



3
2024

FIZIKA, MATEMATIKA *va* INFORMATIKA

ILMIY-USLUBIY JURNAL

2001-yildan chiqa boshlagan

Toshkent – 2024

- Bosh muharrir** – **Xolboy IBRAIMOV** pedagogika fanlari
doktori, Akademik
- Muharrir** – **Bakhshillo Amrillayevich OLIMOV** f.-m.f.n.,
v.v.b., professor
- Mas’ul kotib** – **Riskeldi Musamatovich Turgunbayev** f.-m.f.n.,
professor

TAHRIR HAY’ATI A’ZOLARI

IBRAIMOV Xolboy
AYUPOV Shavkat Abdullayevich
OLIMOV Bakhshillo Amrillayevich
AKMALOV Abbos Akromovich
KUVANDIKOV Oblokul
BOYTILLAEV Dilmurod
TURSUNMETOV Kamiljan
MAKHMUDOV Yusup Ganiyevich
TURGUNBAYEV Riskeldi Musamatovich
KALANDAROV Ergash Kilichovich
MUSURMONOV Raxmatilla
MAXMUDOV Abdulxalim Xamidovich
MAMARAJABOV Mirsalim Elmirzayevich
KALIMBETOV Kamal Ilalovich
XUJANOV Erkin Berdiyevich
MANSUROV O’ktamjon Nosirboyevich
OCHILOV Fariddun Izatulloevich

Muassis:
T.N.Qori Niyoziy nomidagi O‘zbekiston Pedagogika fanlari
ilmiy tadqiqot instituti
71 256 53 57



YARIM O'TKAZGICHLARNING SIRT XUSUSIYATLARI

M. A. Raxmonov, ChDPU o'qituvchisi

Ushbu maqolada sirtida joylashgan sathlar generatsiya va rekombinatsiya markazlari bo'lishi va yarimo'tkazgich kristali hajmidagi muvozanatda bo'lmagan zaryad tashuvchilar yashash vaqtiga ta'sir ko'rsatishi mumkinligi, agar yarimo'tkazgich hajmida o'zga aralashmalar soni oz miqdorda va hajmiy rekombinatsiya markazlari kontsentratsiyasi kichik bo'lsa, u holda, sirtida asosan generatsiya-rekombinatsiya jarayonlari yetarli darajada ta'sir ko'rsatishi tushuntirilgan.

Kalit so'zlar: *kristall panjara, sirt fizikasi, mikro va nanoelektronika, sirt relaksatsiyasi, sig'im relaksasiyasi.*

В данной работе уровни, расположенные на поверхности, являются центрами генерации и рекомбинации, а неравновесные носители заряда в объеме полупроводникового кристалла могут влиять на время пребывания, если количество примесей в объеме полупроводника мало и объем мал, то это объясняется тем, что если концентрация рекомбинационных центров мала, то на поверхности достаточно эффективны генерационно-рекомбинационные процессы.

Ключевые слова: *кристаллическая решетка, физика поверхности, микро- и нанoeлектроника, поверхностная релаксация, емкостная релаксация.*

In this work, levels located on the surface are centers of generation and recombination, and nonequilibrium charge carriers in the volume of a semiconductor crystal can affect the residence time, if the amount of impurities in the volume of the semiconductor is small and the volume is small, then this is explained by the fact that if the concentration recombination centers are small, then generation-recombination processes on the surface are quite effective.



Key words: *crystal lattice, surface physics, micro- and nanoelectronics, surface relaxation, capacitive relaxation.*

Hozirgi kun mikro va nanoelektronikaning asosini yarimo'tkazgichli asboblarni tashkil qiladi. Bu asboblarning tarkibi qismi almashib keluvchi yarimo'tkazgichlardan iboratdir. Shuning uchun qattiq jismlar sirtidagi fizik jarayonlarning sezilarli darajada kristall hajmdagi fizik jarayonlarga ta'siri aniqlangandan so'ng, tadqiqotlarning qattiq jismlar sirtidagi fizik jarayonlarga qiziqishi ortdi. Chunki bu jarayonlar qattiq jismlar asosida yaratilgan asboblarning ishlash rejimlariga ham jiddiy ta'sir ko'rsatadi.

