

ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ

3 ЖИЛД, 1 СОН

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

ТОМ 3, НОМЕР 1

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

VOLUME 3, ISSUE 1



ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES
№1 (2022) DOI <http://dx.doi.org/10.26739/2181-0656-2022-1>

Бош муҳаррир:
Главный редактор:
Chief Editor:

Эгамбердиев Бахром Эгамбердиевич
физика-математика фанлари доктори,
профессор, РФА академиги.

Бош муҳаррир ўринбосари:
Заместитель главного редактора:
Deputy Chief Editor:

Далиев Хожакбар Султанович
физика-математика фанлари доктори,
профессор.

ТАХРИРИЙ МАСЛАХАТ КЕНГАШИ | РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ | EDITORIAL BOARD

Угамуродова Шарифа Бекмуродовна
физика-математика фанлари доктори, профессор.

Отакулов Салим
физика математика фанлари доктори

Жабборов Насридин Мирзоодилович
физика-математика фанлари доктори, профессор

Зикиров Обиджан Салижанович
физика-математика фанлари доктори, профессор,

Шарипов Олимжон Шукурович
физика-математика фанлари доктори, профессор,

Бешимов Рузиназар Бебутович
физика-математика фанлари доктори, профессор,

Маллаев Амин Сайфуллоевич
физика-математика фанлари номзоди, доцент

Алиназарова Маҳфуза Алишеровна
физика-математика фанлари фалсафа доктори

PageMaker | Верстка | Саҳифаловчи: Хуршид Мирзахмедов

Контакт редакций журналов. www.tadqiqot.uz
ООО Tadqiqot город Ташкент,
улица Амира Темура пр.1, дом-2.
Web: <http://www.tadqiqot.uz/>; E-mail: info@tadqiqot.uz
Тел: (+998-94) 404-0000

Editorial staff of the journals of www.tadqiqot.uz
Tadqiqot LLC the city of Tashkent,
Amir Temur Street pr.1, House 2.
Web: <http://www.tadqiqot.uz/>; E-mail: info@tadqiqot.uz
Phone: (+998-94) 404-0000

МУНДАРИЖА | СОДЕРЖАНИЕ | CONTENT

1. Ботиров Фарход Ўктамович К ТЕОРИИ ПРОИСХОЖДЕНИЯ БАЛДЖА СПИРАЛЬНЫХ ГАЛАКТИК. 1. КУПОЛЬНАЯ МОДА ВОЗМУЩЕНИЯ.....	4
2. Qoraboev Kamoliddin Abdishukurovich, Qurbonov Husniddin Xolmurod o'g'li YARIMO'TKAZGICHLI SFERIK KVANT NUQTALAR O'LCHAMINING SHEGARALASH ENERGIYASIGA BOG'LIQLIK NAZARIYASI.....	8
3. Bozarov Dilmurod Uralovich DETERMINANTLAR MAVZUSINI MUSTAQIL O'QISHGA DOIR MISOLLAR.....	13
4. Явкачева Зулхумор Абдурасиловна “МОЛЕКУЛЯР ФИЗИКА”ДАН ЭКОЛОГИК МАЗМУНДА ЛАБОРАТОРИЯ ИШЛАРИНИ БАЖАРИШ МЕТОДИКАСИ.....	17
5. Сайтджанов Шовкат Нигматжанович, Юсупов Шерзод Батирович ИННОВАЦИОН ТАЪЛИМ ТЕХНОЛОГИЯСИНИ ҚЎЛЛАШ ОРҚАЛИ ИЗЧИЛЛИК ПРИНЦИПИНИ ТАТБИҚ ЭТИШ (ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ МИСОЛИДА).....	21
6. Rasulov T.H., Dilmurodov E.B. KVADRATIK SONLI TASVIR VA UNING ASOSIY XOSSALARI.....	26
7. Artiqbayev Abdullaaziz, Sultanov Bekzod SIRT DEFORMATSIYASIDA UNING TO'LA EGRILIGI SAQLANISHI HAQIDA.....	34
8. Shamshiyev Fazliddin Tulayevich HARAKAT TENGLAMALARINI LOKAL INTEGRALLARI YORDAMIDA INTEGRALLANISHI.....	41
9. Исмоилов Шерзодбек Шокиржон угли СВОЙСТВА ДВОЙСТВЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ В МНОГОМЕРНОМ ИЗОТРОПНОМ ПРОСТРАНСТВЕ.....	47
10. Omonov Abbos Ulug'bekovich АНАЛИЗ ЭФФЕКТА СМЕЩЕНИЯ ЯДРА ОТ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ЦЕНТРА СПИРАЛЬНОЙ ГАЛАКТИКИ.....	59



