

IKKI O'LCHAMLI YARIMO'TKAZGICHLARDA FERMI ENERGIYASINING OSSILLYATSISIYASIGA KVANTLOVCHI MAGNIT MAYDONNING TA'SIRI

Mirzayev Jasurbek Israilovich

“Informatsion texnologiyalar” kafedrasida dotsenti, NamMTI

E-mail: jasmirfir@gmail.com

ANNOTATSIYA

Nanoo'lchamli yarimo'tkazgichli materiallarda Fermi energiya ossillyatsiyalariga kvantlovchi magnit maydon va haroratning ta'siri o'rganiladi. Kvantlovchi magnit maydon ta'sirida nanoo'lchamli yarimo'tkazgichli materialning Fermi energiyasi kvantlanganligi ko'rsatilgan. Kichik o'lchamli yarimo'tkazgichlarda Fermi-Dirak taqsimot funksiyasiga kuchsiz magnit maydon va yuqori haroratning ta'siri o'rganilgan.

Kalit so'zlar: yarimo'tkazgich, kvantlovchi magnit maydon, Landau sathlari, Fermi energiyasi, ossilyatsiya.

Ma'lumki, k-bo'shliqda $E(k)=\text{const}$ izoenergiya sirtlari yopiladi va shar shaklida ifodalanadi. Ruxsat etilgan energiya holatlari doimiy zichlikka ega $V/8\pi^3$ va k-bo'shliqda taqsimlanadi. Bu erda V - kristalning hajmi. Pa'uli prinsipiga ko'ra: elektronning 2 ta qarama-qarshi spin xolati k ning har bir qiymatini shakllantirishini e'tiborga olsak, Barcha to'ldirilgan xolatlarining to'liq kattaligi kristalning V - birlik hajmida k_F dan katta bo'lmaydi va k_F quyidagicha aniqlanadi

$$\frac{4}{3}\pi k_F^3 \frac{2V}{8\pi^3} = N^{3d} \quad (1)$$

Elektronlar sistemasi Fermi-Dirak statistikasiga bog'liq va asosiy holatdagi energiya mutlaq nol haroratda, eng katta bo'ladi:

$$E_F = \frac{\hbar^2 k_F^2}{2m} \quad (2)$$

E_F – uch o'lchamli elektron gaz uchun Fermi energiyasi. Izotopik tarqalish qonuniga asosan Fermi yuzasi radiusi k_F bo'lgan sferik shaklga ega bo'ladi. Yuqorida faqat uch o'lchamli materiallar uchun ko'rib chiqilgan va ikki o'lchamli elektron gazlaridagi Fermi energiyasining ossillyatsiyasidagi o'zgarishlarni ko'rilmagan.

Ikki o'lchamli elektron gaz uchun ruxsat etilgan energiya holatlari doimiy zichlikka ega $S/4\pi^2$ va XY tekislikda taqsimlanadi. Bu erda S - bu kristalning sirt

maydoni. Bundan (1) va (2) formulalar yordamida ikki o'lchamli elektron gaz uchun elektron konsentratsiyasini aniqlaymiz:

$$N^{2d} = 4\pi k_F^2 \frac{2L^2}{4\pi^2} \quad (3)$$

Bundan:

$$k_F^{2d} = \frac{1}{L} \left(\frac{\pi N^{2d}}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Endi biz parabolik dispersiya qonuni yordamida ikki o'lchamli elektron gaz uchun Fermi energiyasini hisoblaymiz. (3) ni (4) ga almashtirib, magnit maydon bo'lmagan hol uchun ikki o'lchamli elektron gazlaridagi Fermi energiyasini aniqlash mumkin:

$$\mu^{2d} = \frac{p_\mu^2}{2m} = \frac{\pi \hbar^2 N^{2d}}{4mL^2} \quad (5)$$

Bu erda, N^{2d} - ikki o'lchamli elektron gaz uchun elektronlar konsentratsiyasi, L^2 - harakat tekisligining yuzasi, p_μ - Fermi impulsi.

Magnit maydonga perpendikulyar bo'lgan tekislik harakatida elektronlarning klassik traektoriyalari davriy aylanalardir. Kvant fizikasida elektronlarning bunday traektoriyalari (elektronning davriy aylanishi) bir xil masofali diskret Landau sathlaridir:

$$E_n = \hbar \omega_c \left(n_L + \frac{1}{2} \right) \quad (6)$$

Bu erda, n_L - Landau sathlarining soni. $\omega_c = \frac{eH}{mc}$ -siklotron chastotasi.

Ma'lumki, uch o'lchamli yarimo'tkazgichlarda (6) formulaning energiya spektriga uzluksiz kvadratik energiya spektri $\frac{p_z^2}{2m}$ qo'shiladi. Biroq, ikki o'lchamli yarimo'tkazgichlarda elektronlarning Z o'qi bo'ylab harakatlanishi kvantlangan.

