall panjaraning elektron xususiyatlarini tushunish imkonini beradi. Kristalning elektron tarmoqli tuzilishi elektronlarning kristall panjaraning davriy potentsiali bilan o'zaro ta'siri bilan aniqlanadi. Brillouin

zonasidagi elektron tarmoqli strukturasi tahlil qilib, biz materialning elektr o'tkazuvchanligi, optik xususiyatlari va magnit xususiyatlari kabi elektron xususiyatlarini aniqlashimiz mumkin.

Brilluen zonasi bilan bog'liq bir qancha muhim tushunchalar mavjud, jumladan, birinchi Brilluen zonasi, bu o'zaro panjaraning kelib chiqishini o'z ichiga olgan eng kichik Brilluen zonasi va Brilluen zonasi yuzasi bilan kesishadigan sohada bo'lgan zona chegarasi. Zona chegarasi muhim ahamiyatga ega, chunki u kristalning elektron xususiyatlarini aniqlaydi. Brilluen zonalarini materiallarning elektron tarmoqli tuzilishini tahlil qilish uchun keng mazmunni kasb etadi va materialshunoslik, kondensatsiyalangan moddalar fizikasi va qattiq jismlar elektronikasi kabi qator sohalarda muhim ahamiyatga ega. Kvadrat uchun 2-rasmda kristalning Fourier fazosi ko'rsatilgan.

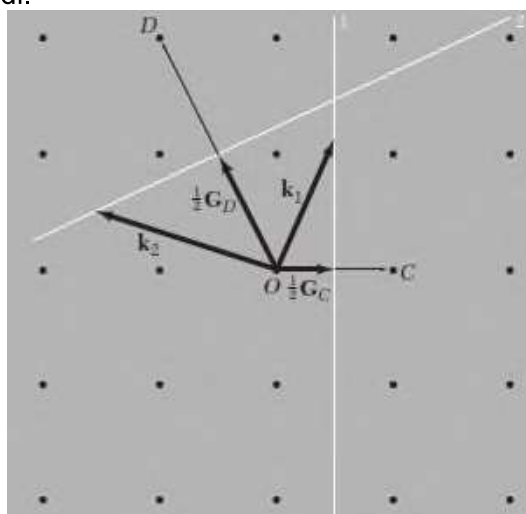
NATIJA VA MUHOKAMA

Brilluen qattiq jismlar fizikasida eng ko'p qo'llaniladigan difraksiya holatini bayon qildi, bu elektron energiya zonasi nazariyasini va boshqa turdagi elementar qo'zg'alishlarni tavsiflashda muhim imkoniyatlarni ochib berdi. Brilluin zonasi o'zaro panjaradagi sifatida aniqlanadi. (To'g'ridan-to'g'ri panjaradagi ko'rinishi 1-rasmda ko'rsatilgan.)

Brilluen zonasi $2\vec{k} \cdot \vec{G} = G^2$ tenglamaning difraksiya shartining geometrik mazmunini beradi. Yuqoridagi ifodani ikkala tomonni 4 ga bo'lamiz

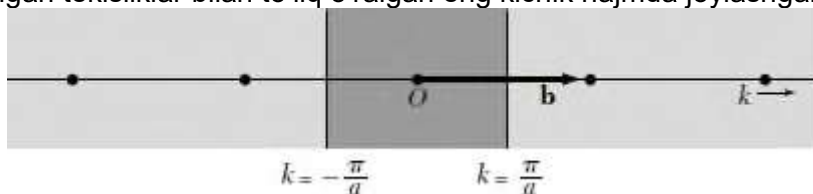
$$\vec{k} \cdot \left(\frac{1}{2}\vec{G}\right) = \left(\frac{1}{2}G\right)^2 \quad (1)$$

Endi biz o'zaro fazoda, $\vec{k}$ va $\vec{G}$ vektorlarning fazosida ishlaymiz. $\vec{a}$ ni shunday tanlaylikki unda $\vec{G}$ vektor koordinata boshidan o'zaro panjara nuqtasiga urinma tarzda yo'nalgan bo'lsin. Shunday to'g'ri chiziqlar chizaylikki, uning o'rta nuqtasi $\vec{G}$ vektoriga mos keladigan bo'lsin. Bu tekislik zona chegarasining bir qismini tashkil qiladi (3-rasm). $\vec{k}$ to'lqin vektorli rentgen nurlari kristallarda difraksiyalanadi.



