

Erkaboyev Ulug'bek Inayatillayevich,
Namangan davlat texnika universiteti professori
Email: @u.erkaboyev@alumni.nsu.ru

Negmatov Ulug'bek Mirzabahrom o'g'li
Namangan davlat texnika universiteti katta o'qituvchi
Email: @u.negmatov@alumni.nsu.ru

Tursunov Muxriddin Muxammad o'g'li
Namangan davlat texnika universiteti o'qituvchi
Email: @m.tursunov@alumni.nsu.ru

KVANT O'RANING LANDAU SATXLARINI VAQTGA VA DINAMIK MAGNIT MAYDON CHASTOTASIGA BOG'LIQLIGINI MODELLASHTIRISH

Annotatsiya. Ushbu tadqiqot ishida dinamik kuchsiz magnit maydondagi kvant o'rali yarimo'tkazgichlarning o'tkazuvchanlik zonasidagi diskret Landau sathlarining vaqtga bog'liqligi $E_n^{2d}(B(t), \omega_c)$ tadqiq etilgan. O'zgaruvchan kuchsiz magnit maydon induksiyasini vaqtga bog'liqligi funksiyasi $B(t)$ dan, kvant o'raning diskret energetik sathlarini $E_n^{2d}(B(t), \omega_c)$ formulasi va uning vaqt bo'yicha o'zgarish tezligi $\frac{dE_n^{2d}(E, B(t), \omega_c, d)}{dt}$ ning matematik modeli ishlab chiqilgan. Динамик kuchsiz magnit maydon chastotasini ortishi juda qisqa vaqt mobaynida $PhasePortret\left[E_n^{2d}(B(t), \omega_c); \frac{dE_n^{2d}(B(t), \omega_c)}{dt}\right]$ ning yopiq traektoriyasini hosil bo'lishiga, taklif etilayotgan model yordamida tushuntirilgan.

Kalit so'zlar. Kvant o'ra, dinamik kuchsiz magnit maydon, magnit maydon induksiyasi, diskret Landau sathlari

Эркабоев Улугбек Инаятиллаевич,
Профессор, Наманганский государственный технический университет
Негматов Улугбек Мирзабахром углы
Старший преподаватель, Наманганский государственный технический университет
Турсунов Мухриддин Мухаммад углы
преподаватель, Наманганский государственный технический университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ УРОВНЕЙ ЛАНДАУ КВАНТОВОГО ДИАПАЗОНА ОТ ВРЕМЕНИ И ЧАСТОТЫ ДИНАМИЧЕСКОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Преподаватель, Наманганский государственный технический университет
Аннотация. В данной исследовательской работе изучается временная зависимость дискретных уровней Ландау в зоне проводимости квантовых ям

полупроводников в динамическом слабом магнитном поле. На основе временной зависимости функции индукции переменного слабого магнитного поля $B(t)$ построена математическая модель дискретных уровней энергии квантовой ямы с использованием формулы $E_n^{2d}(B(t), \omega_c)$ и скорости её изменения во времени $\frac{dE_n^{2d}(E, B(t), \omega_c, d)}{dt}$. Увеличение частоты динамического слабого магнитного поля за очень короткое время объясняется формированием замкнутой траектории $PhasePortret \left[E_n^{2d}(B(t), \omega_c); \frac{dE_n^{2d}(B(t), \omega_c)}{dt} \right]$, что объясняется предложенной моделью.

Ключевые слова. Квантовая теория, динамическое слабое магнитное поле, индукция магнитного поля, дискретные уровни Ландау

Erkaboyev Ulugbek Inayatillayevich, (DSc)