Qattiq jismlar sirtidagi fizik jarayonlarning sezilarli darajada kristall hajmdagi fizik jarayonlarga ta'siri aniqlangandan so'ng, tadqiqotlarning qattiq jismlar sirtidagi fizik jarayonlarga qiziqishi ortdi. Elektronlarning energetik spektrlari cheksiz va vakuum bilan chegaralangan kristallarda sezilarli darajada farqlanishini birinchi bo'lib I.E.Tamm nazariy jihatdan ko'rsatib bergan [1,2,3]. Kristall panjara kesilganda, cheksiz kristalldagi ruhsat etilgan energiyalar dastasidan farqli ravishda, elektornlarning ruhsat etilgan diskret energetik holatlari hosil bo'ladi. Keyinchalik bunday sirt holatlari Tamm holatlari deb atalgan. Bu holatlarga mos keluvchi elektronlarning to'lqin funktsiyalar kristall chegarasida maksimumga ega va u sirtdan uzoqlashganda kristall hajmi va vakuum tomon yo'nalishlarida pasayib boradi [4,5,6]. Shokli sirt holatlari Tamm holatlari kabi qattiq jism sirtidagi davriy potentsialning chegaralanganligi natijasida hosil bo'ladi. Lekin, Tamm va Shokli bo'yicha sirt energetik holatlarning hosil bo'lishi sabablari har-xildir. Shuning uchun ularni ikkita turli ko'rinishdagi sirt energetik holatlari sifatida qarash qabul qilingan [7,8].

Tadqiqot metodologiyasi.

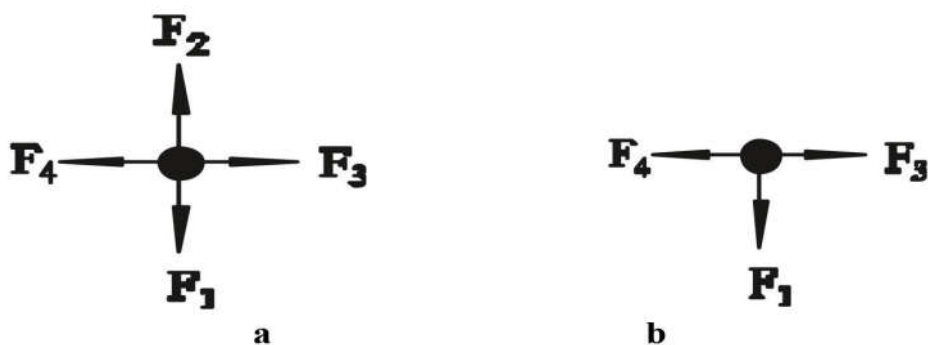
Yarimo'tkazgichli kristallar sirtida, olib chiqishi har-xil bo'lgan, diskret yoki uzluksiz taqsimotga ega energetik sathlar sistemasi mavjud. Bularga, panjarani kesilishi natijasida hamda kesilish hosil



qilgan potentsial davriylik buzilsada sirt sohasida hosil bo'luvchi Tamm sathlaridir. Shuningdek, kristall panjarada sirt nuqsonlari hosil qilgan aralashmalar bilan bog'langan energetik sathlar ham bo'lishi mumkin. Sirtida joylashgan energetik sathlarga elektr zaryadlarining ushlab qolinishi, sirt yaqinidagi energetik zonalarining egilishiga olib keladi. Bu jarayon o'z navbatida qattiq jismlarning bir qator fizik xususiyatlarini (o'tkazuvchanlik, chiqish ishi, fotoelektrik xususiyatlari va boshqa) o'zgarishiga olib keladi.

Taxlil va natijalar.

