

УДК 37.013.2

## **O'LCHAMLI KVANTLASHGAN STRUKTURALARDA KVAZIZARRALAR**

**Nasirov.M.X., Axmadjonov M. F., Nurmatov O.R., Abdullayev Sh.Sh.**

Farg'ona politexnika instituti

[mexriddinaxmadjonov@gmail.com](mailto:mexriddinaxmadjonov@gmail.com)

### **ANNOTATSIYA**

*Bugungi kunda nanotexnologiya va tunneli mikroskopiya sohasi rivojlanib borayapti. Xususan bu sohada qo'llaniladigan kaskadli geterolazerlar ko'p qatlamli yarim o'tkazgichli strukturalardan iborat. Mavzuning dolzarbligi esa uning mana shu sohaga bag'ishlanganligidadir.*

***Kalit so'zlar:** Nanotexnologiya, o'lchamli kvantlashgan, potensial to'siq, potensial o'ra, past o'lchamli tok tashuvchilar, foton, kvantlashgan, murakkab zonali yaqinlashish, Keyn modeli, Brilluyen zonasi, geteroo'tish.*

## **QUASIZARRALS IN DIMENSIONAL QUANTIZED STRUCTURES**

**Nasirov.M.X., Akhmadjonov M. F., Nurmatov O.R., Abdullayev Sh.Sh.**

Fergana Polytechnic Institute,

[mexriddinaxmadjonov@gmail.com](mailto:mexriddinaxmadjonov@gmail.com)

### **ABSTRACT**

*At the present time, areas of nanoelectronics, spintronics, photonics are developing strongly. Topics devoted to these areas are relevant. In this regard, the topic of this dissertation is modern and relevant.*

***Key words:** Nanotechnology, dimensional quantization, potential barrier, low-dimensional current carriers, photon, quantized, complex zone approximation, Kane model, Brillouin zone, heterosex.*

## **КВАЗИЗАРРАЛЫ В РАЗМЕРНЫХ КВАНТОВАННЫХ СТРУКТУРАХ**

**Насиров. М.Х., Akhmadjonov M. F., Nurmatov O.R., Abdullayev Sh.Sh.**

Ферганский политехнический институт,

[mexriddinaxmadjonov@gmail.com](mailto:mexriddinaxmadjonov@gmail.com)

### **АННОТАЦИЯ**

*В настоящее время сильно развиваются области нанoeлектроника, спинтроника, фотоника. Посвященные этим областям темы являются*

*актуальными. В связи с этим тема данной диссертации является современной и актуальной.*

***Ключевые слова:** Нанотехнология, размерное квантование, потенциальный барьер, низкоразмерные носители тока, фотон, квантованный, приближение сложной зоны, модель Кейна, зона Бриллюэна, гетеросекс,*

## **KIRISH**

Maqolaning ob'ektlari sifatida tetraedrik simmetriyali  $n$ -GaP va  $p$ -GaAs tur yarim o'tkazgichlar va ularning kvantlashgan o'ralari tanlangan. Tadqiqotning predmeti sifatida murakkab zonali yarim o'tkazgichda kechadigan to'rt fotonli chiziqli sirkulyar dixroizm hodisasi hamda bir va ikki fotonli siljishli chiziqli optik effekt olingan.

Mutaxassislariga ma'lumki, yarim o'tkazgichlar fizikasi va qattiq jismlar fizikasining nazariy sohalarida, ko'pgina hollarda, g'alayonlar nazariyasidan foydalanib hisoblashlar olib borilgan. Biroq bu hisoblash usulidan aniqlik darajasining yuqoriligi bilan farq qiluvchi hisoblash usullari yaratildi. Ulardan biri grafiklar yoki diagrammalar metodi deb yuritiladi. Ushbu maqolaning maqsadi ayrim fotonli kinetik hodisalarning nazariyasini ana shu metoddan foydalanib qurishdir.

Maqolaning asosiy masalalari va farazlari: simmetriya markazi bo'lmagan yarim o'tkazgichlarda kechadigan optik kattaliklarning spektral yoki temperaturaviy bog'lanishlari tajribadar aniqlangan, masalan kavakli o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan arsined galliyda unda yassi qutblangan yorug'lik ta'sirida optik yutilishning sodir bo'lishi hosil bo'lishi kuzatilgan. Mana shunday eksperimentlar tekshirish manbai bo'lib hisoblanadi.