Professor, Namangan State Technical University

Negmatov Ulugbek Mirzabahrom o'g'li

Senior Lecturer, Namangan State Technical University

Tursunov Mukhriddin Muhammad o'g'li

Teacher, Namangan State Technical University

MODELING THE DEPENDENCE OF LANDAU LEVELS OF A QUANTUM RANGE ON TIME AND DYNAMIC MAGNETIC FIELD FREQUENCY

Abstract. In this research work, the time dependence of discrete Landau levels in the conduction band of quantum well semiconductors in a dynamic weak magnetic field is studied. From the time dependence of the variable weak magnetic field induction function $B(t)$, a mathematical model of the discrete energy levels of the quantum well is developed, using the formula $E_n^{2d}(B(t), \omega_c)$ and its time rate of change $\frac{dE_n^{2d}(E, B(t), \omega_c, d)}{dt}$. The increase in the frequency of the dynamic weak magnetic field in a very short time is explained by the formation of a closed trajectory of $PhasePortret \left[E_n^{2d}(B(t), \omega_c); \frac{dE_n^{2d}(B(t), \omega_c)}{dt} \right]$, which is explained by the proposed model.

Keywords: Quantum theory, dynamic weak magnetic field, magnetic field induction, discrete Landau levels

I. KIRISH

Differensial tenglamalar asosida qurilgan dinamik jarayonlarni aks ettiruvchi [1; 1-23-b, 2; 1-3-b], modellar – biologik, texnik va elektronik mexanizmlarini aniq namoyon etish uchun xizmat qiladi. Matematik modellarning formulalar orqali,

raqamli simulyatsiya qilish va boshqa matematik apparat yordamida qurish mumkin. Biroq, mikro va nanoelektronika mexanizmlarini dinamik jarayonlarini vaqt o'tishi bilan simulyatsiya qilish va ushbu modellarning fizik interfeyslarini vizual tarzda tahlil qilish murakkab tizim hisoblanadi.

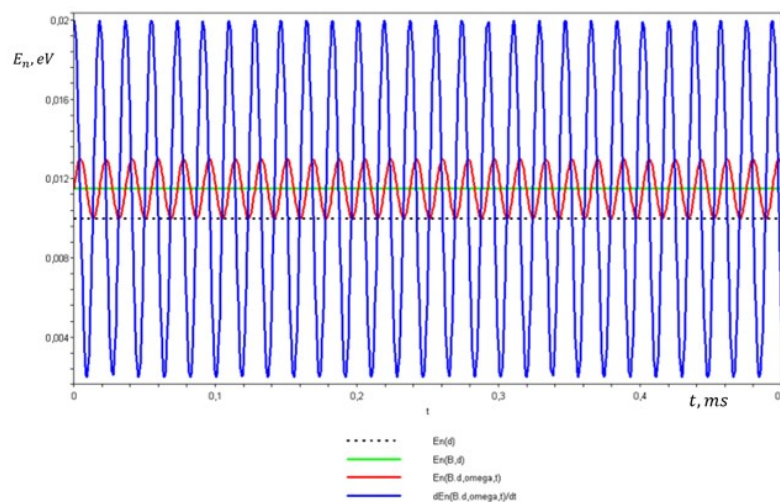
Bunday dinamik tizimlarning umumiy fizik jarayonlarini yaqqol ko'rsatib beruvchi ideal vositalardan biri fazalar portretlaridir. Fazalar portreti dinamik tizimlarda trayektoriyalar gradienti yo'nalishi hamda tizimdagi muvozanat holatlarini yaqqol ko'rsatib beradi [1; 1-23-b, 2; 1-3-b, 3; 1011–1012-b, 4; 1-19-b, 5; 1-15-b, 6; 3-60-b, 7; 10-50-b].

Dinamik va statik magnit maydonlarini biologik va fizik jarayonlarining xossalriga ta'sirini o'rganish muhim muammolardan biri hisoblanadi [8; 39-43-b, 9; 57-59-b, 10; 90-95-b, 11; 1651-1654-b]. Jumladan, [8; 39-43-b, 9; 57-59-b] ishlarda o'zgaruvchi kuchsiz magnit maydonini ($B_0 = 25 \text{ mTl}$) bioobyektlarning xarakteristikalariga ta'siri aniqlangan. [10; 90-95-b, 11; 1651-1654-b] ishlarda esa, statik kuchsiz magnit maydonlari va yuqori haroratlardagi kvant ossillyatsiya effektlari kuzatilgan. Bunda, de Gaaz-van Alfen ossillyatsiyalari xona harorati atrofida va kuchsiz statik magnit maydon qiymatlari 25 mTl dan 100 mTl gacha orasida eksperimental olingan. Lekin, bu ishlar asosan o'zgarmas (statik) kuchsiz maydonlarda o'rganilgan bo'lib, magnit maydoning vaqt bo'yicha o'zgarishi umuman o'rganilmagan.

