

KONFERENSIYALAR.COM

ANJUMANLAR PLATFORMASI

O'ZBEKISTON – 2030: INNOVATSIYA, FAN VA TA'LIM ISTIQBOLLARI

**II RESPUBLIKA ILMIY-AMALIY
KONFERENSIYA MATERIALLARI**

OKTYABR, 2026-YIL



ISBN 978-9910-8337-7-9

O‘ZBEKISTON – 2030: INNOVATSIYA, FAN VA TA’LIM ISTIQBOLLARI. II Respublika ilmiy-amaliy konferensiyasi materiallari. – Toshkent: Scienceproblems team, 2026. – 200 bet.

Elektron nashr: <https://konferensiyalar.com>

Konferensiya tashkilotchisi: “Scienceproblems Team” MChJ

Konferensiya o‘tkazilgan sana: 2026-yil, 2-oktyabr

Mas’ul muharrir:

Isanova Feruza Tulqinovna

Annotatsiya

Mazkur nashrda “O‘zbekiston — 2030: innovatsiya, fan va ta’lim istiqbollari” nomli II Respublika ilmiy-amaliy konferensiyasi doirasida taqdim etilgan ilmiy maqolalar to‘plami jamlangan. Unda O‘zbekistonning turli oliy ta’lim va ilmiy-tadqiqot muassasalari, tarmoq tashkilotlari, mustaqil tadqiqotchilar tomonidan taqdim etilgan ijtimoiy-gumanitar, iqtisodiyot, huquq, biologiya, tibbiyot va boshqa sohalarga oid maqolalar kiritilgan. Maqolalarda ilm-fanning zamonaviy yo‘nalishlari, innovatsion texnologiyalar, ta’lim islohotlari hamda barqaror taraqqiyotga oid masalalar muhokama qilingan. To‘plam akademik izlanishlar, amaliy tajribalar va ilmiy xulosalarni birlashtirgan holda, fanlararo integratsiyani chuqurlashtirish va ilmiy hamkorlikni kuchaytirishga xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: ilmiy-amaliy konferensiya, innovatsiya, fan va ta’lim, O‘zbekiston 2030, barqaror rivojlanish, ilmiy izlanishlar, fanlararo integratsiya, ilmiy hamkorlik, texnologik taraqqiyot, zamonaviy ta’lim.

ISBN 978-9910-8337-7-9

Barcha huquqlar himoyalangan.

© Scienceproblems team, 2026-yil

© Mualliflar jamoasi, 2026-yil

FIZIKA-MATEMATIKA FANLARI

VAQT BO'YICHA O'ZGARUVCHI KUCHSIZ MAGNIT MAYDONDA LANDAU SATHLARINING ENERGETIK SPEKTRINI NAZARIY TAHLIL QILISH

Habibullayeva Laylo Sanjarbek qizi

Namangan Davlat Univeriteti tayanch doktoranti

Email: habibullayevalayloo@gmail.com

Tel: +998 94 608 77 80

ORCID: 0009-0005-2464-7591

Namangan, O'zbekiston

Annotatsiya. Ushbu ishda ikki o'lchamli elektron gazining vaqt bo'yicha o'zgaruvchi kuchsiz magnit maydondagi Landau sathlari nazariy tahlil qilinadi. Kuchsiz modulyatsiya shartida energiya sathlarining siljishi, sathlar oralig'i va fazoviy evolyutsiyasi grafik jihatdan ko'rsatiladi.

Kalit so'zlar: Landau sathlari, 2D elektron gaz, kuchsiz magnit maydon, vaqtga bog'liq maydon, siklotron chastotasi, kvantlanish, energetik spektr.

THEORETICAL ANALYSIS OF THE ENERGY SPECTRUM OF LANDAU LEVELS IN A TIME-VARYING WEAK MAGNETIC FIELD

Habibullayeva Laylo Sanjarbek qizi

PhD Researcher, Namangan State University

Annotation. This study presents a theoretical analysis of Landau levels in a two-dimensional electron gas subjected to a time-varying weak magnetic field. Under the weak modulation condition, the shifts of the energy levels, the spacing between adjacent levels, and their temporal evolution are presented graphically.

Keywords: Landau levels, two-dimensional electron gas, weak magnetic field, time-dependent magnetic field, cyclotron frequency, quantization, energy spectrum.