Sirt fizikasi o'z mohiyatiga ko'ra asosan mutaxassisliklararo bilim sohasi bo'lib hisoblanadi. Bu sohada fizik va ximiklar uchun tadqiqot ob'ektlari joylashgan bo'ladi. Amaliy jihatdan esa bu-materialshunoslik, mikro va nanoelektronika, energetika, kosmonavtika masalasi uchun ahamiyatli bo'lgan fandır. Sirt to'g'risidagi eng asosiy fan yo'nalishlaridan biri bu-yarimo'tkazgichlar sirt fizikasidir. Sirtni yangi yupqa yarimo'tkazgich material sifatida qarash yoki o'lchamlari kichiklashtirilgan sistema deb qabul qilish mumkin. Bu sitema yarimo'tkazgichli asboblar mikrominiatyurizatsiyasi talablarining ortishi bilan bog'liq bo'lgan katta qiziqishlar uyg'otmoqda [1].



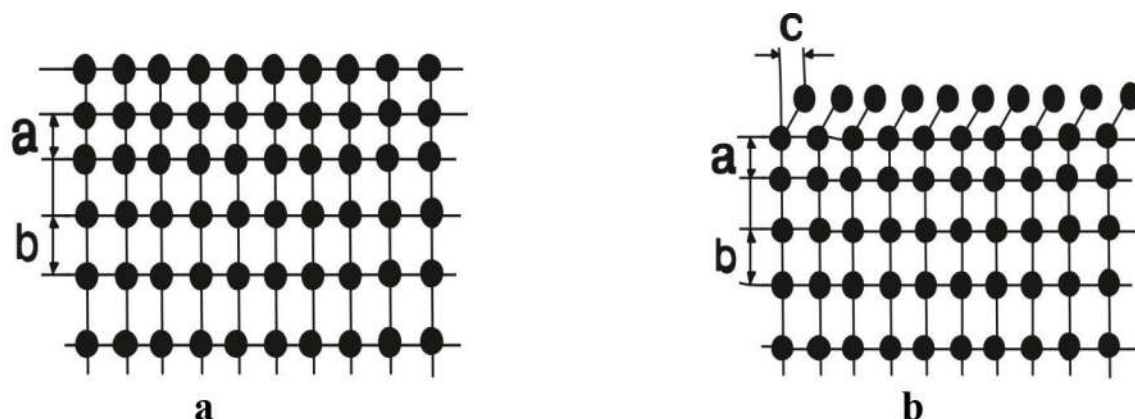
1-rasm. Qattiq jism atomlarining o'zaro ta'sir kuchlari.
a - kristall hajmida, b – kristall yuzasida (sirtida)

Qattiq kristalli jismlarda atomlar to'g'ri tartibli davrlarda joylashgan bo'ladi. Qattiq jismlar sirti yaqinida joylashgan atomlar, qattiq jismlar

hajmida (ichida) joylashgan atomlarga nisbatan boshqa sharoitlarda bo'ladi. Qattiq jism hajmida joylashgan har bir atom boshqa atomlar bilan har tarafdin o'ralgan bo'ladi va barcha yo'nalishlar bo'yicha bir xil tortishish kuchlarini sezadi. (1-rasm,a)

