

## НАНОФИЗИКА КУРСИНИНГ ФУНДАМЕНТАЛ БИЛИМЛАРИ

*Савурова Шаҳризода Абдумалик қизи*

*Ўзбекистон миллий университети ҳузуридаги*

*Нанотехнологияларни ривожлантириш марказининг*

*таянч докторанти (PhD)*

*Илмий раҳбар: Муқимов Комил Муқимович*

*Ўзбекистон миллий университети ҳузуридаги*

*Нанотехнологияларни ривожлантириш маркази*

*директори, академик*

### АННОТАЦИЯ

Маълумки, ҳозирги кунда техника ва технологиялар шиддат билан ривожланаётган даврда таълимга эътиборни кучайтириш кераклиги ҳеч биримизга янгилик эмас назаримда. Қадим – қадимдан ривожланган, таракқий этган мамлакатлар биринчи ўринда таълимга эътибор ва маблағ сарфлашган. Шундай экан бугунги кундаги ўзгаришлар ва таракқийга тайёр туришимиз учун албатта биз илмга мурожаат қиламиз. Ушбу тезисда биз бугунги кундаги долзарб масалалардан бири бўлган нанофизика курсига кириш ва унинг фундаментал билимларини эгаллаш ҳақида айрим масалаларни ёритганмиз.

**Калит сўзлар:** Нанотехнологиялар, нанофизика, наноструктуралар, нано ўлчам, нанометр, наноэлектроника, квант чегара, электрон.

### АННОТАЦИЯ

Известно, что в наше время, в эпоху бурного развития техники и технологий, ни для кого из нас не является новостью необходимость уделять больше внимания образованию. С незапамятных времен развитые и развитые страны уделяли внимание и деньги образованию в первую очередь. Поэтому, чтобы быть готовыми к сегодняшним изменениям и развитию, мы обязательно обратимся к науке. В данной диссертации мы затронули некоторые вопросы поступления в курс нанофизики и получения ее фундаментальных знаний, что является одним из актуальных вопросов сегодня.

**Ключевые слова:** Нанотехнологии, нанофизика, наноструктуры, наномасштаб, нанометр, наноэлектроника, квантовый рубеж, электроника.

### ABSTRACT

It is known that nowadays, in the era of rapid development of techniques and technologies, it is not new to any of us that it is necessary to pay more attention to education. From time immemorial, developed and advanced countries have paid attention and money to education in the first place. Therefore, in order to be ready for today's changes and development, we will definitely turn to science. In this thesis, we

have covered some issues about entering the course of nanophysics and acquiring its fundamental knowledge, which is one of the current issues today.

**Keywords:** Nanotechnology, nanophysics, nanostructures, nanoscale, nanometer, nanoelectronics, quantum frontier, electronic.

### Кириш

Кўришиб турибдики, саноат корхоналари илмий-тадқиқот муассасаларининг кашфиётлари ва инновациялари эвазига ривожланиши мумкин, ўз навбатида, талабларга жавоб берадиган юқори малакали кадрлар тайёрлаш учун таълим муассасалари ҳам саноат корхоналари билан фаол ҳамкорлик қилиши, шунингдек, давлат томонидан мақсадли молиялаштирилиши лозим. Бу бора бугун улкан ислохатлар қилинмоқда.

Президентимиз Ш.М.Мирзиёевнинг ҳар маърузаларида “Бугун таълимга етарли эътибор қаратмасак, ёшларга шарт – шароитлар яратмасак кейин жуда кеч бўлади. Фарзандларимиз биздан рози бўлиши учун ҳам бугун илмни кучайтиришимиз шарт.” Бу сўзлар замирида жуда катта эътибор ётибди. Чунки бу йилни номини ҳам шу сўзлар замирида кўйилди десак адашмаган бўламиз. “2024 – йил Ёшлар ва бизнесни қўллаб – қувватлаш йили” бу деган ёш авлодга бўлган эътиборнинг бир кўринишидир.

Республикамызда юқори технологик замонавий саноат корхоналари, логистика ва инфратузилма тармоқлари, боғча ва мактаблар, маданият ва спорт объектлари барпо этилди. Янги – янги иш ўринлари очилмоқда. Шаҳар ва қишлоқларимиз обод бўлиб, аҳоли ҳаёт даражаси юксалиб бормоқда. [1]

Юқорида юртбошимиз томонидан айtilган бу гаплар замирида халқимизнинг улкан меҳнатлари ётибти. Эндиликда халқимизнинг оғирини ва меҳнатини енгил қилиш учун нанотехнологиялардан самарали фойдаланиш, нанотехнологиялар асосида яратилган материалларни ишлаб чиқариш бугунги куннинг долзарб масаласи десак адашмаган бўламиз. Бунинг учун биринчи қадам нанофизика курсини чуқур эгаллаган ёшларни тарбиялаш зарур.