Ikki o'lchamli elektron gazida tashqi magnit maydon elektronlarning erkin harakatini kvantlab, diskret Landau sathlarini hosil qiladi. Doimiy bir jinsli maydon uchun bu sathlar orasidagi masofa siklotron energiyasi bilan belgilanadi. Magnit maydon vaqt bo'yicha o'zgarganda esa energetik spektr ham vaqtga bog'liq bo'ladi. Bu masala so'nggi tadqiqotlarda ham faol o'rganilmoqda: vaqtga bog'liq magnit maydondagi Landau sathlarining noadiabatik evolyutsiyasi va 2DEG dagi Landau sathlari uchun aniq yechimlar ko'rib chiqilgan. [1–3] Shu sababli kuchsiz modulyatsiya holatini sodda analitik model orqali o'rganish muhimdir.

Elektron zaryadi $q = -e$ bo'lsin. Magnit maydon z yo'nalishda berilgan: $\vec{B}(t) = B(t)\hat{z}$. Minimal bog'lanish prinsipi bo'yicha kinetik impuls $\pi = p + eA$ bo'ladi va Hamiltonian [4]

$$H(t) = \frac{[p + eA(r,t)]^2}{2m} \quad (1)$$

ko'rinishga ega. Bu yerda m^* — elektronning effektiv massasi. Landau gauge sifatida $A = (0, B(t)x, 0)$ tanlansa,

$$H = \frac{\{p_x^2 + [p_y + eB(t)x]^2\}}{2m^*} \quad (2)$$

ifodaga kelimiz. p_y saqlanuvchi kattalik bo'lgani uchun masala bir o'lchamli garmonik ossillyator masalasiga keltiriladi. Effektiv siklotron chastotasi

$$\omega_c(t) = \frac{eB(t)}{m^*} \quad (3)$$

orqali aniqlanadi. Vaqt bo'yicha kuchsiz modulyatsiyani

$$B(t) = B_0 + B_1 \cos \Omega t, \quad B_1 \ll B_0 \quad (4)$$

deb olamiz. Shunda

$$\omega_c(t) = \omega_{c0} [1 + \alpha \cos(\Omega t)], \quad \omega_{c0} = \frac{eB_0}{m^*}, \quad \alpha = \frac{B_1}{B_0} \ll 1 \quad (5)$$

bo'ladi. Adiabatik yoki kuchsiz modulyatsiya yaqinlashuvida n -sathning oniy energiyasi

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

ko'rinishga ega. Demak, kuchsiz modulyatsiya uchun energiya

$$E_n(t) = E_{n0} [1 + \alpha \cos(\Omega t)], \quad E_{n0} = \hbar \omega_{c0} (1 + \frac{1}{2}) \quad (7)$$

bo'ladi. Qo'shni sathlar orasidagi masofa esa

$$\Delta E_n(t) = E_{n+1}(t) - E_n(t) = \hbar \omega_c(t) \quad (8)$$

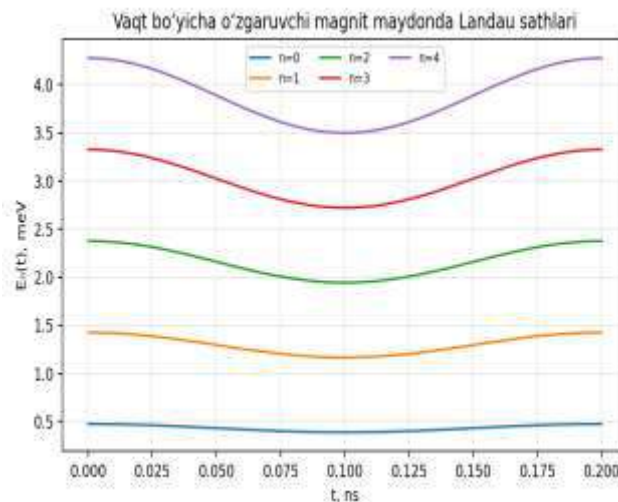
bo'lib, u barcha n lar uchun bir xil. Shunday qilib, $B(t)$ kamayganda sathlar bir-biriga yaqinlashadi, $B(t)$ ortganda esa ular orasidagi masofa kengayadi.