ISSN: 2181-0656

www.tadqiqot.uz

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ | ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 621.315.592

Qoraboev Kamoliddin Abdishukurovich,

Toshkent davlat texnika universiteti

tayanch doktoranti.


e-mail: qoraboyev01@mail.ru

Qurbonov Husniddin Xolmurod o'g'li,

Toshkent davlat texnika universiteti

magistranti

YARIMO'TKAZGICHLI SFERIK KVANT NUQTALAR O'LCHAMINING CHEGARALASH ENERGIYASIGA BOG'LIQLIK NAZARIYASI

 <https://doi.org/10.5281/zenodo.5927012>

ANNOTASSIYA

Chegaralash energiyasining GaAs dan yasalgan sferik kvant nuqtalar o'lchamiga bog'liqligi nazariy jihatdan o'rganiladi. O'tkazuvchanlik zonasidagi erkin elektronlarning energiya sathlari va kvant nuqtalarida valentlik zonasidagi teshiklar diskret ekanligi ko'rsatildi. Shuningdek, ikki sath orasidagi energiya kvant nuqtalarining o'lchamiga bog'liqligi va kvant nuqtalarining o'lchamining kamayishi bilan ortib borishi ko'rsatildi. Bundan tashqari, bizning natijalarimiz shuni ko'rsatadiki, kvant nuqtas radiusi ortishi bilan chegaralanish energiyasi kamayadi, lekin nolga etib bormaydi.

Tayanch so'zlar: Shredinger tenglamasi; kvant nuqta; yarimo'tkazgich; elektron va teshiklar; to'lqin uzunlik; energetik sath

Карабаев Камолиддин Абдишукурович,

базовый докторант

Ташкентский государственный технический университет

e-mail: qoraboyev01@mail.ru

Курбонов Хусниддин Холмурод угли,

магистрант

Ташкентского государственного технического университета

e-mail: pandahusniddin@gmail.com

ТЕОРИЯ ЗАВИСИМОСТИ РАЗМЕРА ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ СФЕРИЧЕСКОЙ КВАНТОВОЙ ТОЧКИ ОТ ПРЕДЕЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ

АННОТАЦИЯ

Теоретически исследована зависимость предельной энергии от размера сферических квантовых точек из GaAs. Показано, что дырки в валентной зоне на энергетических уровнях и квантовых точках свободных электронов в зоне проводимости дискретны. Также было показано, что энергия между двумя уровнями зависит от размера квантовых точек и

увеличивается с уменьшением размера квантовых точек. Кроме того, наши результаты показывают, что предельная энергия уменьшается с увеличением радиуса квантовой точки, но не достигает нуля.

Ключевые слова: Уравнение Шредингера; квантовая точка; полупроводник; квантовая частица в ловушке; электроны и дырки; длина волны; энергетический уровень.

Qorabaev Kamoliddin Abdishukurovich,

Doctoral student of
Tashkent State Technical University
e-mail: qoraboyev01@mail.ru

Qurbonov Husniddin Xolmurod o'g'li,

Master student of Tashkent State Technical University
e-mail: pandahusniddin@gmail.com

THE THEORY OF THE DEPENDENCE OF THE SIZE OF A SEMICONDUCTOR SPHERICAL QUANTUM POINT ON THE CONFINEMENT ENERGY

ANNOTATION

The dependence of the limiting energy on the size of spherical quantum points made of GaAs is theoretically studied. It has been shown that the holes in the valence band at the energy levels and quantum points of the free electrons in the conduction band are discrete. It has also been shown that the energy between the two levels depends on the size of the quantum dots and increases with decreasing the size of the quantum dots. Furthermore, our results show that the limiting energy decreases with increasing quantum dot radius, but does not reach zero.

