

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ  
ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ

---

---

ФАРҒОНА ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

**FarDU.  
ILMIY  
XABARLAR-**

1995 йилдан нашр этилади  
Йилда 6 марта чиқади

1-2017  
ФЕВРАЛЬ

**НАУЧНЫЙ  
ВЕСТНИК.  
ФерГУ**

Издаётся с 1995 года  
Выходит 6 раз в год

Аниқ ва табиий фанлар

МАТЕМАТИКА

**Х.ҚОСИМОВ, М.АБДУОЛИМОВА**

Гиперболик турдаги тенглама учун силжишли чегаравий масала ечимининг ягона эмаслиги ҳақида ..... 5

**А.ЮСУПОВА**

Олий математика фани бўйича оралиқ назоратларни тест шаклида ўтказишнинг ўзига хос хусусиятлари ..... 10

ФИЗИКА, ТЕХНИКА

**Р.РАСУЛОВ, М.МАМАТОВА, А.ЗОКИРОВ, И.ЭШБОЛТАЕВ**

Электронларнинг гетероструктура потенциал тўсиғи орқали ўтишларида резонансли туннелланиши ..... 13

БИОЛОГИЯ, КИМЁ

**М.АХМАДАЛИЕВ, И.ТУРДИБОЕВ**

Том ёпқи махсулотлари ишлаб чиқариш муаммолари ва истиқболлари ..... 16

ГЕОГРАФИЯ, ТУПРОҚШУНОСЛИК

**П.БАРАТОВ, Н.СУЛТАНОВА**

Тоғли Зарафшон водийсининг геоморфологик хусусиятлари ва террасалари ..... 19

**М.НАЗАРОВ, Р.АКБАРОВ**

Тупроқни бойитишда биотик чиқиндилардан фойдаланишнинг ўсимликлар ҳосилдорлигига таъсири ..... 24

Ижтимоий-гуманитар фанлар

ФАЛСАФА, СИЁСАТ, ТАРИХ

**Т.АБДУЛЛАЕВ**

Фалсафа фанининг долзарб муаммолари ..... 29

**Р.АРСЛОНЗОДА**

Ўзбекистон Республикасининг ҳозирги замон архив тизими ..... 34

**К.РАХИМОВ**

Сополли маданияти металл эритиш хумдонлари ..... 39

**А.АБДУМАЛИКОВ**

Фуқаролик жамиятини қуришда ахборот маданиятини шакллантиришнинг ўрни ва аҳамияти ..... 44

АДАБИЁТШУНОСЛИК

**А.САБИРДИНОВ, Д.КОМИЛОВА**

Чўлпон ҳикояларида миллийлик ..... 46

**Г.МУҲАММАДЖОНОВА**

Ижодкор образи талқини: муштараклик ва ўзига хослик (А.Қаҳҳорнинг “Сароб” ва Жек Лондоннинг “Мартин Иден” романлари мисолида) ..... 49

ТИЛШУНОСЛИК

**Ш.ҚАЛАНДАРОВ**

Эвфемик маъно лисоний ва нолисоний омиллар қуршовида ..... 53

УДК: 546.815.819.

## ЭЛЕКТРОНЛАРНИНГ ГЕТЕРОСТРУКТУРА ПОТЕНЦИАЛ ТЎСИҒИ ОРҚАЛИ ЎТИШЛАРИДА РЕЗОНАНСЛИ ТУННЕЛЛАНИШИ

Р.Расулов, М.Маматова, А.Зокиров, И.Эшболтаев

### Аннотация

Ўлчамга боғлиқ квантлашган, ўра билан боғланган, икки потенциал ўрадан ташкил топган гетероструктурадан электроннинг ўтиш коэффициенти назарий таҳлил қилинган ва қатор гетероструктуралар учун унинг ифодалари келтирилган.

### Аннотация

Теоретически изучено туннелирование электронов через гетероструктуру, состоящую из двух потенциальных барьеров, разделенных размерно-квантованной ямой. Получено выражение для коэффициента прохождения электронов в зависимости от энергии электронов, а также проанализированы различные случаи.

### Annotation

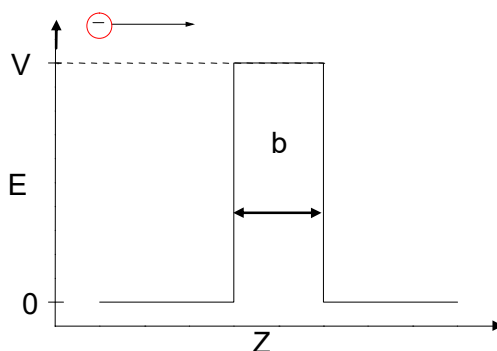
Tunneling of electron through the heterostructure consisting of two potential barriers separated by dimensionally-quantized hole is theoretically investigated. An expression for the transport coefficient of electrons as a function of the electron energy is obtained and the different cases are analyzed.

**Таянч сўз ва иборалар:** квантлашган ўра, манфий дифференциал ўтказувчанлик (МДЎ), потенциал тўсиқ, ўтиш коэффициенти, электрон, гетероструктура, туннеланиш.

