

Shahobiddinov Bahodir Baxtiyor o'g'li

Namangan Davlat universiteti, PhD

To'xtabayev Ozodbek Dilshod o'g'li

Namangan davlat universiteti talabasi

ozodbektuhtaboev@gmail.com

+99897 828 08 48

SIMMETRIK VA ASSIMMETRIK KVANT O'RADA ELEKTRON DISPERSIYASI.

Annotatsiya: Ushbu maqolada bir o'lchamli kvant o'ralarda elektron dispersiyasi masalasi tahlil qilingan. Tadqiqot simmetrik va assimetrik potensial o'ralar uchun olib borilib, har ikki holatda elektronlarning energiya spektrlari va dispersiya munosabatlari ko'rib chiqilgan. Natijalar shuni ko'rsatadiki, o'raning simmetriyasi elektron holatlarining degeneratsiyasi va dispersion xususiyatlariga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Olingan xulosalar nanotuzilmalar fizikasi va kvant qurilmalarni loyihalashda muhim amaliy ahamiyat kasb etadi.

Kalit so'zlar: simmetrik kvant o'ra, assimetrik kvant o'ra, elektrton dispersiyasi

Шахобиддинов Баходир Бахтиер угли

Наманганского государственного университета, PhD

Тохтабаев Озодбек Дилшод угли

Студент Наманганского государственного университета

ozodbektuhtaboev@gmail.com

+99897 828 08 48

ДИСПЕРСИЯ ЭЛЕКТРОНОВ В СИММЕТРИЧНЫХ И АССИММЕТРИЧНЫХ КВАНТОМЫХ ЯМАХ

Аннотация: В данной статье рассматривается задача дисперсии электронов в одномерной квантовых ямах. Исследование проведено как для симметричных, так и для асимметричных потенциальных ям. В обоих случаях рассмотрены энергетические спектры и дисперсионные зависимости электронов. Результаты показывают, что симметрия ямы существенно влияет на вырождение электронных состояний и их дисперсионные характеристики. Полученные выводы имеют важное практическое значение для физики наноструктур и проектирования квантовых устройств.

Ключевые слова: симметричная квантовая яма, асимметричная квантовая яма, дисперсия электрона

Shahobiddinov Bahodir

ELECTRON DISPERSION IN SYMMETRIC AND ASYMETRIC QUANTUM WELLS

Abstract: *This article analyzes the problem of electron dispersion in one-dimensional quantum wells. The study is conducted for both symmetric and asymmetric potential wells, and in both cases, the energy spectra and dispersion relations of electrons are examined. The results show that the symmetry of the well significantly affects the degeneracy of electron states and their dispersion characteristics. The conclusions obtained have important practical significance for the physics of nanostructures and the design of quantum devices.*

Key words: *symmetric quantum well, asymmetric quantum well, electron's dispersion.*

KIRISH. So'nggi yillarda nanotuzilmalar va kvant tizimlarning fizik xossalari o'rganish zamonaviy fizikaning eng dolzarb yo'nalishlaridan biriga aylandi. Xususan, kvant o'ralar (quantum wells) – bu bitta yoki bir nechta o'lchamlarda elektronlarning harakatini cheklovchi kvant tizimlardir. Ular yarimo'tkazgichli geterotuzilmalarda, xususan, optoelektronika va nanoelektronika qurilmalarida keng qo'llaniladi. Kvant o'rada elektronlarning energiyasi diskret bo'lib, bu ularning dispersiya xossalari o'zgartiradi. Elektron dispersiyasi deganda, elektron energiyasini to'lqin vektoriga yoki impulsiga bog'liqligi tushuniladi.

Adabiyotlar tahlili va tadqiqot metodologiyasi. Kvant o'ralar va ularning xossalari fizika sohalari rivojlana boshlagandan buyon dolzarb ahamiyatga ega bo'lib kelmoqda. Birinchilardan bo'lib, L. Esaki va R. Tsu tomonidan yarimo'tkazgichli superpanjaralar konsepsiyasining ishlab chiqilishi [1] kvant o'ralarning tajriba va nazariy modellarini rivojlantirishga turtki bo'ldi. Shundan so'ng, Bastard [2] va Harrison [3] singari olimlar tomonidan kvant o'ralardagi elektron holatlari, energiya spektrlari va dispersiya munosabatlari keng tahlil qilingan.