2. Hisoblash natijalari va energetik spektr

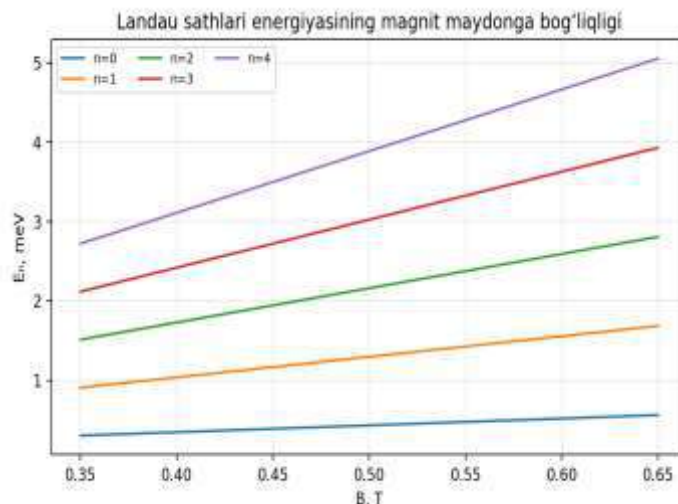
Hisoblash uchun GaAs tipidagi 2DEG modeli sifatida $m^*=0.067m_e$, $B_0=0.50$ T, $B_1=0.05$ T va $f=\Omega/(2\pi)=5.0$ GHz qiymatlar olaylik. Shunda $\alpha=B_1/B_0=0.10$, $B_{min}=0.45$ T va $B_{max}=0.55$ T. Asosiy siklotron chastota $\omega_{c0}=1.313 \times 10^{12}$ rad/s, qo'shni Landau sathlari oralig'i $\hbar \omega_{c0} \approx 0.864$ meV ni tashkil etadi.

$$E_{n0} = \frac{\hbar e B_0}{m^*} (n + \frac{1}{2}) \quad (9)$$

Tanlangan parametrlar uchun $n=0-4$ sathlarning markaziy energiyalari taxminan: $E_0=0.432$ meV, $E_1=1.296$ meV, $E_2=2.160$ meV, $E_3=3.024$ meV, $E_4=3.888$ meV.



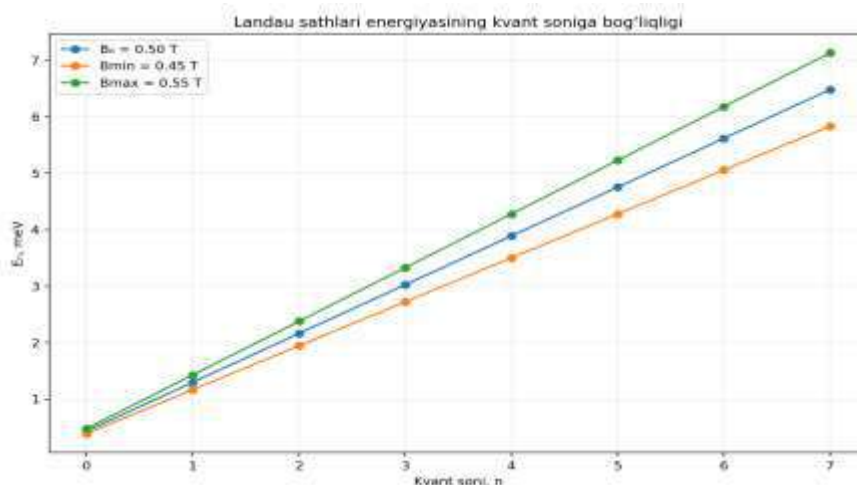
1-rasm. $B(t)=B_0+B_1\cos(\Omega t)$ uchun $n=0-4$ Landau



2-rasm. Landau sathlarining magnit induksiya B ga sathlarining vaqt bo'yicha tebranishi chiziqli bog'liqligi.

1-rasmdan ko'rinadiki, magnit maydonning davriy o'zgarishi barcha Landau sathlarini bir xil nisbiy amplitudada modulyatsiya qiladi. Biroq absolyut energiya siljishi n ortishi bilan kattalashadi, chunki $E_n \propto (n+1/2)$. Kuchsiz modulyatsiya shartida $\alpha=0.10$ bo'lgani sababli sathlar saqlanib qoladi, faqat ularning energetik joylashuvi davriy ravishda siljiydi.