## **MUHOKAMA VA NATIJALAR**

Kvantlashgan o'ralarda elektronli holatlarning o'lchamli kvantlashishini e'tiborga olgan tok tashuvchilarning energiyaviy spektrini hisoblash oddiy hisoblashlardan emas. Shu sababli bunday hisoblashlarni, ayniqsa miqdoriy hisoblashlarda elektron hisoblash mashinalarga murojaat etishga to'g'ri keladi va ularda hisoblashlarni katta aniqlik bilan olib borish imkonimni beruvchi maxsus hisoblash dasturlari mavjud. Xususan nanostrukturalardagi kvantlashgan holatlarini psevdopotensialli mikroskopik model yoki kuchli bog'lanish metodlaridan foydalanib hisoblash va ularni miqdoran tahlil qilishning usullari anchayin ko'p. Biroq, baribir, bunday hisoblash usullari talab darajasidagi aniqlik bilan hisoblashlarni olib borish imkonini bermaydi, shuningdek bu hisoblash metodlari qandaydir simmetriyali holatlar uchun katta aniqlik bilan hisoblashni orlib borish imkonini bersa, boshqa bir

simmetriyali holatlar uchun esa o'zlik qilib qoladi. Bunday hollarda hajmiy yarim o'tkazgichlarning zonaviy tuzilishini hisoblashda ishlatiladigan metodlardan: oddiy zonali yaqinlashishda effektiv massa yoki murakkab zonali yaqinlashishda effektiv gamiltonian metodi, ko'p sonli zonali yaqinlashishda esa Keyn modelidan foydalanish ayrim hollarda, masalan, Brilliyen zonasi markazi yaqinidagi sohalar uchun foydalanish anchayin qulay va aniqlik darajasi yetarli bo'ladi.

Taqribiy hisoblashlarda ko'p qatlamli strukturalarning har bir qatlamidagi elektronli holatlar hajmiy yarim o'tkazgichdagi elektronli holatlarning chiziqli kombinatsiyasi sifatida qaralishi mumkin. Bunday hollarda geteroo'tish teisligining ikki tarafida olingan to'liq funksiyalarning shu tekislikda "tikilishi (ulanishi)" to'liq funksiyalarning uchrashish nuqtasidagi miqdoran tengligi hamda larning normal koordinataga nisbatan olingan hosilalarining shu nuqtada miqdoran tengligi bilan ifodalanadigan chegaraviy shartlar yordamida aniqlanadi.

### **Kvantlashgan o'ralarda o'lchamli kvantlashgan holatlar**

Effektiv massa metodi yordamida hisoblanadigan yarim o'tkazgichli nanostrukturalardagi elektronli holatlar Kvant mexanikasi fanining zarraning bir o'lchamli harakati mavzusida tahlil etilgan. Kelgusida eng soda holdan boshlaymiz: cheksiz balandlikka ega bo'lgan kvantlashgan potensil o'radagi zarraning harakatini qaraylik. Bunda zarraning egiluvchan to'liq funksiyasi

$$\Psi(r) = \frac{1}{\sqrt{S}} e^{i(q_x x + q_y y)} \varphi(z), \quad (1)$$

ko'rinishda bo'ladi. Bunda  $q = (q_x, q_y)$  – interfeys tekisligi bo'icha zarraning harakatini ifodalovchi ikki o'lchamli to'liq vektori.  $B/A/B$  tur strukturada  $\varphi(z)$

$$-\frac{\hbar^2}{2m_A} \frac{d^2}{dz^2} \varphi(z) = E_z \varphi(z),$$

ko'rinishdagi bir o'lchamli Shredinger tenglamasining yechimi bo'ladi;  $m_A$  - strukturaning  $A$  qatlamidagi zarraning effektiv massasi.  $A$  qatlam tashqarisida  $\varphi(z)$  fnuksiyasi nolga aylanadi. Zarraning to'liq energiyasi  $E$  esa o'lchamli kvantlashgan  $E_z$  hamda  $E_{xy} = \frac{\hbar^2 q^2}{2m_A}$  ko'rinishdagi kinetik energiyalarning yig'indisidan tashkil topgan bo'ladi. Bunda  $E$  to'liq energiya miqdoran o'tkazuvchanlik zonasining tubidan,  $O_z$  o'qi o'raning markaziga o'rnatilgan hisoblanadi. U holda chegaraviy shartlarning ko'rinishi quyidagicha tanlanadi:

$$\varphi\left(\pm \frac{a}{2}\right) = 0, \quad (2)$$

$a$  -  $A$  qatlamning kengligi. U holda interfes tekisligini koordinatasi:  $\pm a/2$ . Bunday holda sistema  $z \rightarrow -z$  ko‘rinishdagi qo‘zguli simmetriyaviy akslantirish operatoriga ega bo‘ladi. Shu sababdan elektronlarning holat funksiyalari ikki tabiatli: juft va toq to‘lqin funksiyalari ko‘rinishda bo‘lib, mos holda  $C \cos(kz)$  va  $C \sin(kz)$  ko‘rinishda tanlanishi mumkin. Bunda  $k = (2m_A E_z / \hbar^2)^{1/2}$ , S-normirovkalash koeffitsiyenti. Agar yuqorida qayd qilingan chegaraviy shartlar e‘tiborga olinsa, u holda aelgusi hisoblashlarda foydali bo‘lgan to‘lqin vektori va energiyaviy spektr uchun kelgusi munosabatlarga ega bo‘lamiz

$$k = \frac{\nu\pi}{a}, \quad E_z = \frac{\hbar^2}{2m_A} \left( \frac{\nu\pi}{a} \right)^2 \quad (3)$$

Bunda  $\nu$  juft holatlar uchun toq sonlarni, toq holatlar uchun esa juft sonlarni qabul qiladi.

Shunday qilib energiyaviy spektr

$$E_{\nu q} = \frac{\hbar^2}{2m_A} \left[ \left( \frac{\nu\pi}{a} \right)^2 + q^2 \right], \quad (4)$$

ko‘rinishda bo‘lib, u o‘lchamli kvantlashgan zonachalar (yoki oddiygina zonachalariyoki tarmoqlar)dan iborat bo‘ladi.

Chekli balandlikli potensial to‘siq,  $q=0$ .  $A$  qatlam chekli balandlikli potensial to‘siq bo‘lganida, elektronlarning to‘lqin funksiyalari  $B$  qatlamida ham nol bo‘lmagan qiymatlar qabul qiladi va u

$$\left( -\frac{\hbar^2}{2m_B} \frac{d^2}{dz^2} + V \right) \varphi(z) = E_z \varphi(z),$$

ko‘rinishdagi statsionar Shredinger tenglamasining yechimi hisoblanadi. Bunda  $V$  potensial to‘siq interfeysdagi o‘tkazuvchanlik zonasi qirqimlari orasidagi energiyaviy oralikdir. Oddiy zonali yaqinlashishda  $A$  va  $B$  qatlamlar orasidagi interfeysga nisbatan olingan chegaraviy shartlarni quyidagi ko‘rinishda qayd qilish mumkin

$$\varphi_A = t_{11} \varphi_B + t_{12} \tilde{\varphi}_B, \quad \tilde{\varphi}_A = t_{21} \varphi_B + t_{22} \tilde{\varphi}_B, \quad (5)$$

$\varphi_A$  va  $\varphi_B$  -  $A$  va  $B$  tarafidan qaralganda elektron to‘lqin funksiyasining qiymatlari,

$$\tilde{\varphi}_A = l \left( \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right)_A, \quad \tilde{\varphi}_B = l \frac{m_A}{m_B} \left( \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right)_B,$$

$m_{A,B}$  - elektronlarning  $A$  va  $B$  qatlamlardagi effektiv massalari,  $l$  -zunlik birligidagi ixtiyoriy kattalik bo‘lib,  $t_{ij}$  matritsaviy elementlarni birliksiz tanlashda kiritilgandir;  $\hat{t}$  matritsa unimodulyar matritsadir, ya’ni uning matritsaviy elementlari  $t_{11}t_{22} - t_{12}t_{21} = 1$  shartni qanoatlantiradi.  $A/B$  strukturada  $A$  qatlamdan  $B$  qatlamga aniq keskin o‘tishda masalasi  $\hat{t}$  matritsaning ko‘rinishini aniqlash silliq egiluvchan funksiya metodi qamroviga kirmaydi. Shuning uchun  $t_{ij}$  matritsaviy elementlarning qiymatlarini tanlash postulatlashiriladi va eksperimentlardan olingan natijalar yoki boshqa bir mikroskopik hisoblash metodi bilan miqdoran hisoblangan qiymatlar bilan solishtiriladi. Biroq, ko‘pgina hollarda, Bastard(Bastard)ning