Ko'plab ishlarda simmetrik kvant o'ralar doimiy yoki paraboloid shakldagi potentsiallar asosida o'rganilgan bo'lib, bu holatda to'lqin funksiyalari va energiya darajalari soddaroq shaklda olinadi. Aksincha, assimetrik o'ralarda dispersiya xossalari murakkablashadi va ko'pincha sonli yondashuv talab etiladi [4].

Zamonaviy nanotuzilmalarda potensial profilni real sharoitda moslashtirish (masalan, gradientli yoki bosqichli o'zgaruvchan potensial) orqali simmetriya

darajasi boshqarilishi mumkin, bu esa qurilmalarda kerakli xossalarga erishishida muhim hisoblanadi [5,6].

Shuningdek, kvant oʻralar asosida ishlab chiqilgan lazerlar, detektorlar va kvant nuqtachalari texnologiyalari koʻplab amaliy ishlanmalarga asos boʻlgan.

Kvant oʻrada elektron dispersiyani kuzatish uchun biz Shrediger tenglamasini yechamiz va uni grafiklarini Maple dasturi orqali chizamiz. Yakunda simmetrik va asimmetrik holatlar orasidagi dispersiya farqlarini aniqlab, fizik talqin beramiz.

Nazariy qism. Bir tomoni V_1 potensialga ega va ikkinchi tomoni V_2 potensialga ega assimmetrik kvant oʻrani koʻrib chiqaylik, tasvirlangan [7]. Potensial z oʻqi boʻyicha qoʻyilgan. Zarracha x va y oʻqi boʻyicha erkin boʻlsin. Oʻra kengligi L .

Kvant oʻranining har bir sohasi uchun toʻlqin funksiyalarni yozamiz.

$$\varphi_1 = A_1 \exp(qz) \quad (1)$$

$$\varphi_2 = A_2 \sin(kz) + A_3 \cos(kz) \quad (2)$$

$$\varphi_3 = A_4 \exp(-\kappa z) \quad (3)$$

Toʻlqin vektorlari quyidagi koʻrinishda boʻladi:

$$q^2 = \frac{2m^*(V_1 - E)}{\hbar^2} \quad (4)$$

$$k^2 = \frac{2m^*E}{\hbar^2} \quad (5)$$

$$\kappa^2 = \frac{2m^*(V_2 - E)}{\hbar^2} \quad (6)$$

Bu yerda: m^* oʻra tubidagi moddani effektiv massasi $\hbar = \frac{h}{2\pi}$; h Plank doimiysi

Yuqoridagi toʻlqin funksiyalarni Shredinger tenglamasi orqali yechamiz va chegaraviy shartlar boʻyicha toʻlqin funksiyalarni va ularni hosilalarini tenglab chiqamiz.

$$\varphi_1(0) = \varphi_2(0) \quad (7)$$

$$\varphi_2(L) = \varphi_3(L) \quad (8)$$

$$\frac{d\varphi_1}{dz} \Big|_{z=0} = \frac{d\varphi_2}{dz} \Big|_{z=0} \quad (9)$$

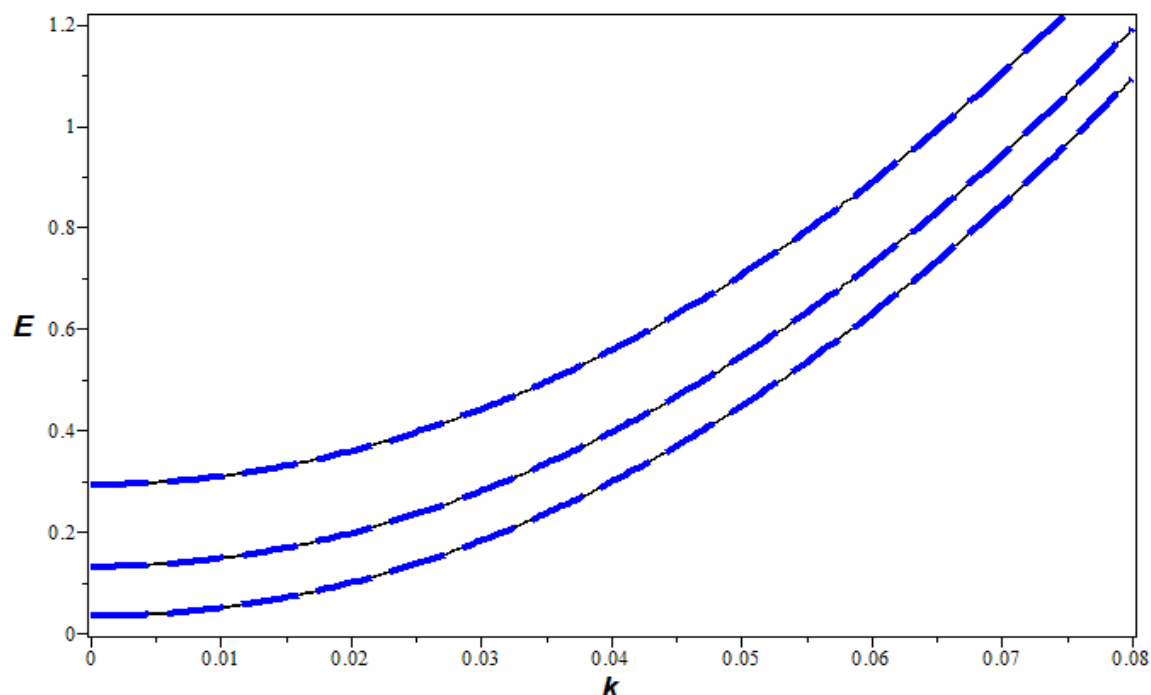
$$\frac{d\varphi_2}{dz} \Big|_{z=L} = \frac{d\varphi_3}{dz} \Big|_{z=L} \quad (10)$$