Наноструктуралардаги фундаментал ҳодисалар

Асосий ҳодисаларнинг учта гуруҳи мобил телефоннинг ҳаракатини белгилайди. Нано ўлчамдаги тузилмаларда заряд ташувчилар (электронлар ва тешиқлар). Бу квант қамоқ, баллистик транспорт ва квант шовқин, туннел, уларнинг келиб чиқишида типик квант механик ҳодисаларини ифодалайди.

1. Квант чегараланиши

Квант чегараси электронларнинг камида битта йўналишда эркин ҳаракати ушбу электронлар жойлашган наноструктурада ҳосил бўлган потенциал тўсиқлар билан чегараланганда содир бўлади. У рухсат этилган энергия

ҳолатлари спектрига ва наноструктура орқали заряд ташувчиларни узатишга янги нақшларни киритади.

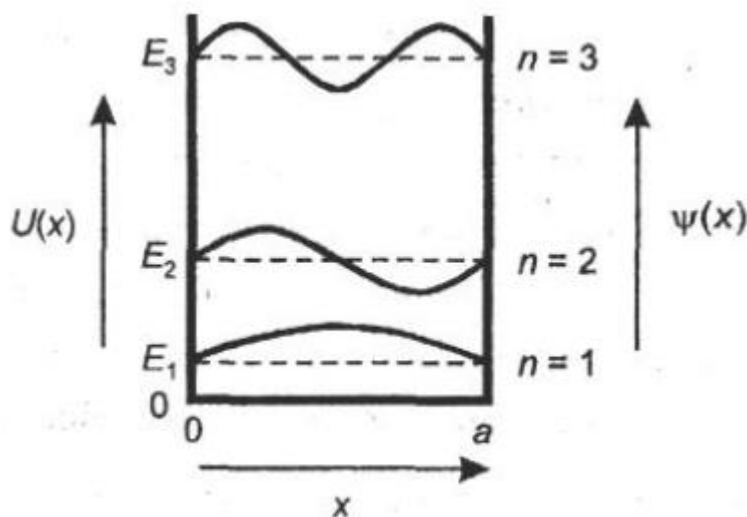
Уч ўлчовли тизимда ҳаракатланадиган эркин электрон кинетик хусусиятга эга энергия, унинг катталиги фазога мос келади. Унинг импульс компонентлари  $p_x, p_y, p_z$

$$E = \frac{1}{2m}(p_x^2 + p_y^2 + p_z^2), \quad (1.1)$$

ёки тўлқинли тасвирда

$$E = \frac{\hbar}{2m}(k_x^2 + k_y^2 + k_z^2) \quad (1.2)$$

бу ерда  $m$  (шунингдек,  $m^*$  деб ҳам белгиланади) электроннинг самарали массаси бўлиб, у каттик жисмларда одатда  $m_0$  электроннинг қолган массасидан камроқ бўлади;  $\hbar = h/2\pi$  – камайтирилган Планк константаси ( $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ );  $k_x, k_y, k_z$  – тўлқин векторининг фазовий компонентлари. Наноструктурада электроннинг эркин ҳаракати камида битта йўналишда чекланган. Берилган йўналишда, у  $x$  ўқи бўйлаб йўналиш бўлсин, электронни ушлаб турган кучлар шаклда кўрсатилганидек, чексиз чуқур потенциал қудуқ билан ифодаланиши мумкин. [2] 1.1.



Геометрик қудуқ кенлиги  $a$  учун  $x$  бўйлаб электрон  $0 < x < a$  ҳудудида нол потенциал энергияга эга. Чексиз юқори потенциал тўсиқ электроннинг ушбу ҳудуддан ташқарида бўлишига тўсқинлик қилади. Шундай қилиб, электронга мос келадиган тўлқин функцияси потенциал қудуқнинг чегараларида, яъни  $x=0$  ва  $x=a$  да йўқолиши керак. Ушбу шартга фақат чекланган тўлқин функциялари тўплами жавоб беради. Булар  $\lambda_n = \frac{2a}{n}$  (1.2) муносабати билан аниқланган тўлқин узунлиги 1 бўлган доимий тўлқинлар бўлиб, бу ерда  $n=1,2,\dots$

Тегишли рухсат этилган тўлқин вектор қийматлари дискретдир ва  $k_n = \frac{2\pi}{\lambda_n} = \frac{n\pi}{a}$  қийматига ега. (1.3)

Натижада, кудукдаги электроннинг рухсат этилган энергия ҳолатлари ҳам дискрет бўлиб чиқади. Бу давлатларнинг спектри қуйидагича тасвирланган

$$E = \frac{\hbar^2 k_n^2}{2m} = \frac{\hbar^2 \pi^2 n^2}{2ma^2} \quad (1.4)$$

$n$  бутун сони квант ҳолатини билдирувчи квант сонидир.

(1.4) дан кўриниб турибдики, электрон чекланган ҳудудга жойлаштирилган.

