



UDK:[53.096: 538.915]: 378.4

Shahrizoda SAVUROVA,

O'zbekiston Milliy universiteti huzuridagi Nanotexnologiyalarni rivojlantirish markazi tayanch doktoranti

E-mail:abdugulom-81@mail.ru

P.f.d I.Shernazarov taqrizi asosida

SPECIFIC ASPECTS OF QUANTUM HALL EFFECTS IN TEACHING THE FUNDAMENTALS OF NANOPHYSICS IN HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS

Annotation

This article examines the specific aspects of the quantum Hall effect in teaching the basics of nanophysics in higher education institutions.

Key words: Quantum Hall effect, tunnel effect, single-electron tunnel, charge, potential, barriers, crystal, periodic field, electron motion.

СПЕЦИФИКА КВАНТОВЫХ ЭФФЕКТОВ ХОЛЛА В ПРЕПОДАВАНИИ ОСНОВ НАНОФИЗИКИ В ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ

Аннотация

В статье рассматриваются особенности применения квантовых эффектов Холла при преподавании основ нанофизики в высших учебных заведениях.

Ключевые слова: Квантовый эффект Холла, туннельный эффект, одноэлектронное туннелирование, заряд, потенциал, барьеры, кристалл, периодическое поле, движение электронов.

OLIIY TA'LIM MUASSASALARIDA NANOFIZIKA ASOSLARINI O'QITISHDA XOLLNING KVANT EFFEKTLARINING O'ZIGA XOS JIHATLARI

Annotatsiya

Ushbu maqolada Oliy ta'lim muassasalarida Nanofizika asoslari fanini o'qitishda Xollning kvant effektlarining o'ziga xos jihatlari ko'rib chiqilgan.

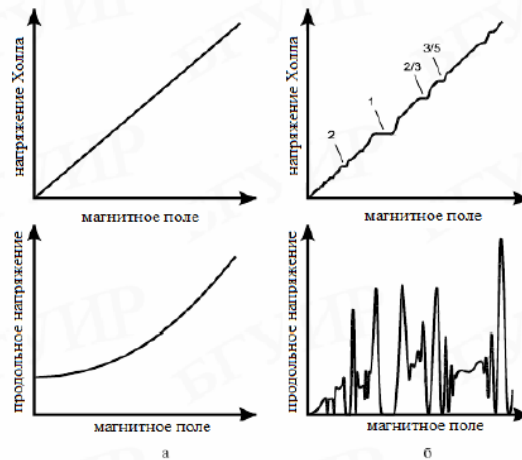
Kalit so'zlar: Kvant Xoll effekti, tunnel effekti, yagona elektronli tunnel, zaryad, potentsial, to'siqlar, kristal, davriy maydon, elektronlar harakati.

Kirish. Past haroratlarda ikki o'lchovli elektron gazni o'z ichiga olgan nanootkazgichlarda elektronlar harakatini kuzatsak ularning qarshiligi klassik qonunlar chegarasidan chetga chiqqanligini ko'ramiz. Yetarlicha kuchli maydonda kuchlanishning magnit maydoniga nisbatan bog'lanish grafigida bir qancha uzilishlar (platolar) paydo bo'ladi (1.b - rasm). Bu hodisa kvant Xoll effekti deb ataldi. Bu effekt birinchi marta Klaus fon Kliting va uning hamkasblari tomonidan 1980 yilda metall-oksidi yarim o'tkazgichli tuzilishga ega kremniyli maydon tranzistorlarini o'rganayotganda kuzatilgan. Ular uzilishlarga to'g'ri keladigan hududlarda Xoll qarshiligi kvantlangan bo'lishi kerakligini va uning qiymati

$$R_H = \frac{h}{ie^2},$$

aniqlanishini ko'rsatib berdilar, bu yerda h Plank doimiysi va i butun songa teng kattalikdir. Bu effekt integral kvant Xoll effekti deb ataladi. Kvant Xoll effekti yordamida qarshilik kvanti h/e^2 yuqori aniqlik bilan o'lchangan va hozir bu qarshilik standart qarshilik hisoblanadi. Ikki yil o'tgach, integral kvant Xoll effektining kvantlanish darajasi $i = p/q$, aniqlandi, bu yerda p butun va q toq sonlardir. Bu hodisa kasr kvant Xoll effekti deb ataladi.