**Ключевые слова и выражения:** квантованная яма, отрицательная дифференциальная проводимость (ОДП), потенциальный барьер, коэффициент прохождения, электрон, гетероструктура, коэффициент пропускания, туннелирование.

**Key words and expressions:** quantized hole, negative differential conductivity (NDC), potential barrier, electron, heterostructure, transport coefficient, putting current coefficient, tunneling.

Тўғри бурчакли потенциал тўсиқ соҳасида электронларнинг ҳаракати хусусида масалалар нанозификанинг дастлабки ва замонавий масалаларидан биридир. Бунда электроннинг нафақат тўсиқ орқали туннел ўтиши, балки тўсиқ устида резонансли ўтиши ҳам структуранинг кинетик хоссаларига ўз таъсирини кўрсатади. Шу боис, 1-расмда кўрсатилгандек структурадан электронларнинг ўтишини таҳлил қилайлик:



1- расм. Электроннинг потенциал тўсиқдан ўтиши

Шуни қайд қилиш ўринлики, потенциал баландлигининг ишораси манфий танланса, у ҳолда потенциал тўсиқ потенциал ўрага айланади. Бу ҳолда электрон энергияси тўсиқ баландлигидан кичик бўлмаслиги керак, яъни  $E \geq V$ . У ҳолда [1] ишнинг (9) ва (11) ифодаларида  $V$  катталиқ  $-V_0$ га,  $a$ - ўлчамли квантлашган ўра (ЎКУ) кенглиги тўсиқнинг  $b$  қалинлигига алмаштирилади ва натижада ўтиш коэффициенти учун куйидаги муносабатни оламыз:

Р.Я.Расулов – ФарДУ, физика-математика фанлари доктори, профессор.

М.А.Маматова – ФарДУ физика кафедраси ўқитувчиси.

А.Зокиров – ФарПИ қошидаги академик лицейи физика ўқитувчиси.

И.Эшболтаев – ҚДПИ физика кафедраси ўқитувчиси.

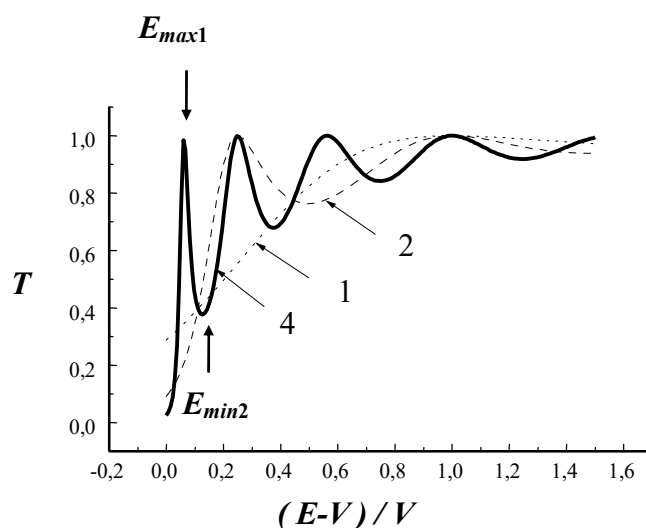
$$T = \left\{ 1 + \frac{\sin^2(bq)}{4(E/V)(E/V-1)} \right\}^{-1} = \left\{ 1 + \frac{\sin^2\left(\pi\sqrt{(V/V_b)(E/V-1)}\right)}{4(E/V)(E/V-1)} \right\}^{-1} \quad (1)$$

бу ерда  $q = \sqrt{2m^*(E-V)}/\hbar$  - тўсиқ устидаги электроннинг тўлқин вектори.  $E_n$  энергиянинг резонансли қийматлари учун ўтиш коэффиценти  $T=1$  бўлади ва  $bq = n\pi$  шартда қуйидаги муносабатга эга бўламиз:

$$E_n = V_b \left( n^2 + V/V_b \right) \quad (2)$$

бу ерда  $n = 1, 2, \dots$ ;  $V_b = \pi^2 \hbar^2 / 2m^* b^2$ .

2- расмда (1) формула ёрдамида ҳисобланган  $T(E)$  боғланиш тасвирланган. Графикда  $m$  тартиб рақамли эгрилик тўсиқнинг баландлиги  $V = m^2 V_b$  бўлган ҳол учун келтирилган.



2- расм. Ўтиш коэффицентининг потенциал тўсиқ устидан ўтаётган электроннинг энергиясига боғлиқлиги.

1- жадвалда электронларнинг GaAs/Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As гетероструктура потенциал тўсиғи устидан ўтиш коэффицентининг айрим тавсифлари қайд қилинган. Жадвалдан кўринаяптики, биринчи максимум ва иккинчи минимумларга нисбатан ўтиш коэффиценти  $T$ нинг тўсиқ қалинлиги ва баландлигининг ортиши билан орта боришини кўрсатади.  $E_{min,2}$  ва  $E_{max,1}$  ораликдаги электрон энергияси  $b$  тўсиқ қалинлигининг ортиши билан камайиб боради, тўсиқ баландлиги  $V$ га боғлиқ эмас.

