

THE NATURE OF THE CHEMICAL POTENTIAL OF TWO-DIMENSIONAL ELECTRON GAS

M. S. Tokhirjonov¹,

D. M. Azimjonov¹,

A. A. Akbaraliev

¹Namangan State University, Uyichinskaya 316, Namangan 716019, Uzbekistan

Tel: +998934046258; e-mail: tmahmudjon1992@mail.ru

Abstract: In this paper, using the two-band Kane model, the non-parabolic dispersion of electrons of the velocity of the change in the chemical potential with respect to the temperature of a quasi-two-dimensional electron gas from the chemical potential is analyzed using a two-band Kane model. This does not take into account the processes of electron collisions between themselves and defects, transfer of electrons to local levels or conduction bands in the barrier region due to heat, the influence of the valence band, the influence of an external magnetic field, and other factors. An analytical analysis of the obtained results was carried out. It is shown that the corrections $\propto T$ at low temperatures, in which the non-parabolicity of the band affects the generating maxima.

Keywords: Quantum Well, Non-parabolic dispersion, chemical potential, entropy, Kane model, Fermi level, Sub bands

ИККИ ЎЛЧАМЛИ ЭЛЕКТРОН ГАЗ КИМЁВИЙ ПОТЕНЦИАЛИНИНГ ТАБИАТИ

М.С. Тоҳиржонов¹, Д.М. Азимжонов¹, А.А. Акбаралиев¹

¹Наманган давлат университети, Уйчи кўча 316, 716019, Наманган, Ўзбекистон

Тел: +998934046258; e-mail: tmahmudjon1992@mail.ru

Аннотация: Бу ишда квази икки ўлчовли электрон газининг кимёвий потенциалнинг температура бўйича ўзгариш тезлигини кимёвий потенциалга боғланишида электроннинг нопараболик дисперсияси Кейннинг икки зонали моделидан фойдаланиб таҳлил қилинган. Электронларнинг ўзаро ёки дефектлар билан тўқнашиш жараёни, иссиқлик туфайли электронларнинг тўсиқ соҳадаги локал сатҳларга ёки ўтказувчанлик зонасига ўтиши, валент зона таъсири, ташқи магнит майдон таъсири в.х бошқа факторлар ҳисобга олинмаган. Олинган натижаларнинг аналитик таҳлили ўтказилган. Зонанинг нопараболиклиги ҳосил бўлувчи максимумларга таъсир ўтказиб, паст температураларда $\propto T$ тузатма бериши кўрсатилган.

Калит сўзлар: квант ўра, нопараболик дисперсия, химиявий потенциал, энтропия, Кейн модели, Ферми сатҳи, минизоналар

Кимёвий потенциални температура бўйича ўзгариш тезлиги ($d\mu/dT$) ни кимёвий потенциал (μ) га боғланишида электроннинг нопараболик дисперсияси Кейннинг икки зонали моделидан фойдаланиб таҳлил қилинди [1-3]. Натижаларнинг кўрсатишича, зонанинг нопараболиклиги ҳосил бўлувчи максимумларга таъсир ўтказиб, паст температураларда $\propto T$ тузатма бериши кўрсатилди.

Икки ўлчамли системада зарралар концентрацияси [1-8]:

$$n_s = g_0 \sum_{i=1}^{\infty} \int_0^{\infty} dE (1 + 2\alpha E) f(E) \theta(E - E_i) = \int_0^{\infty} dE g(E) f(E) \quad (1)$$

$$\text{Бунда, } g_0 = \frac{m_n}{\pi \hbar^2}; \quad g(E) = g_0 (1 + 2\alpha E) \sum_{i=1}^{\infty} \theta(E - E_i); \quad f(E) = \frac{1}{e^{\frac{E-\mu}{T}} + 1}$$

Квант ўрадаги зарралар сони ўзгармас сақланади деб ҳисоблаймиз ($n=\text{const}$). Шунга кўра, концентрациясида температура бўйича ҳосила олсак, ўзгармас соннинг ҳосиласи нолга тенг бўлганлигидан, $d\mu/dT$ ни μ га боғланиши учун қуйидагича ифода оламиз:

$$\frac{d\mu}{dT} = \frac{1}{T} \left(\mu - \frac{\sum_{n=1}^M \int_{E_n}^{\infty} E \cdot (1 + 2\alpha E) \frac{\partial f(E)}{\partial E} dE}{\sum_{n=1}^M \int_{E_n}^{\infty} (1 + 2\alpha E) \frac{\partial f(E)}{\partial E} dE} \right) \quad (2)$$

(2) ифодани бир нечта математик соддалаштиришлар бажариб анча қулай кўринишда ёзиб олиш мумкин.

Дастлаб $\mu = E_N$ яъни, резонанс нуқтаси учун таҳлил қилиб кўрайлик. Бунда, $T \ll E_{n+1} - E_n$, $N < M$ деб оламиз.