Murakkab boʻlgan transsendent tenglamalarni yechib energiyani quyidagi ifodasini topdik.

$$E = E_0 \left(\pi n - \arcsin \sqrt{\frac{E}{V_1}} - \arcsin \sqrt{\frac{E}{V_2}} \right)^2 \quad (11)$$

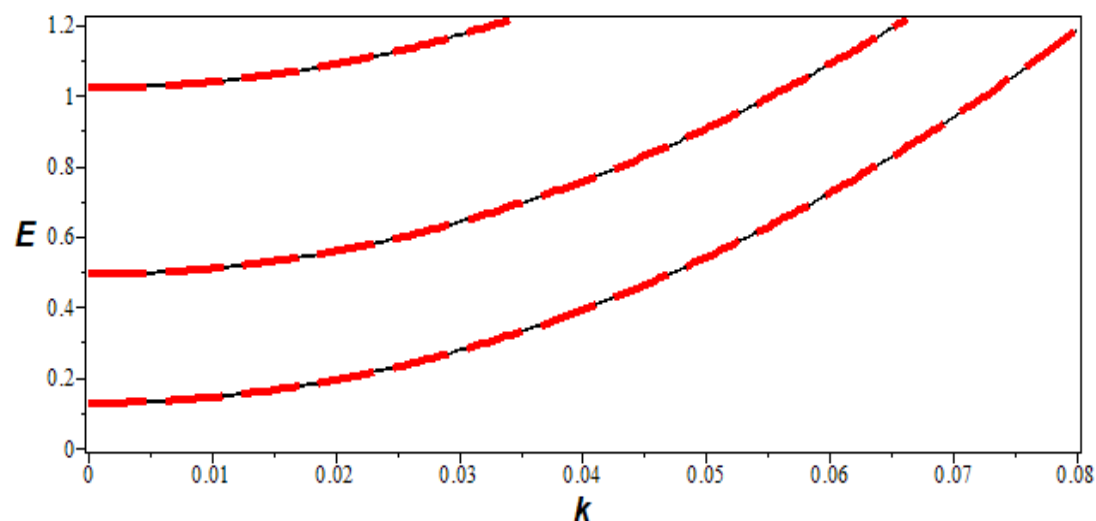
Muhokama va natijalar. 11-ifodada koʻrinib turganidek energiya tenglikning ikki tomonida ham mavjud boʻlib, uni yechish murakkab hisoblanadi. Shu bois, Maple

dasturi yordamida raqamli yechimlarni topib yarimo'tkazgichli modda InAs uchun $E(k)$ grafikni chizdik. 1-rasm.