Key words: Schrödinger equation; quantum dot; semiconductor; quantum particle in trap; electrons and holes; wavelength; energetic level.

Kirish. So'nggi paytlarda materiallarning o'lchamlari nanometrغا yaqinlashganda ularda paydo bo'ladigan noyob xususiyatlar va potentsial o'ralar tufayli yarimo'tkazgichlardan yasalgan kvant nuqtalar (KN) tadqiqotchilar orasida katta qiziqish uyg'otdi. Ushbu xususiyatlar bir xil materiallarning ommaviy analoglarida ko'rinmaydigan o'lchamdagi sozlanishi optik va elektron xususiyatlarni o'z ichiga oladi. Cheklangan elektronlar tizimlari tabiatda atomlar shaklida ko'rinadi, bu yerda orbitadagi elektronlar Kulon kuchi bilan chegaralanadi. Nanomateriyallar bo'yicha olib borilgan tadqiqotlar KN misolida bo'lgani kabi sun'iy potentsial to'siqlar yordamida elektronlarni cheklashning muqobil usullarini topdi.

Shunday qilib, KNdagi elektronlarning cheklangan tizimlari boshqariladigan atomga o'xshash tizimda fundamental kvant nazariyalarini o'rganish uchun noyob imkoniyatdir [1]. Kvant nuqtalari, shuningdek kvant simlari yoki kvant quduqlari o'tkazuvchanlik zonasi elektronlari va valentlik zonasi kovaklarining harakatini nanometrik o'lchamdagi cheklangan sohaga cheklash natijasida standart atom fizikasining xususiyatlarini ko'rsatadi [2]. Kvant nuqtalari yarimo'tkazgichlarda va boshqa kvant tuzilmalarida ko'rilmagan katta chegaralanishga erishdi [3]. Optik spektrlarning ko'k siljishi bilan tavsiflangan kvant o'lchami effekti KNlarda ularning zaryad tashuvchisi chegaralanish energiyasining oshishi tufayli kuzatilgan [4].

KN asosan nol o'lchovli nanokristallardir. KN ta'sirida elektron va kovaklarni kuchli chegaralanishi ularning to'liq funksiyalari uch o'lchovli kvant chegaralanishiday bo'ladi [5]. KNning noyob optik xususiyatlari hozirda kvantni cheklash effekti bilan bog'liq ekanligi ma'lum [6]. KNlarning diskret energiya sathlari ularni hajmiy materiallarga emas, balki atomlarga yaqinroq bog'lashi KNlarni "suniy atomlar" laqabini olishiga olib keldi.

KNlardagi enegetik sathlar qiymatlari va elektron va kovaklarning chegaralanish energiyasi KN o'lchamining kvadratiga teskari proporsionaldir [7]. Ushbu ishimizda GaAs yarimo'tkazgichli sferik KNlarning erkin elektronlari kovaklar bilan rekombinatsiyasi sababli paydo bo'ladigan

nurlanish jarayonlari va chegaralash energiyasi hamda ularning optik xususiyatlarini nazariy o'rgandik.

1. Nazari qism

Agar erkin zarrachaning to'lqin uzunligiga (yani De Broil to'lqin uzunligiga) nisbatan chegaralovchi o'lcham ancha katta bo'lsa, zarra o'zini yassi to'lqin kabi tutadi. Bu holatda sathlar uzluksiz energiyaga ega bo'lgan holatga to'g'ri keladi. Ammo kvant chegaralanishni kamaytirib, ma'lum chegaraga yetganda, odatda nanoo'lchamda, erkin zarra energiya spektri diskret bo'la boshlaydi. Natijada, zarrachaning optik hususiyati ikki va undat ortiq sathlar orasidagi energiyaga bog'liq bo'lib qoladi. Yarimo'tkazgichli materialning hajmi kamayishi bilan elektronlar va teshiklar yaqinlashadi va ularni faollashtirish uchun zarur bo'lgan energiya ortadi, bu esa oxir-oqibat yorug'lik nurlanishining kichik to'lqin uzunlikdagi nurlar o'zgarishiga olib keladi.