1- жадвал.

$b$ , нм	$V$ , ЭВ	$E_{max,1} - V$ , мЭВ	$E_{max,2} - V$ , мЭВ	$T_{max,1} - T_{min,2}$
5	0.40	180	405	0.2
5	0.25	180	405	0.075
10	0.40	45	99	0.5
10	0.25	45	99	0.31

Электрон энергияси (тезлиги)нинг  $E_{max,1} < E < E_{min,2}$  ортиши билан ўтиш коэффиценти ( $T$ )нинг ортиши структуранинг вольт-ампер характеристикаси (ВАХ)даги манфий дифференциал ўтказувчанлик (МДЎ) соҳасининг содир бўлишига олиб келади. МДЎ  $\Delta T = T_{max,1} - T_{min,2} = I - T_{min,2}$  ва  $\Delta E = E_{min,2} - E_{max,1}$  катталиқликлар қанчалик катта миқдорли бўлса, шунча

ойдин намоён бўлади.  $\Delta E$  учун бу шарт ярим ўтказгичларда электрон энергияси  $k_B T$  тартибида бўлишини ва демак  $\Delta E \gg k_B T$  шартнинг бажарилганлиги боис келиб чиқади. Юқорида қайд қилингандек, МДЎ баланд ва юпқа гетероструктура орқали токнинг оқишида ҳам кузатиш мумкин. Бироқ потенциал тўсиқни катта (энергияси потенциал тўсиқ баландлигидан катта ( $E > V$ )) энергияли электронларгина ўтишлари мумкин. Бу эса бундай структуранинг ВАХида МДЎнинг содир бўлишига тўсиқликни юзага келтиради. Тўсиқ усти ўтишлар учун бу муаммо бўлмайди, чунки резонансли ЎКЎлада  $V = n_1^2 V_a$  шартда ўтиш коэффициенти  $T$ нинг биринчи максимуми  $E_{max,1} = 0$  шартда кузатилади, яъни резонансли ўралар устидан электронлар, ҳатто уларнинг энергияси катта миқдорли бўлмаса-да, тўсиқда сочилмасдан ўта олади (2-расм). Шундай қилиб резонансли ЎКЎ устидан ўтиш учун электронларнинг энергиялари нолга яқин бўлганида  $\Delta E = E_{min,1}$  бўлади. Бу ҳолда  $\Delta E \sim V_a$  ва бундан МДЎни электронларнинг потенциал тўсиқ устидан ўтишига мос келадиган кузатиш шarti

$$V_a \gg k_0 T \text{ ёки } a^2 \ll \frac{\pi^2 \hbar^2}{2m^* k_0 T}. \quad (4)$$

Бу шартга кўра қурилманинг ишчи температураси қанча катта бўлса, ўлчамли квантлашган ўранинг қалинлиги шунча кичик бўлади. Худди шунга ўхшаш шарт тўсиқнинг  $b$  қалинлигига нисбатан ҳам бўлади. (2) формулага кўра  $\Delta E \sim V_b$ .  $m^* = 0.1 \cdot m_0$ ,  $T = 77 \text{ K}$  ҳолда бу формуладан ЎКЎ кенлиги ва тўсиқ қалинлиги учун  $a, b \ll 20$  нм. бўлиши талаб этилади.

Юқоридаги мулоҳазаларга асосланиб шундай хулоса қилиш мумкин: а) яккаланган потенциал тўсиқ ва ўрали гетероструктуралардан МДЎли структуралар яратишда фойдаланиш мумкин; б) ҳозирги замон эпитаксиал (молекуляр-нурли эпитаксия) технологияси GaAs, AlAs бирикмалар ва улар асосида олинган  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  қаттиқ эритмалар ёрдамида 1.5÷2 нм (3-4 атомли қатлам)ли ва баландлиги (чуқурлиги) 1.35 эВ (GaAs/AlAs структуралар) бўлган ярим ўтказгичли гетероструктуралар олиш имконияти яратилган. Бироқ бундай структураларнинг ВАХида кескин табиатли ҳодисаларнинг кузатилиши қийинлиги сабабли, бугунги кунда амалиётда қўлланилганича йўқ. Бироқ бундай мақсадда квантлашган ўралар билан ажратилган потенциал тўсиқлардан ташкил топган гетероструктуралардан фойдаланиш истиқболли. Уларнинг энг соддаси икки тўсиқли квантлашган структурадир.

#### Адабиётлар:

1. Расулов Р.Я., Ахмедов Б., Абдуманнонов А., Хотамов Х. Яккаланган потенциал ўрали ва потенциал тўсиқли структураларда электронли ўтишлар назарияси. "FarDU. Ilmiy xabarlar – научный вестник ФерГУ" 2016, 2-сон.

(Тақризчи: К.Онаркулов, физика-математика фанлари доктори, профессор).