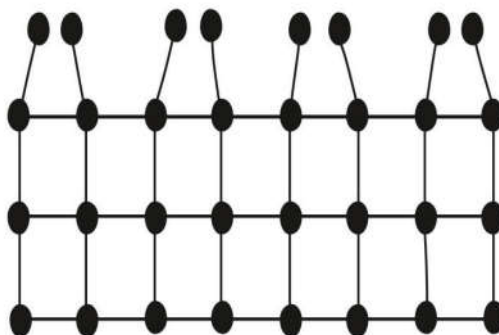
Qattiq jismning sirti yaqinida joylashgan atomlar qo'shni atomlarning quyi va yon tomonlarga tortilishini sezadi, lekin yuqori qatlamlar tomonidan tortilish (ta'sir) bo'lmaydi. Buning natijasida, sirt qatlamlarida joylashgan atomlarga sirtga perpendikulyar bo'lgan va qattiq jism hajmiga yo'nalgan kuchlar ta'sir etadi. (1-rasm,b). Shuning uchun, qattiq jismlarning chegara sohasida joylashgan atomlar orasidagi o'rtacha masofadan biroz kichik bo'ladi (a). Mana shu oddiy fizik modeldan ko'rinib turibdiki, qattiq jism sirti yaqinida joylashgan atomlarning joylashuvi kristall hajmida joylashgan atomlardan farq qiladi. Bu farqlarning qanday xarakterda ekanligiga qarab, sirt relaksatsiyasi va rekonstruktsiyasi (tuzilishi) to'g'risida fikr yuritiladi [1]. Sirt relaksatsiyasi deb, chegara tekisligiga parallel bo'lgan oxirgi kristallografik tekislik bilan hajmdagi xuddi shunday tekislik orasidagi masofalar farqiga tushiniladi. Bunda, oxirgi tekislikdagi atomlarning joylashishi unga parallel bo'lgan barcha tekisliklardagi atomlar joylashishi bilan to'la holda mos kelishi nazarda tutiladi. Sirt relaksatsiyasini ikki turga ajratish qabul qilingan: Normal va lateral relaksatsiya. Normal relaksatsiyada yuqori sirtqi qatlamda va kristall hajmidagi atomlarning joylashishi bir xildir [2]. Lekin atomlararo qatlamlar masofasi shunga mos holdagi hajmdagi masofadan farq qiladi (2-rasm). Ko'p hollarda qattiq jism sirtidagi bir nechta atomlar orasidagi masofa qattiq jism hajmidagi xuddi shunday masofadan kichik bo'ladi. Hajmdagi chuqurroq qatlamlarga o'tib borgan sari qatlamlar orasidagi masofa kichik bo'lib boradi. Lateral relaksatsiyada atomlar qatlamlari orasidagi masofaning o'zgarishiga ularning sirtga parallel holatda siljishi ham qo'shiladi (2-rasm b).





2-rasm. Qattiq jism sirtidagi normal (a) va laterial relaksatsiyalar.

Agar sirt yaqinidagi qatlamlarning kristall strukturalari qattiq jismlar hajmidagi kristall strukturalardan farq qilsa, u holda sirt rekonstruktsiyasi mavjud bo'ladi. Sirtning elektron xususiyatlari va atom tuzilishlar qattiq jism hajmidagi shunday xususiyatlardan farq qiladi. Xususan: sirt qatlamlaridagi atomlarning valent bog'lanishlari kristall bo'linganda uzilgan va to'yinmagan bo'lganligi uchun sirtidagi elektronlari yangi bog'lanishlar hosil qilishga moyil bo'ladi. Sirtida juftlashmagan elektronlar mavjud bo'lganligi uchun sirt holatlarini odatda "uzilgan bog'lanishlar" deb ataladi [3]. Shuning uchun juftlashmagan elektron boshqa bir aralashma atomlari yoki shu kristall atomlari bilan bog'lanish hosil qilishi mumkin. Agar qattiq jism sirti toza va tekis bo'lsa va unda boshqa elementlar atomlari bo'lmasa, u holda sirt qatlamidagi elektronlarda juftlashish uchun faqat bir imkoniyat qoladi: u ham bo'lsa, sirtidagi atomlarning o'zaro qo'shimcha bog'lanish hosil qilishidir. Oddiy hollarda sirt yaqinidagi qo'shni atomlar juftlik hosil qiladi va bu hol mutaxassislar tomonidan dimerlar deb ataladi. Har bir dimerlarning atomlari o'zaro yaqinlashadi va shu vaqtning o'zida sirtidagi qo'shni atomlardan uzoqlashadi. Buning natijasida qattiq jism sirtida kristall panjara davriyligi o'zgaradi, ya'ni, sirt rekonstruktsiyasi yuz beradi (3-rasm).