Kvant nuqta (KN) diametri bir necha nanometrغا teng bo'lgan yarimo'tkazgich material kristalidir. KNning elektrik va optik xossalari yarimo'tkazgichlar va diskret molekulalar o'rtasida oraliq bo'lib, ularning hajmi, shakli bilan chambarchas bog'liq va ikkita sath orasidagi energiya, tushayotgan nurlanishning to'lqin uzunligi yutilish spektri kabi xususiyatlarni yuqori darajada aniqlashimizga imkon beradi, chunki ishlab chiqarish jarayonida kvant nuqtalarining o'lchamlarini taqsimlashni, nazorat qilish mumkin. Masalan, chiqayotgan yorug'likning chastota diapazonini belgilovchi KNdagi ikkita sath orasidagi energiya uning o'lchamiga teskari bog'liqdir. KNning o'lchami (radiusi) kamayishi bilan chiqariladigan yorug'lik chastotasi ortadi. Tushayotgan yorug'lik to'lqin uzunligining KNta o'lchamiga bog'liqligini ko'rib chiqamiz: KNning o'lchami qanchalik katta bo'lsa, KNdan chiqayotgan nurlanishning to'lqin uzunligi shunchalik katta bo'ladi.

KNlarda yorug'likning yutilishi odatda elektronning bir sathdan ikkinchi sathga o'tishi natijasida kuzatiladi. Ushbu o'tish ma'lum vaqt o'tgandan keim o'z holatiga qaytadi (ya'ni elektron o'zining asosiy holatini tiklaydi), sathlar orasidagi energiyalar farqi yorug'lik sifatida chiqaradi. Kattaroq KNlar bir-biriga yaqinroq bo'lgan energiya qiymatlariga ega bo'lib, ularda elektron-teshik juftligi (eksiton) paydo bo'lishini ko'rishimiz mumkin. KNdan chiqadigan yorug'lik energiyasini pastki va yuqori bo'lgan ikki sath orasidagi energiya, hamda electron va teshiklarning chegaralanish energiyasi yig'indisi sifatida tushunish mumkin [8].

Bog'lanish (chegaralanish) energiyasi kvant nuqtalarining o'lchamiga bog'liq bo'lganligi sababli, yorug'lik yutilishi va chiqarilgan nurlanishning optik xususiyatlarini kvant nuqta o'lchamini o'zgartirish orqali aniqlashimiz mumkin. KN qanchalik katta bo'lsa, uning yutilish boshlanishi va chiqarilgan yorug'lik spektri shunchalik qizg'ish ya'ni pastroq energiyaga ega bo'ladi. Aksincha, kichikroq KNlar ko'kroq ya'ni yuqori energiyadagi nurlarni yutadi va chiqaradi. Nanotexnologiya va boshqa jurnallardagi so'nggi maqolalar kvant nuqtasining shakli ham rang berish omili bo'lishi mumkinligini ko'rsata boshladi, ammo hozircha etarli ma'lumot yo'q. Bundan tashqari, chiqarilgan yorug'likning to'lqin uzunligi KNning radiusiga qarab aniqlanishini ko'rishimiz mumkin.

KNning radiusini o'zgartirish orqali yutiladigan va chiqariladigan yorug'lik energiyasi va to'lqin uzunligiga ta'sirini osongina ko'rishimiz mumkin. Buning uchun biz KNdan chiqayotgan yorug'lik (chegaralanish) energiyasi va to'lqin uzunligining KN radiusiga bog'likligini quyida ko'rsatilgan **Brus tenglamasi orqali** ifodalaymiz.