Bundan tashqari [12; 2350015-1-2350015-8-b, 13; 1061–1070-b, 14; 133-145-b, 15; 100236-1-100236-9-b, 16; 243–245-b, 17; 1–10-b] ishlarda ikki o'lchamli yarimo'tkazgichli materiallarning energetik holatlar zichligini harorat va magnit maydonlarga bog'liqligining ham nazariy, ham tajribaviy natijalari olingan. Bunda, diskret energetik sathlar kvantlovchi magnit maydon ($\vec{B}$) va past haroratlar ($3 \div 5 \text{ K}$) da kuzatilgan. Ya'ni, [12; 2350015-1-2350015-8-b, 13; 1061–1070-b, 14; 133-145-b, 15; 100236-1-100236-9-b] ishlardagi taklif etilgan model diskret Landau sathlarini yuqori haroratlarda uzluksiz energetik spektrlarga aylanishini ko'rsatib bergan. Lekin, bu ishlarda kuchsiz magnit maydon va yuqori haroratlar uchun energetik holatlar zichligini ham statik, ham dinamik magnit maydonlarida hisoblashning mukammal metodi ishlab chiqilmagan. Shu bilan birga, ushbu ishlarda kuchsiz dinamik magnit maydonlarining vaqt bo'yicha o'zgarishi natijasida ikki o'lchamli energetik holatlar zichligining fazaviy portretlarini ko'rishga imkoniyati ko'rib chiqilmagan.

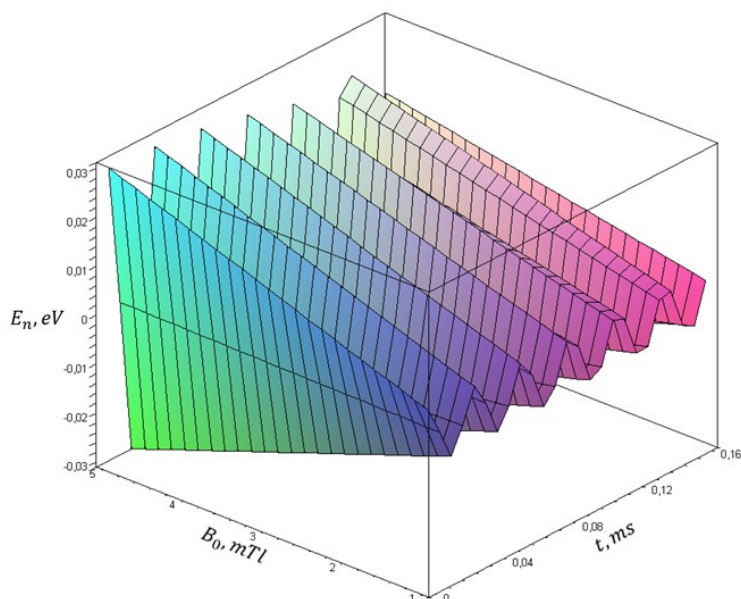
[18; 1921-1926-b, 19; 371-374-b, 20; 510-514-b] ishlarda yupqa plyonkali hajmiy yarimo'tkazgichlarining tenzosezgirlik qarshiligiga o'zgaruvchan deformatsiyaning ta'siri tadbiq etilgan. Deformatsion qarshiliklar tekisligida tenzoqarshilik effektining fazaviy portreti trayektoriyasi olingan. Yopiq fazaviy portretlar zaryadli zarralar bilan bog'liq, relaksatsion jarayonlar bilan izohlangan fazalar portretining ochiq trayektoriyasi esa, yarimo'tkazgich parametrlarini

o'zgarishi bilan bog'liq jarayonlar orqali tushuntirilgan. Lekin, bu ishlarda faqat hajmiy yarimo'tkazgichli materiallar ko'rilgan bo'lib, nanostrukturali yarimo'tkazgichning fizik jarayonlariga dinamik magnit maydon ta'siri o'rganilmagan.