2-rasm Landau spektrining asosiy xususiyatini ko'rsatadi. Magnit maydonni boshqarish orqali kvant sathlari oralig'ini bevosita o'zgartirish mumkin. Bu natija vaqtga bog'liq maydonlar uchun o'rganilgan dinamik Landau masalasining kuchsiz-modulyatsiya limitiga mos keladi [1–3].



3-rasm. Landau sathlari energiyasining kvant soni n ga bog'liqligi; B ning kuchsiz modulyatsiyasi sathlarning energetik oralig'ini o'zgartiradi.

3-rasm Landau sathlarining diskretligini va energiyaning n kvant soniga chiziqli bog'liqligini ko'rsatadi. Asosiy maydon $B_0=0.50$ T uchun $E_n=(n+1/2)\hbar eB_0/m^*$ qonuniyat bajariladi. Maydonning kuchsiz modulyatsiyasi $B_{min}=0.45$ T dan $B_{max}=0.55$ T gacha o'zgarganda, barcha sathlar mos ravishda pastga yoki yuqoriga siljiydi. Bu natija magnit maydonni boshqarish orqali Landau spektrini parametrik modulyatsiya qilish mumkinligini ko'rsatadi.

Xulosa

Vaqt bo'yicha o'zgaruvchi kuchsiz magnit maydon uchun Landau sathlarining energetik spektri nazariy jihatdan tahlil qilindi. $B(t)=B_0+B_1\cos(\Omega t)$ modeli asosida siklotron chastotasi $\omega_c(t)=eB(t)/m^*$ va Landau energiyasi $E_n(t)=\hbar\omega_c(t)(n+1/2)$ ekanligi olindi. Kuchsiz modulyatsiya $\alpha=B_1/B_0\ll 1$ bo'lganda energetik sathlar davriy ravishda siljiydi, qo'shni sathlar oralig'i esa $\Delta E=\hbar\omega_c(t)$ qonun bo'yicha o'zgaradi. Hisoblashlar shuni ko'rsatdiki, magnit maydonni vaqt bo'yicha boshqarish orqali Landau sathlarining energetik spektrini nazorat qilish mumkin.

Adabiyotlar/Литература/References:

1. Perez, N., Heifetz, E. (2026). Landau levels in a time-dependent magnetic field: the Madelung fluid perspective. *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical*, 59(32), 325301.
2. Govindarajan, T. R., Nair, V. P. (2026). Time-dependent magnetic fields and the quantum Hall effect. *Physical Review B*, 114, 065434.
3. Shi, L.-K. (2025). Algebraic exact solution for driven Landau levels in two-dimensional electron gases. *Physical Review B*, 112, 165108.
4. Tong, D. The Quantum Hall Effect. Cambridge University lecture notes. arXiv:1606.06687 [<https://arxiv.org/abs/1606.06687>]
5. Lewis, H. R., Jr., Riesenfeld, W. B. (1969). An exact quantum theory of the time-dependent harmonic oscillator and of a charged particle in a time-dependent electromagnetic field. *Journal of Mathematical Physics*, 10, 1458.

O‘ZBEKISTON — 2030: INNOVATSIYA, FAN VA TA’LIM ISTIQBOLLARI

II RESPUBLIKA ILMIY-AMALIY KONFERENSIYASI MATERIALLARI

2026-yil, 6-oktyabr

Mas’ul muharrir: *F.T.Isanova*
Texnik muharrir: *N.Bahodirova*
Diszayner: *I.Abdihakimov*

O‘ZBEKISTON — 2030: INNOVATSIYA, FAN VA TA’LIM
ISTIQBOLLARI. II Respublika ilmiy-amaliy konferensiyasi
materiallari. – Toshkent: Scienceproblems team, 2026. – 200 bet.

Elektron nashr: <https://konferensiyalar.com>

Konferensiya tashkilotchisi: Scienceproblems Team

Konferensiya o‘tkazilgan sana: 2026-yil, 2-oktyabr

ISBN 978-9910-8337-7-9

Barcha huquqlar himoyalangan.
© Scienceproblems team, 2026-yil.
© Mualliflar jamoasi, 2026-yil.