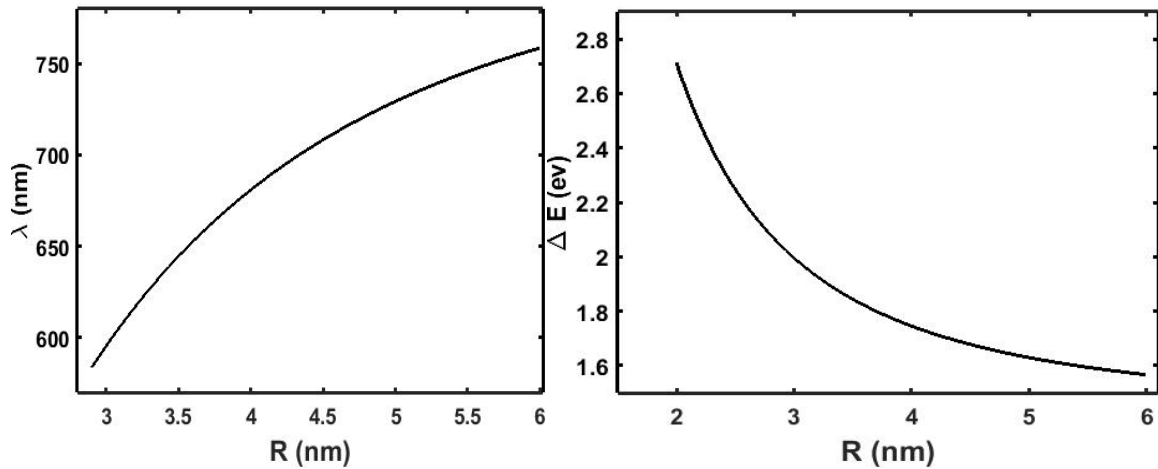
$$\Delta E(R) = E_g + \frac{h^2}{8R^2} \left(\frac{1}{m_e^*} + \frac{1}{m_h^*} \right)$$

Bu tenglama KN radiusi o'zgarishining elektronlarni va kovaklarni chegaralash energiyasi va to'lqin uzunligi λ ga ta'sirini tavsiflaydi.

2. Olingan natijalar va ularning tahlili

Bu yerda chiqarilgan yorug'lik energiyasi $\Delta E(R) = hc/\lambda$, c - yorug'lik tezligi, E_g - GaAs uchun taqiqlangan zona kengligi ($E_g \approx 1.42$ eV), h - Plank doimiysi, R – KN radiusi. m_e^* va m_h^* electron va teshikning effektiv massasi ($m_e^* \approx 0.06 m_e$ va $m_h^* \approx 0.45 m_h$).

Bu ifoda eksperimental ravishda aniqlangan parametrlar bilan KN radiusini hisoblash uchun qulaydir. 1-rasmda kvant nuqtasi radiusi o'zgarishining chiqarilgan yorug'likning energiyasi va to'lqin uzunligi λ ga bog'liqligi ko'rsatilgan.



1-rasm. GaAs dan yasalgan KN radiusi o'zgarishining chiqarilgan yorug'likning energiyasi (chapda) va to'lqin uzunligiga bogliqlik grafigi (o'gda).

Bu grafikdan ko'rinib turibdiki (chapda), chegaraviy energiyaning KN o'lchamiga (radiusiga) teskari kvadratik bog'liqligini ko'rsatib turibdi. KN radiusi kattalashgan sari yuqori to'lqin uzunlikdagi chiqayotgan nurlanishlarni, ular energiyasi esa kamayishini, lekin KNning turli qiymatlari uchun hech qachon nolga teng bo'lmasligini ko'ramiz. Shunday qilib, KNlardagi elektronlarning asosiy holatining chegaralanishi nolga teng bo'lmaydi, ya'ni ular o'tkazuvchanlik zonasini quyi energiyasiga tengdir [9].

Natijalar shuni ko'rsatadiki, o'tkazuvchanlik va valent zonalarda elektron va kavaklar uchun mos ravishda diskret sathlar paydo bo'ladi. Bunga sabab energiya sathlari elektron va kavaklarning cheklanganligi sababli paydo bo'ladi. KNlar ichidagi o'tkazuvchanlik zonasidagi elektronlarning chegaralanish energiyasi KN radiusi kichrayishi bilan sezilarli darajada ortib boradi, bu kuchli kvant o'lcham ta'sirini ko'rsatadi [10].

Yuqoridagi grafikdan ko'rinib turibdiki (o'gda), 4-6 nmdan keyin KN radiusining chegara energiyasiga ta'siri pastroq bo'lyabdi, bu esa kuchsiz kvant ta'sirini (cheqralash) ko'rsatadi. Shunday qilib, KNning sathlar orasidagi energiyasi nuqta o'lchamiga (radius) teskari proporsionaldir, chunki nuqta o'lchami kamaysa, elektronlarning chegaralanishi tufayli, sezilarli darajada oshadi. Bu shuni anglatadiki, eng katta KNlar eng kichik bo'lgan sathlar orasidagi energiyani (qizil spektr) va eng kichik KNlar eng katta bo'lgan sathlar orasidagi energiyani (ko'k rangli spektr) hosil qiladi. Yuqoridagi grafiklardan olingan natijalarni quyidagi jadvalda ko'rishimiz mumkin [11].