E



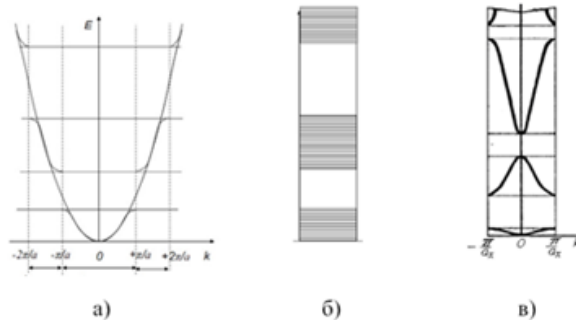
rasm Klassik (ω) va kvant (ν) Xoll effektlarining qiyosiy xususiyatlari

Kasr kvant Xoll effektining kvantlanish bilan bog'liq bo'lgan holati shundan iboratki, metall-oksid-yarim o'tkazgichli nanotuzilmalarda ma'lum kuchlanish va haroratlarda magnit qarshilik R yo'qolib ketadigan darajadagi kichik qiymatlarga kamayadi. Bu kvant Xoll effektining asosiy fizikaviy belgisi hisoblanadi.

Past o'lchamli tuzilmalarda zaryad tashuvchilarni tashish makroskopik tizimlardagi zaryad tashuvchilarning xatti-harakatlari bilan solishtirganda mutlaqo yangi bo'lgan ko'plab qiziqarli hodisalarni namoyish etadi. Ular nanostrukturalarning o'lchamlari elektronning fazaviy kogerentlik uzunligidan kichikroq bo'lganda o'zlarini aniq namoyon etadilar. O'zaro ta'sir qilmaydigan elektron to'lqinlarning fazalari bunday tuzilmalar orqali o'tish davomida doimiy saqlanib qolganligi sababli, turli fazali to'lqinlar bir-biriga duch kelganda interferensiya effektlarini kuzatish tabiiydir.

Yuqorida muhokama qilingan kvant o'lchamli effektlar o'zini namoyon qiladigan nanostrukturalar, odatda, kristal panjaraga ega bo'lgan qattiq holatdagi obyektlardir. Shuning uchun elektronlar harakatini vakuumda emas, balki kristalning davriy maydonida ko'rib chiqish kerak. Vakuumdagi elektron uchun uning energiyasi parabolik qonun bo'yicha to'lqin vektoriga bog'liq bo'ladi. Ammo, kristalning davriy maydonida, aniqrog'i Bryo'llen zonalarining chekkalarida bu bog'liqlik buziladi (2.a-rasm). Har bir Bryo'llen zonasida elektronlar uchun ko'plab ruxsat etilgan energiya sathlari mavjud bo'lib, zonalar chegaralarida taqiqlangan energiya sathlari mavjud bo'ladi. Shunday qilib, kristalda harakatlanuvchi elektronlar uchun ruxsat etilgan va taqiqlangan energiya sathlari mavjud (2.b-rasm), bu kristallarning elektr o'tkazuvchanlik xususiyatlarini belgilab beradi.

E

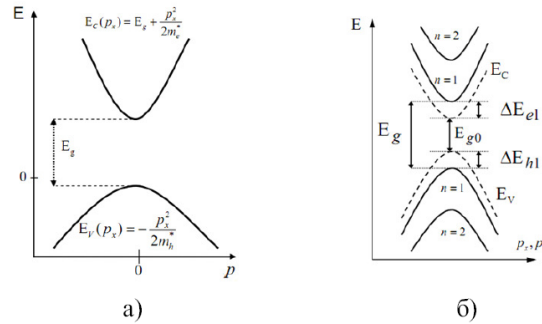


2-rasm. Kristalning davriy maydonidagi elektronlar uchun dispersiya qonuni $E(k)$ ruxsat etilgan va taqiqlangan energiya zonalarini (b), (tor) qisqartirilgan Bryo'llen zonasi uchun dispersiya qonuni (ν)