1-rasm. Kvant o'raning o'tkazuvchanlik zonasidagi birinchi Landau sathining statik magnit maydon va o'zgaruvchan magnit maydonlarga bog'liqligi

Ushbu tadqiqot ishining asosiy maqsadi kuchsiz dinamik magnit maydonlar ta'siridagi nanostrukturali yarimo'tkazgichlarning Landau sathlarini fazaviy portretlarini yaratishdan iborat.



2-rasm. O'zgaruvchan kuchsiz magnit maydondagi erkin elektron energiyasini ta'sir etish vaqti va magnit maydon induksiyasi amplitudasiga bog'liqligi

Xulosalar

Kvant o'rali yarimo'tkazgichlarning diskret energetik sathlarining o'zgarish tezligi $\frac{dE_n}{dt}$ faqatgina o'zgaruvchan kuchsiz magnit maydon induksiyasining amplitudaviy qiymatiga va Landau sathlari soniga bog'liq bo'lishi isbotlandi. Statik magnit maydon va dinamik kuchsiz magnit maydonlardagi kvant o'rali yarimo'tkazgichlarning o'tkazuvchanlik zonasidagi birinchi Landau sathining vaqt bo'yicha o'zgarishlarini dinamikasi solishtirildi. Natijada, kvant o'raning o'tkazuvchanlik zonasidagi erkin elektronlarning energiyasidan birinchi tartibli hosilasi $\frac{dE_n}{dt}$ eng yuqori amplitudali garmonik tebranma harakat qilishi asoslab berildi. O'zgaruvchan kuchsiz magnit maydondagi kvant o'rali yarimo'tkazgichlarning o'tkazuvchanlik zonasidagi Landau sathlarining fazaviy portreti $PhasePortret\left[E_n^{2d}(B(t), \omega_c); \frac{dE_n^{2d}(B(t), \omega_c)}{dt}\right]$ ni aniqlovchi matematik model ishlab chiqildi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YHATI

1. A.S. Leonovich , Q.G. Zong, D.A.Kozlov, A.A.Vlasov. "Phase Portraits" of Alfven Waves in Magnetospheric Plasma // Journal of Geophysical Research: Space Physics. 2022. pp.1-23. 10.1029/2022JA030432.
2. Chen, L., Zonca, F., Lin Y. Physics of kinetic Alfvén waves: A gyrokinetic theory approach // Reviews of Modern Plasma Physics. 2021. Vol.5, Iss.1, pp.1-3. <https://doi.org/10.1007/s41614-020-00049-3>
3. A.V. Guglielmi. Diagnostics of the plasma in the magnetosphere by means of measurement of the spectrum of Alfven oscillations // Planetary and Space Science. 1989. Vol.37, pp.1011–1012. [https://doi.org/10.1016/0032-0633\(89\)90055-X](https://doi.org/10.1016/0032-0633(89)90055-X)
4. M.A. Rodriguez – Licea, F.J.Perez-Pinal, J.C.Nunez-Perez, Y.Sandoval – Ibarra. On the n-dimensional phase portraits // Applied Sciences. 2019. Vol.9. pp.1-19.
5. J.Musilova, K.Sedlar. Tools for time – course simulation in systems biology: A brief overview // Briefings in bioinformatics. 2021. Vol.22. pp.1-15.