Rangi	To'lqin uzunlik λ (nm)	Energiya ΔE (eV)	KN radiusi R (nm)
Sariq	578	2.1	2.9
Sariq	598	2	3
To'q sariq	644	1.85	3.5
Qizil	680	1.74	4
Qizil	708	1.68	4.5
To'q qizil	725	1.63	5
To'q qizil	743	1.58	5.5
Infra qizil	760	1.56	6

3. Xulosalar

Yarimo'tkazgichli sferik kvant nuqtalarda o'tkazuvchanlik zonasidagi erkin elektronlar va valent zonalasidagi kovaklar energetik sathlari diskret bo'lishi ko'rsatildi. Bundan tashqari, elektronlar va kovaklarni chegaralash energiyasi kvant nuqtalar o'lchamiga bog'liq bo'lishi va kvant nuqtalar o'lchamining kamayishi bilan oshishi ko'rsatildi. Bizning natijalarimiz shuni ko'rsatdiki, kvant nuqta radiusi oshgani sayin energiya pasayib ketdi, lekin hech qachon nolga teg bo'lmaydi.

Foydalangan adabiyotlar

1. P. Martyniuk and A. Rogalski, "Quantum-Dot Infrared Photodetectors: Status and Outlook," *Progress in Quantum Electronics*, Vol. 32, No. 3-4, 2008, pp. 89-120.
doi:10.1016/j.pquantelec.2008.07.001
2. C. Wang, M. Shim and P. Guyot-Sionnest, "Electrochromic Nanocrystal Quantum Dots," *Science*, Vol. 291, No. 5512, 2001, pp. 2390-2392. doi:10.1126/science.291.5512.2390
3. P. Martyniuk and A. Rogalski, "Quantum-Dot Infrared Photodetectors: Status and Outlook," *Progress in Quantum Electronics*, Vol. 32, No. 3-4, 2008, pp. 89-120.
doi:10.1016/j.pquantelec.2008.07.001
4. М. А. Қосимжонов Нанотехнология (физик-кимёвий асослари) Тошкент-2009 й, 17-бет
5. L. E. Brus, *Journal of Chemical Physics* 79 (11), 5566 (1983).
6. S. Adachi, *World Scientific Singapore* 5 (2), 102 – 150 (1994).
7. D. Bera, L. Qian, *Semiconducting Quantum Dots for Bioimaging, Information Healthcare*, New York, 191 (2009).
8. S. Pathak, M.C. Davison and G.A. Silva, *Nano Letters*, 7 (3), 210 (2007).
9. Бекжонов П., Аҳмадхўжаев Б. Атом физикаси. Тошкент: Ўқитувчи, 1979 й, 181-бет
10. J. M. Harbold, *The Electronic and Optical Properties of Colloidal Lead Selenide Semiconductor Nanocrystal*, Ph.D. Dissertation, Cornell University, New York (Unpubl.) (2005).
11. J. Sinclair, D. Dagotto, *An Introduction to Quantum Dots: Confinement, Synthesis, Artificial Atoms and Applications*, Solid State II Lecture Notes, University of Tennessee (Unpubl.) (2009).

ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ

3 ЖИЛД, 1 СОН

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

ТОМ 3, НОМЕР 1

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

VOLUME 3, ISSUE 1

Контакт редакций журналов. www.tadqiqot.uz
ООО Tadqiqot город Ташкент,
улица Амира Темура пр.1, дом-2.
Web: <http://www.tadqiqot.uz/>; E-mail: info@tadqiqot.uz
Тел: (+998-94) 404-0000

Editorial staff of the journals of www.tadqiqot.uz
Tadqiqot LLC The city of Tashkent,
Amir Temur Street pr.1, House 2.
Web: <http://www.tadqiqot.uz/>; E-mail: info@tadqiqot.uz
Phone: (+998-94) 404-0000