Barcha Bryo'llen zonalarini elektron sathlarga ega bo'lib, ular birinchi Bryo'llen zonasi holatiga fizik jihatdan ekvivalentdir, va kristalning energiya holatlarining spektrini bitta qisqartirilgan Bryo'llen zonasi deb ataladigan zona orqali ifodalash imkonini beradi. (2.v-rasm). Qisqartirilgan Bryo'llen

zonasida kristalning elektr va optik xususiyatlarini tahlil qilish uchun, asosan, ikkita yuqori ruxsat etilgan zonalar, ya'ni valentlik zonasi va o'tkazuvchanlik zonasi qo'llaniladi, chunki bu zonalarida erkin zaryad tashuvchilar joylashgan. 2.a-rasmda yuqoridagi o'tkazuvchanlik zonasidagi elektronlarga

bog'liqlik, pastki qismidagi valentlik zonasidagi teshiklarga bog'liqlik chiziqlari ko'rsatilgan. Elektronlarga minimal bog'liqlik, shuningdek, teshiklar uchun maksimal bog'liqlik (bu "to'g'ridan-to'g'ri bo'shliq" deb ataladigan yarimo'tkazgichlar uchun to'g'ri keladi) o'rinli bo'ladi. O'tkazuvchanlik zonasining pastki qismiga yaqin joyda dispersiya qonuni kvadratga yaqin bo'lishi mumkin, lekin ko'p hollarda ushbu bog'liqlik ancha murakkab tabiatga ega.



3-rasm "To'g'ridan-to'g'ri bo'shliq" yarimo'tkazgichdagi elektronlar va teshiklar uchun dispersiya munosabatlari: oddiy yarim o'tkazgich (a) va ikki o'lchovli yupqa plyonka (b)

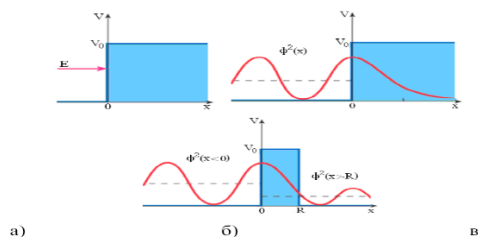
Bunda elektron va teshik tashuvchilar hech qanday fazoviy cheklolrsiz harakatlanadigan butun yarimo'tkazgich uchun amal qiladi. Bunday cheklolrs mavjud bo'lganda (masalan, yupqa plyonkada), paydo bo'ladigan kvant o'lchamli effektlar tufayli dispersiya munosabatlarining tabiati o'zgaradi. Bu tashuvchilarning plyonka yuzasiga perpendikulyar yo'nalishda harakat qilgan holatida (to'siqlar orqali) energiya sathlarning kvantlanishida o'zini namoyon qiladi (3.b-rasm).

Tunnel effekti kvant mexanik effekti bo'lib, uning mohiyati shundaki, mikrozarachaning potensial energiyasi to'siq balandligidan katta bo'lganida u potensial to'siqni yengib o'ta oladi. Shuni ta'kidlash kerakki, to'siq orqali bunday o'tish (tunnel) paytida elektronning umumiy energiyasi o'zgarishsiz qoladi. Tunnel effekti - bu kvant hodisa bo'lib u klassik mexanikada amal qilmaydi va uning qonunlariga mutlaqo zid. Agar energiyasi $E(k)$ bo'lgan

zarracha potensial to'siqqa kelib urilsa (4.a-rasm), u to'siqdan o'tishi yoki qaytishi mumkig bo'lgan ehtimoli $Y(x)$ to'liq funksiyasi orqali aniqlanadi (4.b-rasm). To'liq funksiyasining

kvadrati $Y^2(x)$ koordinata fazosida mikrozarachani topish ehtimoli zichligini aniqlaganligi sababli, bu zarracha to'siq chegarasini yorib o'tishi yoki qaytishi mumkinligini anglatadi. Agar to'siqning qalinligi chekli bo'lsa (4.v-rasm), unda zarracha bunday to'siqdan tunnel hodisasi asosida o'tishi mumkin. Tunnel o'tish ehtimoli qancha katta bo'lsa, zarracha massasi va potensial to'siqning qalinligi shunchalik kichik

bo'ladi, shuningdek, zarracha energiyasi E va potensial V_0 to'siqning balandligi o'rtasidagi farq shunchalik kichik bo'ladi.



4-rasm Tunnel effektining sxemasi (a), mikrozarachaning to'liq funksiyasi cheksiz qalinlikdagi to'siq uchun (b) va cheklangan qalinlikdagi to'siq uchun (v)

Tunnel effekti bir qator fizikaviy hodisalarda namoyon bo'ladi: yadrolarning alfa parchalanishi, tashqi elektr maydoni ta'sirida atomlarning tunnel ionlanishi, metallning yarim o'tkazgich bilan o'zaro aloqasida elektronlarning tunnellanish jarayonlari.