6. R.W. Shonkwiler, J.Herod. Mathematical Biology: An introduction with Maple and Matlab. 2009. Springer, New York. NY. pp.3-60.
7. S.Lynch. Dynamical systems with applications using mathematica. 2007. Birkhauser Boston. MA. pp.10-50.
8. Д.А. Усанова, А.В. Скрипаль, А.В. Рзянина, А.Д. Усанов. Воздействие переменного низкочастотного магнитного поля на рост одноклеточной водоросли *Scenedesmus* // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. 2009. №3, стр.39-43.
9. Н.В. Островский, А.В. Рзянина, А.В. Скрипаль, , А.Д. Усанов. Оценка биологической совместимости углеродных наноструктур с клетками фибробластов китайского хомячка линии v-79 // Нано и микросистемная техника. 2008. №6, стр.57-59.
10. Н.Т. Баграев, Е.С. Брилинская, Э.Ю. Даниловский, Л.Е. Клячкин, А.М. Малярченко, В.В. Романов. Эффект де Гааза-ван Альфена в наноструктурах фторида кадмия // Физика и техника полупроводников, 2012. Том 46, вып. 1. стр.90-95.
11. Фомин М.А., Головин П.А., Клячкин Л.Е., Малярченко А.М., Емельянов А. К., Баграев Н.Т. Макроскопические квантовые явления в условиях осаждения олигонуклеотидов ДНК в краевые каналы кремниевой наносандвич-структуры // Журнал технической физики. Том 94. (9). Стр. 1588-1596
12. G.Gulyamov, U.I.Erkaboev, R.G.Rakhimov, J.I.Mirzaev, N.A.Sayidov. Determination of the dependence of the two-dimensional combined density of states on external factors in quantum-dimensional heterostructures // Modern Physics Letters B. 2023. Vol. 37, Iss. 10, pp. 2350015-1-2350015-8.
13. U.I.Erkaboev, R.G. Rakhimov, N.A.Sayidov, J.I.Mirzaev. Modeling the temperature dependence of the density oscillation of energy states in two-dimensional electronic gases under the impact of a longitudinal and transversal quantum magnetic fields // Indian Journal of Physics. 2023. Vol. 97, Iss. 4, pp.1061–1070.
14. U.I. Erkaboev, R.G. Rakhimov. Determination of the dependence of the oscillation of transverse electrical conductivity and magnetoresistance on temperature in heterostructures based on quantum wells // East European Journal of Physics. 2023. Vol.3, pp.133-145.
15. U.I. Erkaboev, R.G. Rakhimov. Simulation of temperature dependence of oscillations of longitudinal magnetoresistance in nanoelectronic semiconductor materials // e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy. 2023. Vol.5, pp. 100236-1-100236-9.
16. Grado-Caffaro M.A., Grado-Caffaro M. On the density of electronic states in a quantum well of an anharmonic solid under a perpendicular magnetic field // European Physical Journal B. 2010. Vol.73, pp. 243–245.

17. I.M. Dubrovsky. Density of one-particle states for 2D electron gas in magnetic field // Condensed Matter Physics. 2013. Vol. 16, No 1, pp.13001: 1–10.
18. G. Gulyamov, A.G. Gulyamov, A.Q. Ergashev, B.T. Abdulazizov. The Use of Phase Portraits for the Study of the Generation-Recombination Processes in Semiconductor // Journal of Modern Physics, 2015. Vol.6, pp. 1921-1926.
19. М.Г. Дадамирзаев, А.Г. Гулямов. Фазовые портреты деформационных эффектов в полупроводниках в импульсном режиме // Физическая инженерия поверхности. 2012. Т.10, №4, стр.371-374.
20. Г. Гулямов, М.Г. Дадамирзаев. Зависимости изменения концентрации избыточных электронов (δn) от переменной деформации (ϵ) в полупроводниках // Физическая инженерия поверхности. 2014. Т.12, №3, стр.510-514.
21. Zihao Qin, Xuejun Zheng, Chenbo Li, Zhichao Fan, Bing Wang, Jian Luo, Qiang Liu, Bo Hong, Xiangwen Li. Penetration state recognition for tungsten inert gas welding via an alternating cusp-shaped magnetic field-assisted molten pool-oscillation // Journal of Materials Research and Technology. 2024. Vol.32, pp. 273-285.
22. Y.Z. Liu, L.H. Zhan, Q.Q.Ma, Z.Y.Ma, M.H.Huang. Effects of alternating magnetic field aged on microstructure and mechanical properties of AA2219 aluminum alloy // Journal of Alloys and Compounds. 2015. V