3-rasm. Bu rasmda O nuqta yaqinidagi o'zaro panjara nuqtalari o'zaro panjaraning hosil bo'lishi tasvirlangan. O'zaro panjara $\vec{G}_C$ vektor OC nuqtalarini tutashtiradi va $\vec{G}_D$ esa OD nuqtalarni birlashtiradi. 1 va 2 perpendikulyar bo'lgan ikkita tekislik chizilgan, mos ravishda bu tekisliklar $\vec{G}_C$ va $\vec{G}_D$ ning bissektrisalari bo'lib qoladi.

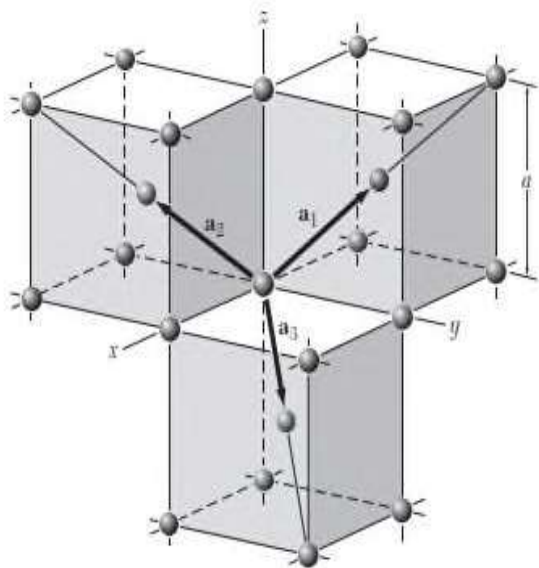
O'zaro panjara vektorlari perpendikulyar bissektrisalar bo'lgan tekisliklar to'plami to'lqinlarning tarqalishi nazariyasida umumiy ahamiyatga ega. O'zaro panjaradagi markaziy yacheyka alohida ahamiyatga ega. U birinchi Brilluen zonasi deb ataladi. Birinchi Brilluen zonasi perpendikulyar bo'lgan tekisliklar bilan to'liq o'ralgan eng kichik hajmda joylashgan.



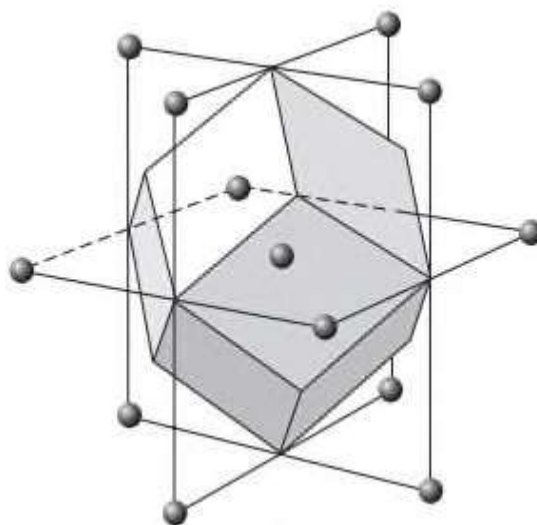
4-rasmda bir o'lchamdagi kristall va o'zaro panjaralar to'lqin vektori fazosida tasvirlangan. O'zaro bazis vektori uzunligi b ga teng bo'lgan eng qisqa o'zaro to'r vektorlari

FIZIKA-TEXNIKA

boshlang'ichdan $2\pi/a$ masofada yotadi Bu vektorlarning perpendikulyar bissektoralari birinchi Brilluen zonasining chegaralarini tashkil qiladi. Bunda to'liq in vektor $k = \pm\pi/a$ qiymatlarni qabul qiladi.