$$\varphi|_A = \varphi|_B, \quad \frac{1}{m_A} \frac{d\varphi}{dz}|_A = \frac{1}{m_B} \frac{d\varphi}{dz}|_B. \quad (6)$$

chegaraviy shartlaridan foydalaniladi. Bu munosabat  $t_{11} = t_{22} = 1, t_{12} = t_{21} = 0$  shart qanoatlantirilganda (2,5) chegaraviy shartning xususiy holi bo‘lib qoladi.

U holda Shredinger tenglamasining xususiy yechimi

$$\varphi(z) = \begin{cases} C \cos kz & \text{agar } |z| \leq \frac{a}{2}, \\ D \exp\left[-\aleph\left(|z| - \frac{a}{2}\right)\right] & \text{agar } |z| \geq \frac{a}{2}. \end{cases} \quad (7)$$

Bu yerda  $\aleph = [2m_B(V - E_z)/\hbar^2]^{1/2}$  bo‘lib, o‘lchamli kvantlashish holat energiyalari potensial o‘ra balandligidan kichik qiymatli hamda  $B$  qatlamdagi to‘lqin vektori mavhum:  $k_B = i\aleph$  deb hisoblangan.

(2.7) munosabatni e’tiborga olgan holda (2.6) ko‘rinishdagi tenglamalar sistemasidan

$$C \cos k \frac{a}{2} = D, \quad -\frac{k}{m_A} C \sin k \frac{a}{2} = -\frac{\aleph}{m_B} D, \quad (8)$$

juft holatlarning energiyaviy spektri

$$\operatorname{tg} k \frac{a}{2} = \eta \equiv \frac{m_A \aleph}{m_B k}, \quad (9)$$

toq holatlarning energiyaviy spektri esa

$$\operatorname{ctg} k \frac{a}{2} = -\eta \quad (10)$$

ko‘rinishdagi transsendent tenglama yordamida aniqlanadi. Yuqorida keltirilgan ifodalar noldan farqli qiymatli  $\bar{q}$  to‘lqin vektorli holatlar uchun ham o‘rinlidir. Bunda  $k$  va  $\aleph$  kattaliklar sifatida quyidalar tushuniladi:

$$k = \left( \frac{2m_A E}{\hbar^2} - q^2 \right)^{1/2}, \quad \aleph = \left[ \frac{2m_B (V - E)}{\hbar^2} + q^2 \right]^{1/2}. \quad (11)$$

Ma'lumki, bir o'lchamli simmetriyaviy potensial o'rada, hech bo'lmasa, bita o'lchamli kvantlashgan holat mavjud bo'ladi. SHu sababdan chekli balandlikli potensial o'rada elektronlarning energiyaviy spektri  $c\nu$  chekli sonli o'lchamli kvantlashgan zonacha(tarmoq)lari hamda  $(E - (\hbar^2 q^2 / 2m_B)) > V$  shartni qanoatlantiruvchi holatli) kontinuumdan iborat bo'ladi. A va B qatlamlardagi elektronlar effektiv massalari o'zaro teng bo'lganida  $E_{c\nu\vec{q}}(\vec{q})$  munosabat parabola ko'rinishida bo'ladi. Bunday hol bir jinsli kompozitsion materiallardan tashkil topgan strukturalarda ham kuzatiladi.