Наноэлектрон қурилмаларнинг ишлашининг асосий ҳодисалари

Наноэлектроника - нанометр (1 - 100 нм) элемент ўлчамларига эга бўлган электрон қурилмаларни яратиш, тадқиқ қилиш ва қўллаш билан шуғулланадиган фан ва технология соҳаси. Бундай қурилмаларнинг ишлаши квант ўлчамли эффектларга асосланган.

Ҳажми эффекти - бу тананинг хусусиятларининг унинг ҳажмига боғлиқлиги. Бу таъсир тананинг кенгайиши, ҳеч бўлмаганда бир йўналишда, маълум бир критик қиймат  $\ell_k$  билан таққосланадиган бўлса пайдо бўлади.

Классик ўлчам эффектлари учун  $\ell_k$  классик миқдордир, масалан, диффузия узунлиги, электроннинг ўртача эркин йўли ва бошқалар.

Нано ўлчамдаги тузилмаларда мобил заряд ташувчиларнинг (электронлар ва тешиқлар) хатти-ҳаракатларини аниқлайдиган асосий жисмоний ҳодисалар квантни ушлаб туриш, баллистик транспорт ва квант шовқинлари ва туннелларни ўз ичига олади.

Нано ўлчамли тузилмаларда содир бўладиган жисмоний ҳодисалар тўплами одатда квант ўлчамли эффектлар деб аталади. Бу таъсирларнинг барчаси нанометр шкаласининг фазовий ҳудудларида заряд ташувчилар ҳаракатининг квант механик (тўлқин) табиатининг намоёнидир.

Квант ўлчамлари эффектлари (электрон тузилмаларда) критик узунлик  $\ell_k$  ролини асосан квант характеристикаси - электронлар учун де Бройл тўлқин узунлиги  $\lambda$  ўйнаганда юзага келади, яъни. камида битта ўлчамдаги структуранинг ўлчами  $\lambda$  га тенг бўлганда. Ушбу шарт бажарилганда наноструктураларда квант механик ҳодисалари доминант бўлиб, бу уларнинг электрон қурилмаларда қўлланиладиган ўзига хос электрон, оптик, магнит ва бошқа хусусиятларини белгилайди.

Мезон (де Бройл тўлқин узунлиги) киритилиши муносабати билан турли материаллар учун наноструктураларнинг чизиқли ўлчамларини баҳолаш

қизиқиш уйғотади. Кристалда тезликда ҳаракатланадиган электрон учун де Бройл тўлқин узунлиги  $\nu$  ( $\nu \ll c$  - ёруғлик тезлиги) формула билан аниқланади:

$$\lambda = \frac{h}{m^* \nu} = \frac{h}{\sqrt{2m^* E_{\text{кин}}}}$$

электроннинг самарали массаси қаерда;  $E_{\text{кин}} = \frac{m^* \nu^2}{2}$  - унинг кинетик энергияси.

Келинг, металллардаги эркин электронларни кўриб чиқайлик. Агар ҳарорат паст бўлса, у ҳолда фақат Ферми даражасига яқин энергияга эга бўлган электронларни эркин деб ҳисоблаш мумкин. Ўртача, металллар учун Ферми энергияси  $E_F \sim 5$  эВ ни ташкил қилади. Демак, металллардаги эркин электронлар учун бизда  $E_{\text{кин}} \approx E_F \approx 5$  эВ =  $8 \cdot 10^{-19}$  Дж.

Металлларда самарали масса  $m^* \approx m_0$ , бунда  $m_0 = 9,1 \cdot 10^{-31}$  кг электроннинг қолган массаси.  $E_{\text{кин}}$  ва  $m^*$  қийматларини  $\lambda$  формуласига алмаштириб, биз  $\lambda \approx 0,55$  нм ни оламиз - кристалл панжара константасининг ўлчами тартиби.

Яримўтказгичларда эркин электронларнинг энергияси  $E_{\text{кин}} \approx kT = 0,026$  эВ (хона ҳароратида). Ҳар хил яримўтказгичли материалларда электроннинг самарали массаси жуда катта фарқ қилади. Масалан, кремний учун  $m^* = 0,92m_0$ , GaAs  $m^* = 0,068m_0$ . Ҳисоблаш шуни кўрсатадики, бу материаллар учун де Бройл тўлқин узунлиги мос равишда 8 ва 30 нм.

Яримўтказгичларда эркин электронлар учун де Бройл тўлқин узунлиги металлларга қараганда анча узун бўлганлиги сабабли, квант ўлчамли эффектларни яримўтказгичли тузилмаларда амалга ошириш технологик жиҳатдан осонроқдир. Бундан ташқари, яримўтказгичлар допинг бўлиши мумкин ва шу тарзда электрон қурилмалар учун зарур бўлган p-n бирикмаларини яратади. Шунинг учун электроникада фойдаланиш учун квант ўлчами эффектларини ўрганиш ва наноструктураларни шакллантириш асосан ярим ўтказгичли материалларда амалга оширилади.

#### Адабиётлар рўйхати:

1. <https://xabar.uz/ejvs>
2. <http://physics.nist.gov/cuu/Constants/Table/allascii.txt>