5.a-rasm. Kristall panjarasining bazis vektorlari (kubik panjara).

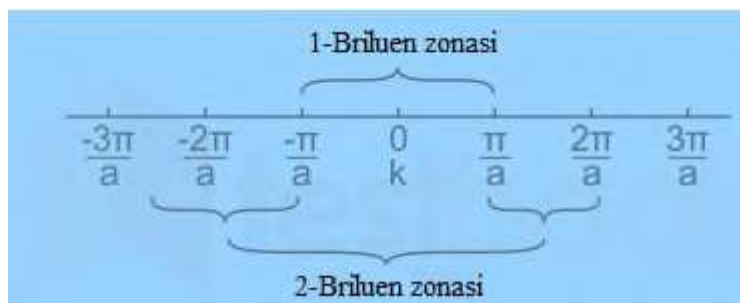


5.b-rasm. Kristallning birinchi Brilluen zonasi, markazlashtirilgan kubik panjara. (rombsimon dodekaedr).

Birinchi Brilluen zonalarining chegaralari oltita normal tekisliklardan iborat bo'lib, ular o'rta nuqtalarida o'zaro panjara vektorlarini hosil qiladi:

$$\pm \frac{1}{2} b_1 = \pm (\pi/a) \hat{x}; \quad \pm \frac{1}{2} b_2 = \pm (\pi/a) \hat{y}; \quad \pm \frac{1}{2} b_3 = \pm (\pi/a) \hat{z} \quad (2)$$

Bir kubni qirras $\frac{2\pi}{a}$ va hajmi $\left(\frac{2\pi}{a}\right)^3$ bo'lsa bu oltita tekislik kub bilan bog'laydi, hamda u panjara kristall panjarasining birinchi Brilluen zonasi hisoblanadi.



6-rasmda 1-va 2-Brilluen zonalari tasvirlangan.

XULOSA

Ushbu maqolada Brilluen zonalarining kristall panjaradagi elektron xususiyatlarni aniqlashdagi ahamiyati keng tahlil qilindi. Kuzatish davomida Brilluen zonalarining hosil bo'lish mexanizmi, ularning kristall panjaraning simmetriyasi bilan bog'liqligi hamda elektronlarning energiya spektrini belgilashdagi roli o'rganildi. Birinchi Brilluen zonasining geometriyasi va yuqori tartibli zonalarining shakllanish qonuniyatlari aniqlandi. Olingan natijalarga ko'ra, Brilluen zonalar kristall panjaraning elektron tarmoqli tuzilishini aniqlashda muhim ahamiyatga ega ekanini isbotlandi. Elektronlarning kvant holatlari va ularning harakat trayektoriyalari Brilluen zonasining chegaralari bilan aniqlanadi, bu esa materiallarning elektr, optik va magnit xususiyatlariga bevosita ta'sir qiladi. Shuningdek, tadqiqotda kristall panjaradagi diffraksiya va energiya zonalarining oralig'idagi o'zaro bog'liqlik ham o'rganildi.

ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Kittel, C. *Introduction to Solid State Physics* (8th ed.), Wiley. (2005).
2. Ashcroft, N. W., Mermin, N. D. *Solid State Physics*. Holt, Rinehart and Winston. (1976).
3. Ibach, H., Lüth, H. *Solid-State Physics: An Introduction to Principles of Materials Science*. Springer. (2009).
4. Brillouin, L. *Wave Propagation in Periodic Structures*. Dover Publications. (1953).
5. Bloch, F. "Über die Quantenmechanik der Elektronen in Kristallgittern." *Zeitschrift für Physik*, 52, 555–600. (1929).