Endi chekli potensial o'ra modelidan cheksiz balandlikli potensial o'raga o'tishning chegarasi haqida mulohaza qilaylik. Buning uchun potensial o'ra balandligi  $V$  ni

$$V \gg \frac{\hbar^2}{2m_A} \left( \frac{\pi}{a} \right)^2 \quad (12)$$

shartni qanoatlantiradigan darajada katta qiymatli deb hisoblaylik. U holda  $c1$  asosiy holat uchun  $\aleph$  kattalikni taqriban  $\aleph_0 = (2m_A V / \hbar^2)^{1/2}$  kattalik bilan almashtirish mumkin va  $k / \aleph_0$  nisbatni kichik qiymatli parametrlar sifatida qarash mumkin. (2.9) ifodani  $\text{ctg}(ka/2) = (m_B k / m_A \aleph)$  ko'rinishda yozib,  $k / \aleph_0$  parametrga nisbatan nolinchinchi yaqinlashishda  $c1$  asosiy holat uchun  $ka/2 = \pi/2$  yoki  $k = \pi/a$  munosabat kelib chiqadi va u  $V \rightarrow \infty$  chegaraviy holatga hamda (2.3) munosabatdagi  $\nu = 1$  holga mos keladi. Agar  $k$  ni  $\pi/a - \delta k$  kabi ifodalasak, u holda birinchi yaqinlashishda

$$\delta k \frac{a}{2} \approx \frac{m_B}{m_A} \frac{\pi}{\aleph_0 a} \quad \text{yoki} \quad k \approx \frac{\pi}{a} \left( 1 - \frac{m_B}{m_A} \frac{2}{\aleph_0 a} \right)$$

va

$$E_{e1} \approx \frac{\hbar^2}{2m_A} \left( \frac{\pi}{a} \right)^2 \left( 1 - \frac{m_B}{m_A} \frac{4}{\aleph_0 a} \right) \quad (13)$$

munosabatga ega bo'lamiz.

## **XULOSA**

Maqolada fotonli kinetik hodisalar bo'yicha olingan natijalarning nazariy tahlillari soddalashtirilgan, shuningdek tadqiqot ob'ektida olib borilgan eksperimental natijalarni miqdoriy fizikaviy tahlillarini olib borish imkonini qisman bo'lsada yaratilgan.

Potensial o‘ra va potensial to‘siqlarning davriy takrorlanishidan tashkil topgan va o‘lchamli kvantlashgan yarim o‘tkazgichli strukturadan elektronlarning optik o‘tishi nazariy hisoblangan ular fizikaviy tahlil etilgan.

## REFERENCES

1. Линейно-циркулярный дихроизм одно фотонного поглощения света в пьезоэлектрических полупроводниках. Учет эффекта когерентного насыщения / В. Р. Расулов, Р. Я. Расулов, И. М. Эшболтаев [и др.] // American Scientific Journal. – 2016. – № 7. – С. 44-47.
2. Диагностика полупроводниковых материалов методом поляритонной люминесценции / Б. З. Полвонов, М. Насиров, В. Мирзаев, Ж. Разиков // General question of world science : Collection of scientific papers on materials VII International Scientific Conference, Brussel, 30 марта 2019 года. – Brussel: "Наука России", 2019. – С. 39-42. – DOI 10.18411/gq-30-03-2019-35.
3. Полвонов Б. З. и др. Исследование низкотемпературной фотолюминесценции кристаллов в области экситонного резонанса //наука россии: цели и задачи. – 2019. – С. 8-11.
4. Юлдашев Носиржон Хайдарович, Ахмаджонов Мехриддин Фахриддинович, Мирзаев Валижон Тулкинович, Нурматов Озодбек Равшанжон Угли Фотоэлектретные пленки CdTe:Ag и Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> при собственном и примесном поглощении света shape \* Mergeformat // Евразийский Союз Ученых. 2019. №3-4 (60).
5. Мирзаев В. Т. и др. Магнитооптические свойства редкоземельных (P3)-ионов в парамагнитных гранатах //Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации. – 2019. – С. 34-36.
6. Ruzimatova Barnokhon, Polvonov Bakhtiyor. “Development of students ' creativity in the course of studying general physics at technical universities.” “Scientific-technical journal: Vol. 2 : Iss. 2 , Article 4.
7. Fakhriddin Y. et al. Physics student participation test in the online group homework forum //International Engineering Journal For Research & Development. – 2020. – Т. 5. – №. 8. – С. 4-4.
8. Yusupov F. T. O. G. L. et al. Use of vernier digital laboratory in lessons and lesson activities //Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences. – 2021. – Т. 1. – №. 10. – С. 86-94.