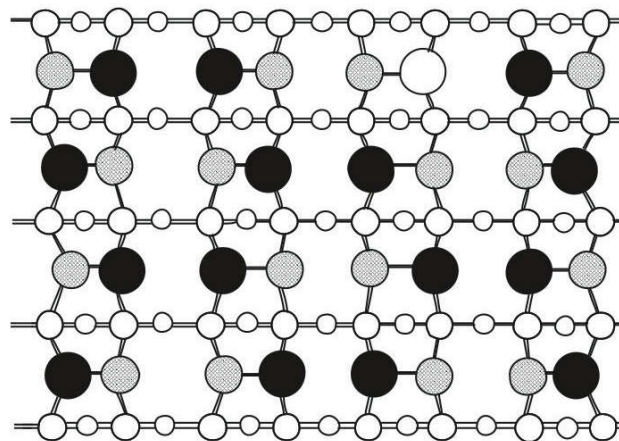
**3-rasm. Dimerlar hosil bo'lishi bilan kremniy sirti
rekonstruktsiyasi misoli.**

Misol tariqasida kristall sirtida joylashgan kremniy atomlarini ko'rib chiqamiz. Bu atomlarning yuqori qatlamlarda joylashgan qo'shni atomlari yo'q. Valent bog'lanishlari erkin holda bo'lganliklari uchun qo'shni sirt tekisligi qatorlarda joylashgan atomlar orasidagi o'zaro ta'sirlarini kuchaytiradi. Natijada sirtida joylashgan atomlar juftliklarga bo'linadi. Juftlardagi atomlar orasidagi masofa qo'shni juftlikga tegishli atomlar orasidagi masofadan kichik bo'ladi. SHunday qilib, sirt rekonstruktsiyasi sirt atomlarini yetarli darajada siljitib qolmasdan balki hajmiy panjara davriga nisbatan o'hshash elementlarning takrorlanish davrini ko'paytiradi (oshiradi) [4]. Ba'zi hollarda, atomlar joylashish simmetriyasini kristall hajmidagiga nisbatan ham o'zgartiradi.

Sirtning ikkita asosiy rekonstruktsiyasi ko'rinishlari mavjud: konservativ va nokonservativ rekonstruktsiyasida sirt qatlamlaridagi atomlar soni kristall jismlardagi xuddi shunday qatlamdagi atomlar soni bilan mos qo'shiladi. Konservativ bo'lmagan holda sirt qatlamidagi atomlar soni kristall hajmdagi xuddi shunday qatlamlardagi atomlar sonidan farq qiladi. Sirt rekostruktsiyasi valent bog'lanishli kristallar uchun xarakterlidir, chunki bog'lanishni hosil qiluvchi elektronlar zichligi lokal taqsimotga ega.

Xona temperaturasida dimerlar ikkita mumkin bo'lgan holatlarda bo'lishi mumkin. Agar $\langle 100 \rangle$ yo'nalish bo'yicha orientatsiyali kremniy

sirtini 200 K gacha sovutilsa, dimerlarning u holatdan bu holatga o'tishi sovib to'htaydi. Dimer qatorlarining o'zaro ta'siri burilgan dimerlarni tartiblashishiga olib keladi. Natijada simmetrik bo'lmagan (nosimmetrik) struktura hosil bo'ladi va bunda qo'shni qatordagi dimerli qarama-qarshi yo'nalishda burilgan bo'ladi [5]. Bunda strukturalar (4×2) davriylikka ega va $\langle 100 \rangle$ orientatsiyali atomlarni toza sirtli kremniyning asosiy holati bo'lib hisoblanadi (4-rasm).



4-rasm. Qo'shni burilgan dimerlar hisobiga hosil bo'lgan (4×2) li Si (100) ning strukturali ko'rinishi.

kovalent bog'lanishga ega bo'lgan kristallar uchun xarakterlidir. Bunday yarimo'tkazgichlarning erkin sirti to'yinmagan valent bog'lanishlarning ko'p Qora rangli aylanalar bilan burilgan dimerlar atomlarining yuqori qatlamlari ko'rsatilgan. Quyi qatlamdagi atomlar shtrixlar bilan ko'rsatilgan.