Ma'lumki, o'tkazgichdagi elektr toki panjara ionlariga nisbatan elektronlar harakatidan kelib chiqadi. Har bir elektron diskret birlik zaryadiga ega bo'lsa-da, ular tomonidan uzatiladigan umumiy zaryad kutilgandek keskin o'zgar olmaydi, lekin doimiy ravishda o'zgaradi, chunki bu zaryad barcha elektronlarning ionlarga nisbatan siljishlari yig'indisi bilan

belgilanadi. O'tkazgichlardagi erkin elektronlar ixtiyoriy kichik masofalarga siljishi mumkin. Shuning uchun ular tomonidan uzatiladigan umumiy zaryad elektronning birlik zaryadidan kamroq diskretlik bilan monoton ravishda o'zgaradi.

Yupqa dielektrik bilan ajratilgan ikkita o'tkazgichdan tashkil topgan kontaktli tizimda elektr zaryadi umumiy tarzda - o'tkazgich orqali uzluksiz doimiy ravishda va dielektrik orqali diskret ravishda uzatiladi. O'tkazgich va dielektrik o'rtasidagi oraliq elektr neytraldir. Kontaktlarga tashqi elektr potensial qo'llanilganda, o'tkazgichdagi zaryadning

miqdorining o'zgarishi boshlanadi. Bu dielektrik bilan uning chegarasida zaryadning to'planishiga olib keladi. Bu zaryad o'tkazgichning chegara hududida elektronlarning muvozanat holatiga nisbatan kichik uzluksiz siljishi tufayli yuzaga keladi.

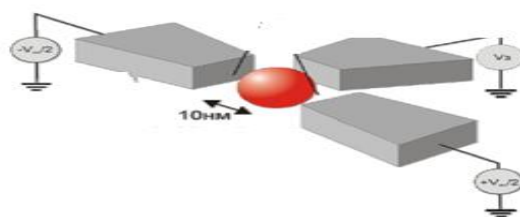
To'plangan umumiy zaryad $+e/2$ dan ("oldinga" yo'nalishda tunnel) yoki $-e/2$ dan kamroq ("teskari" yo'nalishda tunnel) bo'lganda, elektron dielektrik orqali tunnel o'tishga qodir bo'ladi, chunki faqat shu holatda. tizimning elektrostatik energiyasi kamayadi.

Yagona elektronli tunneldan foydalanadigan elektron qurilmalar tunnel o'tish joylari bilan bog'langan bir yoki bir nechta kvant nuqtalaridan - elektrodlardan iborat bo'ladi. Eng oddiy bitta elektronli qurilma bitta elektronli element bo'lib, u ikki to'siqli tizimdan tashkil topgan. Uning asosida murakkab bir elektronli tranzistorlar yaratilgan.

Bir elektronli tranzistor

1986 yilda sovet olimlari K.K. Lixarev va D.V. Averin Kulon blokadasini (to'sish) effektiga asoslangan bitta elektronli tranzistor modelini taklif qildilar. Ushbu effekt kontaktlardagi elektronlarning itarilishi tufayli elektronlarning kvant nuqtasi orqali (ikki tunnel kontakti o'rtasida bog'langan) o'tishini blokirovka qilish, shuningdek kvant nuqtaga birlashtirilgan Kulon potensial to'sig'idan iborat. Kolumb blokadasini elektronning kvant nuqtadan chiqib ketishiga, shuningdek, yangi elektronlarning unga kirishiga to'sinlik qiladi. Kolumb