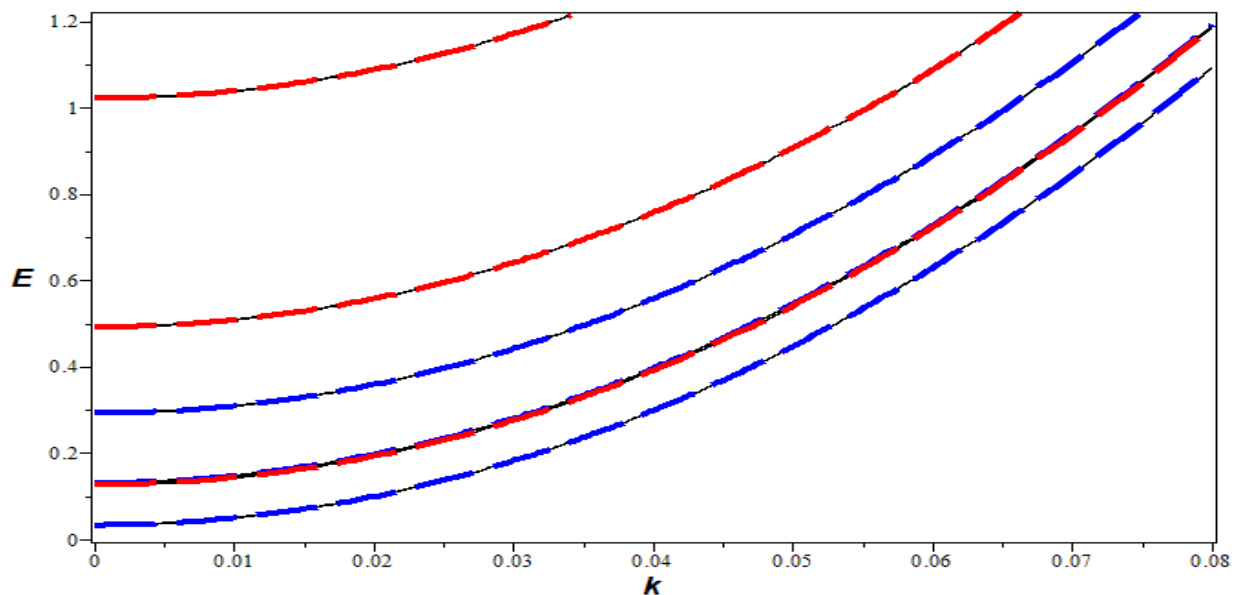
1-rasm. Assimmetrik kvant o'radagi elektronning dispersiyasi.

7-ifodadagi V_1 va V_2 ni bir xil qiymatli qilib oladigan bo'lsak, kvant o'ramiz simmetrik ko'rinishga o'tadi va u uchun ham dispersiya qonunini chiza olamiz. Simmetrik kvant o'ra uchun dispersiya qonuni 2-rasmga tasvirlangan.



2-rasm. Simmetrik o'radagi elektron dispersiyasi.

Grafiklardan ko'rinib turibdiki simmetrik kvant o'rani bir tomonidagi potensialni kamaytirib assimmetrik kvant o'ra hosil qilsak, energetik sathlar pastga siljir ekan, buni yaqqol qilib 4-rasmga ko'rishimiz mumkin.



3-rasm. Simmetrik va asimmetrik holdagi elektron dispersiyasi umumiy ko'rinishi.

Qizil chiziqlar simmetrik o'radagi elektron dispersiyasini, ko'k rangdagi parabolik chiziqlar asimmetrik kvant o'radagi elektron dispersiyasini ifodalaydi.

Xulosa. Simmetrik va asimmetrik o'ralarda energetik sathlar turlicha bo'lar ekan. Bu xulosani biz simmetrik kvant o'ra uchun dispersiya qonunini chizib, keying holatda o'rani bir tomonidagi potensialni ma'lum bir qiymatga kamaytirdik, qolgan barcha parametrlarni o'zgarmas saqlagan holda (o'ra kengligi, modda turi). Demak, kvant o'rani potentsiali ortgani sari energetik sathlar ham yuqoriga siljiydi, potensial balandligi kamaygani sari pastga tushadi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati.

1. L. Esaki and R. Tsu, *IBM Journal of Research and Development*, 14(1), 61–65 (1970).
2. G. Bastard, *Wave Mechanics Applied to Semiconductor Heterostructures*, Les Editions de Physique (1988).
3. P. Harrison, *Quantum Wells, Wires and Dots: Theoretical and Computational Physics of Semiconductor Nanostructures*, Wiley (2000).
4. R. C. Miller et al., *Phys. Rev. B*, 24, 1134 (1981).
5. B. K. Ridley, *Quantum Processes in Semiconductors*, Oxford (2013).
6. D. K. Ferry & S. M. Goodnick, *Transport in Nanostructures*, Cambridge University Press (1997);
7. В. П. Драгунов, В. А. Гридчин, *Основы нанoeлектроники*, (2006).
8. П. Д. Давидов, *Анализ и расчет тепловых режимов полупроводниковых*, Москва, (1967)