Sirt rekonstruktsiyasi bo'lganligi sababli barqaror emas [6]. Yarimo'tkazgich sirti erkin energiyasini kamaytirish uchun, atomlar bir-biri bilan bog'lanishlar hosil qilish maqsadida o'zining boshlang'ich holatlaridan siljiydi va uzilgan bog'lanishlarni to'ydiradi. Sirt energiyasining keyingi kamayishlari to'yinmagan bog'lanishlar zaryadlar ko'chishi bilan bog'liqdir. Boshqa tomondan olib

qaralganda, atomlarning siljishi (ko'chishi) kristall panjarada mexanik kuchlanishlarni hosil qiladi va bu esa sirtning erkin energiyasini oshiradi. Ushbu qaralgan ikki tendentsiyaning o'zaro ta'sirlari natijasi rekonstruktsiyalangan sirtning aniq strukturasi belgilaydi. Odatda, yuqori qatlam rekonstruktsiyalari yetarli chuqurlikdagi qatlamlar relaksatsiyasi bilan kuzatiladi. Kimyoviy bog'lanishlarning o'zgarib qaytadan tuzilishi (bog'lanish hosil qilishi) sirt rekonstruktsiyasini hosil qiladi va uning kristallar sirtining elektron strukturasi aniqlaydi. Biz bilamizki, kimyoviy bog'lanishlar farqli ravshda ikki ko'rinishdagi kuchlar hisobiga hosil bo'ladi: bular Kulon kuchlar va kvant-mexanik kuchlar.

Agar alohida olingan manfiy va musbat ionlar o'zaro ta'sirida kuchlar hosil bo'lsa, bunday bog'lanishlar ion bog'lanishlar deyiladi. Kvant-mexanik tabiatiga ega bo'lgan kuchlar kovalent va metall bog'lanishlar hosil qiladi [7]. Mana shunday bog'lanishlarning hosil bo'lish mexanizmini ko'rib chiqamiz. Atomlar bir-biri bilan yaqinlashganda, ularning tashqi elektron qobig'lari (delekolizatsiya) yaqin qo'shni atomlari uchun ham umumiy bo'lib qoladi, (kovalent bog'lanish) yoki ko'p atomlar ham umumiy bo'ladi (metall bog'lanish). Kristall sirt strukturasi hosil bo'lishida asosiy faktor kristall hosil bo'lishidagi bog'lanishlar ko'rinishidir (xilidir). Shu bilan birga sirt rekonstruktsiyasi o'rganilayotganda sirtning o'zidagi kuchli bog'lanishlarni ham e'tiborga olish lozim. Kristall sirti elektron sirtining eng asosiy xususiyati undagi elektron holatlarning mavjudligidir. Sirt holatlar tushunchasi bu-sirt Fermi sathiga bog'liq ravishda (holatda) o'zining zaryadli holatini o'zgartiradigan va ta'qiqlangan zonada energetik sathga ega, kristallni u yoki bu muhit bilan chegarasida joylashgan elektron holatlaridir. Xususiy va xususiy bo'lmagan sirt holatlari ideal kristall sirti bilan bog'liqdir [8].

Xulosa qilib aytganda Sirt fizikasi o'z mohiyatiga ko'ra asosan mutaxassisliklararo bilim sohasi bo'lib hisoblanadi. Bu sohada fizik va



ximiklar uchun tadqiqot obyektlari joylashgan bo'ladi. Amaliy jihatdan esa bu-materialshunoslik, mikro va nanoelektronika, energetika, kosmonavtika masalasi uchun ahamiyatli bo'lgan fandır. Sirt to'g'risidagi eng asosiy fan yo'nalishlaridan biri bu-yaimo'tkazgichlar sirt fizikasidir.