blokadasini yengib o'tish uchun potensial to'siqning balandligini pasaytirish yoki elektronning energiyasini oshirish talab etiladi. Bir elektronli tranzistorning tuzilmasi va ishlash prinsipini batafsil ko'rib chiqaylik. Yarimo'tkazgich maydon tranzistori kabi, manba, tarmoq va to'siq deb ataladigan uchta elektrodga ega. Elektrodlar orasidagi maydonda (5-rasm) qo'shimcha metall yoki yarimo'tkazgich "nanoorol" mavjud- bu nanozarracha yoki nanometr o'lchamdagi klaster bo'lib, elektrodlardan dielektrik qatlamlar bilan ajratilgan va u orqali ma'lum sharoitlarda elektronlar harakati sodir bo'lishi mumkin. Agar tranzistorning manbai va tarmoq o'rtasiga kuchlanish qo'yilsa, oqim o'tishi sodir bo'lmaydi, chunki elektronlar to'silgan. Oqim paydo bo'lishi uchun elektrod potensialini oshirish talab etiladi. Elektrod potentsiali ma'lum bir chegara qiymatidan yuqoriga ko'tarilgandagina to'siq (blokada) buziladi, elektron to'siqdan o'ta oladi va oqim manba-tarmoq zanjiri bo'ylab oqib chiqib boshlaydi. Bunday holda, elektr toki zanjirda alohida ma'lum tarmoqlarga bo'linadi, bu yagona elektronlarning harakatlariga mos keladi. Shunday qilib, elektrod potentsialini oshirish orqali elektronlarning tunnel oqimini hosil qilish mumkin. Elektronlarning bunday tunnel oqimini o'lchamlari 10 nm bo'lgan kvant tuzilmalarda - tranzistorlarda amalga oshirish mumkin.



5-rasm. Bir elektronli tranzistor

Yagona elektronli tranzistorlarning afzalliklari ularning kichik o'lchamlari (bir necha atomlar hajmiga qadar) va u bilan bog'liq bo'lgan yuqori darajadagi integratsiyalashuv imkoniyati, shuningdek, juda kam quvvat sarflashidir. Bir elektronli tranzistorlar yordamida sxemalarda mantiqiy operatsiyalarni amalga oshirish uchun ikkita usul ishlab chiqilgan. Ulardan birida bir bit axborot bitta elektron orqali ifodalanadi yoki uzatiladi. Yagona elektronli qurilmalar

elektronlarni ketma-ket o'tkazish, ya'ni ma'lumotlarning har bir bitini ketma-ket tarzda boshqarish imkonini beruvchi qurilmalar sifatida qo'llaniladi. Boshqa usulda, bir bit ma'lumot klassik mikroelektronikada bo'lgani kabi, elektronlar dastasi orqali ifodalanadi va uzatiladi. Quvvat iste'moli va barqarorlik nuqtai nazaridan birinchi usul afzalroqdir.

ADABIYOTLAR

1. Komil Muqimov. Mitti bunyodkorlar yoxud nanotexnologiyalar nima?, "Kamalak" nashriyoti, Toshkent-2017.
2. Suzdalev, I.P. Nanotexnologiyalar: nanoklasterlar, nanostrukturalar va nanomateriallarning fizikasi va kimyosi. M.: KomKniga, 2006.- 592 b.
3. Gusev, A.I. Nanokristalli materiallar. M.: Fizmatlit, 2000. - 224 b.
4. Andriyevskiy R.A., Ragulya A.V.. Nanostrukturali materiallar. Kiyev: Akademiya, 2005, 185 b.
5. Poole C.Jr., Ouyens F.. Nanatexnologiyalar. Trans. Ingliz tilidan tarj. Yu. I. Golovina. M.: Texnosfera, 2006, 336 b.
6. Belyavskiy V.I.. Yarimo'tkazgich nanotexnologiyalarining fizik asoslari. Soros ta'lim jurnali, 1998 yil, № 10, bet. 92-98.
7. Ivanov, V.K. Metall klasterlarning elektron xususiyatlari. Soros ta'lim jurnali - 1999. - № 8. - S. 97.
8. Gusev, A.I. Nanomateriallar, nanostrukturalar, nanotexnologiyalar. A.I. Gusev. - M.: Fizmatlit, 2005. - 416 b.
9. Gleyter X.. Nanostrukturali materiallar: asosiy tushunchalar va mikrostruktura. Acta Materiya. 2000, № 48, 1-29 b.
10. Yeletskiy A.V.. Uglerod nanotubalari va ularning emissiya xossalari. UFN, 2002, 172, №4, 401-438 b.
11. Osipyan Yu.A., V.V. Fullerenlar zamonaviy texnologiya uchun yangi moddalardir. Metallurgiya, 1997 yil, №1, 2-6 b.
12. Binnig G., Rorer G.. Skanerli tunnel mikroskopi (fizika bo'yicha Nobel ma'ruzalari - 1986). UFN, 1988, T. 154, №. 2, p. 261-278 b.
13. Abdumalikovna, S. S. (2025). Some issues of the development of nanophysics, nanotechnologies and nanoproduction. Medicine, pedagogy and technology: theory and practice, 3(3), 97-106.