Darhaqiqat, d kvant o'raning qalinligi o'lchamli kvantlovchi sharti bilan qoplanadi, boshqacha qilib aytganda, qalinlik o'lchami kristaldagi elektronning de-Broyl to'lqin uzunligiga nisbatan yaqin. Elektronning Z o'qi bo'ylab harakatlanishi V_z potentsialidan hisoblanadi:

$$E(k_{fx}, k_{fy}, n_{fz}) = \frac{\hbar^2}{2m} (k_{fx}^2 + k_{fy}^2) + \frac{\pi^2 \hbar^2 n_{fz}^2}{2md^2} \quad (7)$$

(5), (6) ifodalarni (7) ga almashtirib, magnit maydon ishtirokida quyidagi formulani olamiz:

$$\mu_F(H) = \frac{\pi \hbar^2 N^{2d}(H)}{4mL^2} + \frac{\pi^2 \hbar^2 n_{fz}^2}{2md^2} \quad (8)$$

Bir birlik ($L_x L_y = 1$) maydon uchun (8) formulalar hisoblanadi:

$$\mu_F(H) = \frac{\pi \hbar^2 N^{2d}(H)}{4m} + \frac{\pi^2 \hbar^2 n_{fz}^2}{2md^2} =$$

$$\frac{1}{8} \hbar \frac{eH}{mc} \cdot \frac{2\pi \hbar N^{2d}(H)c}{eH} + \frac{\pi^2 \hbar^2 n_{fz}^2}{2md^2} = \frac{1}{8} \hbar \omega_c \nu + \frac{\pi^2 \hbar^2 n_{fz}^2}{2md^2} \quad (9)$$

Bu yerda, $\nu = \frac{2\pi \hbar c N^{2d}(H)}{eH}$ – to‘ldirish koeffitsienti. Bu Landau sathlarining soni,

ular spinining bo‘linishini hisobga olgan holda, kvantlovchi magnit maydonda, mutlaq nol haroratda, elektronlar bilan to‘la bo‘ladi. Ushbu o‘lchovsiz parametr 2D elektron gazlaridagi kvant ossilyatsiya ta’sirlarni muhokama qilishda qulaylik uchun ishlatiladi.

(9) formuladan ko‘rinib turibdiki, agar to‘ldirish koeffitsienti butun son bo‘lsa, unda Fermi energiyalari kvantlanadi, u holda $\frac{1}{8} \hbar \omega_c$ minimal energiya kvanti bo‘ladi, ya’ni (9) formulada birinchi darajadagi energiya uchun aniq qiymat $\nu = 1$ berilgan

$$\mu(H) = \hbar \omega_c \left(\nu + \frac{1}{8} \right) + \frac{\pi^2 \hbar^2 n_{fz}^2}{2md^2} \quad (10)$$

Bu erda to‘ldirish koeffitsienti butun son, $\nu = 0, 1, 2, 3, \dots$

Bundan tashqari, ikki o‘lchamli yarimo‘tkazgichlarda, kvantlovchi magnit maydon ta’sir etganda, elektronlarning energiya spektri diskret bo‘ladi. Fermi energiyasi to‘liq diskret energiya spektrida odatda kvant nuqta bo‘lib xarakterlanadi. Bunda magnit induksiya vektori Z o‘qi bo‘ylab va ikki o‘lchamli qatlam tekisligiga perpendikulyar ravishda yo‘naltiriladi. Ko‘ndalang kvantlovchi magnit maydonida kvant o‘ralari kvant nuqtasiga o‘xshash bo‘ladi, bu vaziyatda uchta harakat yo‘nalishi ham cheklanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI: (REFERENCES)

1. Асадов М.М., Мустафаева С.Н., Гусейнова С.С., Лукичев В.Ф., Тагиев Д.Б. Моделирование структурных и энергетических характеристик атомов в 2D-кристалле GaS с точечными дефектами // ФТТ. 2022. Т.64, вып.1. С.46-59.
2. Расулов В.Р., Расулов Р.Я., Ахмедов Б.Б., Муминов И.А. Межзонный двухфотонный линейно-циркулярный дихроизм в полупроводниках в приближении Кейна // Физика и техника полупроводников. 2022, том 56, вып. 1. С.61-68.
3. Yu Wang, Linlu Wu, Zheng Wei, Zijia Liu, Peng Cheng, Yiqi Zhang, Baojie Feng, Guangyu Zhang, Wei Ji, Kehui Wu, and Lan Chen. Exotic magnetic and electronic properties of layered CrI3 single crystals under high pressure // Phys. Rev. B. 2022. Vol. 105, Iss. 8. L081404: 1-12.

4. Рагимов С.С., Багиев В.Э., Алиева А.И., Саддинова А.А. О ширине запрещенной зоны AgSbSe_2 // Физика и техника полупроводников, 2021, том 55, вып. 4. С.291-298.
5. Zhen Zhang, Jing-Yang You, Xing-Yu Ma, Bo Gu, Gang Su. Kagome quantum anomalous Hall effect with high Chern number and large band gap // Physical Review B. 2021. Vol.103, pp.014410: 1-13.