Sirtни yangi yupqa yarimo'tkazgich material sifatida qarash yoki o'lchamlari kichiklashtirilgan sistema deb qabul qilish mumkin. Bu sistema yarimo'tkazgichli asboblار mikrominiatyurizatsiyasi talablarining ortishi bilan bog'liq bo'lgan katta qiziqishlar uyg'otmoqda. Oxirgi o'n yilliklardagi yarimo'tkazgichlar sirt fizikasining rivojlanishi asosan o'ta yuqori darajadagi vakuum texnikasini hosil qilinishi bilan bog'liqdir. Bu darajadagi vakuum texnikasi "toza" sharoitlarda qattiq jismlar sirtidagi fizik jarayonlarni tadqiq qilish imkoniyatini yaratadi.

Adabiyotlar:

1. А.В.Ржанов. Электронные процессы на поверхности полупроводников. Москва. «Наука».1971. С.480.
2. Ф. Бехштейн, Р. Эндерлайн. Поверхности и границы раздела полупроводников. Москва. «Мир» .1990. С.486.
3. В.Г. Лифшиц. Соросский образовательный журнал. №1. 1995.
4. В.И. Фистуль. Физика и химия твердого тела. Москва. «Металлургия». 1995. С.320.
5. Власов С.И, Адылов Т.П, Эргашева М.А. "Влияние давления на свойства границы раздела Si- стекло". Письма в –ЖТФ. Санкт-Петербург, 2005.–Т.31. -Вып. 10. - стр. 83-87.
6. В.Ф. Киселев, С.Н. Козлов, А.В. Зотеев. Основы физики поверхности твердого тела. Москва. «МГУ».1999. С. 284.
7. Э.Зенгуил "Физика поверхности". Москва. «Мир». 1990.С.536.
8. К.Оура, В.Г.Лифшиц, А.А.Саранин, А.В.Зотов, М.Катаяма. Введение в физику поверхности. Москва. «Наука». 2006. С.492.



MUNDARIJA

ILMIY-OMMABOP BO'LIM

E.B.Xujanov. Molekulyar fizikadan "Gazlarda ko'chish hodisalari" bo'limini o'rganishning ilmiy-metodik asoslari	3
B.N. Nurillayev. Metall o'tkazgichlar qarshiligining temperaturaga bog'liqligini o'rganishda interaktiv metodlar	12
H.Sh. Abdullayev, M.A. Raxmonov. Qishloq xo'jaligi ehtiyoji uchun o'rta kattalikdagi mobil fotoelektrik stansiyalarning ishlash samaradorligini oshirishning vaqtga bog'liq kuzatuv ishlari natijalari	21
M.Dusmuratov. Jismning harakatini muhitning qarshiligini e'tiborga olgan holda o'rganish va unga doir masalalar yechish	30
M. A. Raxmonov. Yarim o'tkazgichlarning sirt xususiyatlari.....	38
X. X. Tajiboyeva. Steam integratsion ta'limi kreativ fikrlovchi manba sifatida.....	47
Ф.М.Талипов, М. Х.Серебрякова. Внедрение инфографики в процесс обучения физики и подготовка педагогов к использованию инфографики на уроках физики.....	53

MATEMATIKA JOZIBASI

Н.Р.Асанова. Формирование ключевых компетенций учащихся 6 классов в процессе решений задач.....	60
--	----

ILG'OR TAJRIBA VA O'QITISH METODIKASI

F. Q Tugalov. Fizik tadqiqotlar metodining asosiy xususiyatlari	66
J.Sh.Baratov. Uzluksiz ta'lim tizimida fizika o'qitishda pisa topshiriqlari asosida nostandart topshiriqlarni qo'llash metodikasi	73
A.Sh.Safarov. Fizika va umumkasbiy harbiy fanlarini o'qitishda fanlararo fizik masalalarning metodologik asoslari.....	82
E.K.Kalandarov. Qattiq jismlar fizikasiga oid mashg'ulotlarni loyixalashni takomillashtirish.....	88

OLIMPIADA VA MASALALAR YECHISH BO'LIMI

Masalalar va yechimlar⁹⁵

TALAB, TAKLIF VA TAHLIL

J.J.Fayzullayev. Umumiy o'rta ta'lim maktab o'quvchilarida axborot xavfsizligi kompetensiya sifatida.....	108
--	-----