9. Rakhmonov Tokhir, Yusupov Fakhridin, and Tolaboyev Dilmuhammad, "A study in showing logical strategy and demeanor in the middle school", IEJRD - International Multidisciplinary Journal, vol. 5, no. 7, p. 7, Nov. 2020.
10. Axmadjonov M. F. et al. The spectral characteristics of cdte: ag photoelectrical films in the areas own and impurite absorption //Scientific-technical journal. – 2019. – Т. 2. – №. 2. – С. 9-17.
11. Yuldashev, N. K., Mamadiyeva, D. T., Nurmatov, O. R., Raxmonov, T. I., & Sulaymonov, X. M. (2019). The effect of mechanical deformation on the photovoltaic properties of semiconductor polycrystalline film structures CdTe: Sn. Scientific-technical journal, 23(3), 9-14.
12. Ahmadaliyev, B. J.; Yuldashev, N. Kh.; and Yulchiyev, I. I. (2020) "Specific features of the dispersion of mixed exciton-polariton modes in uniaxial crystals of the cds type," Scientific-technical journal: Vol. 24 : Iss. 5 , Article 12.
13. Rakhmonov, T I. and Yuldashev, N Kh (2021) "Photo-tensoelectric properties of thin polycrystalline CdTe, CdSe, CdS films obtained by portional thermal evaporation in a vacuum," Scientific-technical journal: Vol. 4 : Iss. 4 , Article 4.
14. Разработка автоматизированной системы измерений энергетических характеристик солнечных энергетических установок / С. Ф. Эргашев, Д. Т. Мамадиева, Х. М. Сулаймонов [и др.] // Точная наука. – 2019. – № 43. – С. 22-27.
15. Султанов, Н. А., Рахимов, Э. Т., & Мирзажонов, З. (2019). Спектры фотолюминесценция (фл) закаленного и легированного кремния. Точная наука, (44), 22-25.
16. Касымов, Ш. С., Мирзажонов, З., Йулдашев, Х. Т., & Ахмедов, Ш. С. (2017). Фотопреобразователь для исследования характеристик лазерного ИК излучения. Журнал фізики та інженерії поверхні, 2(4), 218-222.
17. Сулаймонов, Х. М., Йулдашев, Х. Т., Нурматов, О. Р., Рахмонов, Т. И., & Мухаммадюкубов, Х. Э. (2019). Фотоэлектрические свойства полупроводниковых поликристаллических пленочных структур CdTe: Sn при статических механических деформациях. Известия Ошского технологического университета, (3), 180-186.
18. Юлдашев Н. Х., Ахмадалиев Б. Ж. 02 ФКС Сильная интерференционная люминесценция смешанных мод в окрестности критического значения затухания экситона //Оптика и спектроскопия. – 2021. – Т. 129. – №. 9.



19. Joboraliyevich, Akhmadaliyev Bozorboy. "Specific features of the dispersion of mixed exciton-polariton modes in uniaxial crystals of the cds type." European science review 1-2 (2021): 25-29.
20. Yuldashev, N. K., Mamatov, O. M., Nurmatov, O. R., Rahmonov, T. I., & Axmadjonov, M. F. (2019). The spectral characteristics of cdte: ag photoelectrical films in the areas own and impurite absorption. Scientific-technical journal, 23(2), 9-17.
21. Nurmatov, O.; Rahmonov, T.; Sulaymonov, Kh.; and Yuldashev, N. (2020) "Phototenzoelectric properties of polycrystalline films of chalcogenides of cadmium and zinc, produced by portional evaporation in vacuum," Euroasian Journal of Semiconductors Science and Engineering: Vol. 2 : Iss. 5 , Article 10.
22. Yuldashev, N Kh; Mamadieva, D. T.; Nurmatov, O. R.; Raxmonov, T. I.; and Sulaymonov, X. M. (2019) "The effect of mechanical deformation on the photovoltaic properties of semiconductor polycrystalline film structures CdTe: Sn," Scientific-technical journal: Vol. 23 : Iss. 3 , Article 6.
23. Ahmadaliev, B J.; Akhmadjonov, M F.; Nurmatov, O R.; Yuldashev, N Kh; Mamatov, O M.; Muxammadyakubov, H E.; and Urmonov, S R. (2019) "The dispersion and photoluminescence spectrum of mixed excitons at critical damping values," Scientific-technical journal: Vol. 2 : Iss. 1 , Article 2.