(2) ифода резонанс нуқта учун қуйидагича содда кўринишни олади:

$$\frac{\partial \mu}{\partial T} = - \frac{\frac{\ln 2}{N-1/2} + 2\alpha T \frac{\pi^2}{3(1+2\alpha E_N)}}{1 + 2\alpha T \frac{\ln 2}{(1+2\alpha E_N)(N-1/2)}} \quad (3)$$

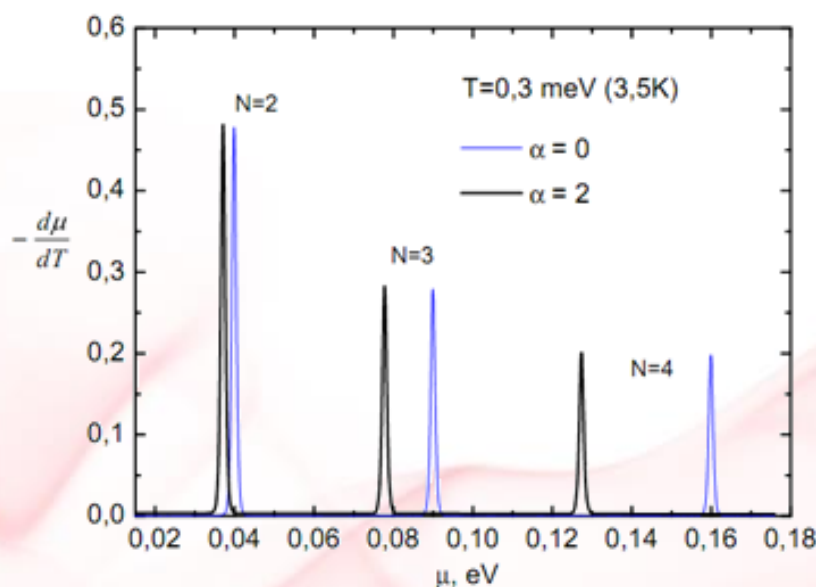
(3) ифодада

$$T \rightarrow 0 \text{ ва } \alpha \rightarrow 0 \text{ бўлса, } \frac{\partial \mu}{\partial T} = - \frac{\ln 2}{N-1/2} \quad (4)$$

кўринишга келади. Бу [4] даги ифода билан айнан бир хилдир. Бу (3) ифода нопараболик зона учун ўринли эканлигини кўрсатади.

(3) ифодадан кўринадики, зонанинг нопараболиклиги αT тузатма берар экан. Температура ортганда бу тузатманинг таъсири яна ҳам сезилиб боради.

Расмдан кўринадики температуранинг жуда паст қийматларида ($T=3.5$ K) зонанинг параболик ($\alpha_1=0$) ва нопараболиклигида ($\alpha_2=2$) ҳосил бўлувчи максимумлар баландлиги бир сатҳга мос келади. Лекин улар бир-биридан силжиган ҳолда бўлади.



1-расм. Паст температурада ($T = 3.5 \text{ K}$) $d\mu/dT$ ни μ га боғланиши

Агар температура кўтарилса, α нинг турли қийматлари учун ҳосил бўладиган максимумларда ва минимумларда фарқ пайдо бўлади. Минимумларнинг нол қийматдан кўтарилишига зонанинг нопараболикли спектрида энергетик ҳолатлар зичлигининг сатҳлар оралиғида экспоненциал равишда ўзгариб бориши сабаб бўлади.

Фойдаланилган адабиётлар

- [1] Шик А.Я., Бакуева Л.Г., Мусихин С.Ф., Рыков С.А. Физика низкоразмерных систем / Под ред. А.Я. Шика. – СПб.: Наука, 2001. 160 с.
- [2] Zawadzki W., Thermodynamics of Two-dimensional Electron Gas in a Magnetic Field. Springer Series in Solid-State Sciences. **53**, 1984, 79-85 p.
- [3] Ramos A.C.A., Farias G.A., Almeida N.S. Thermodynamics of a Quasi- two Dimensional Electron Gas: Effects of Magnetic Fields, Temperature and Finite Width. Physic E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures. **43**, 2011. 1878-1881.
- [4] A. A. Varlamov, A.V. Kavokin and Y.M. Galperin. Quantization of entropy in a quasi-two-dimensional electron gas. Phys.Rev. B **93**, 155404 (2016). doi: 10.1103/PhysRevB.93.155404
- [5] Cristine Villagonzalo, Rayda Gammag, The Intrinsic Features of the Specific Heat at Half-Filled Landau Levels of Two-Dimensional Electron Systems, J Low Temp Phys(2011) **163**:pp.43–52, doi10.1007/s10909-010-0259-3
- [6] P.J.Baymatov, A.G.Gulyamov, B.T.Abdulazizov, Kh. Yu. Mavlyanov and M.S.Tokhirjonov //Features of the chemical potential of a quasi-two-dimensional electron gas at low-temperatures// International Journal of Modern Physics B (2021) 2150070 (13 pages)
- [7] B. T. Abdulazizov, G. Gulyamov, P. J. Baymatov, Sh. T. Inoyatov, M. S. Tokhirjonov// Peculiarities of the Temperature Dependence of the Chemical Potential of a Two-dimensional Electron Gas in Magnetic Field// SPIN Vol. 12, No. 1 (2022) 2250002 (7 pages)
- [8] G. Gulyamov, Б.Т. Абдулазизов, М.С. Тохиржонов, П.Ж. Байматов // Одночастичная энтропия в двумерном электронном газе в узкозонных полупроводниках//Uzbek Journal of Physics// Vol.23, No.4, pp.19-26, 2021 // DOI: <https://doi.org/10.52304/.v23i4.284>